

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR
TERMÉSZETI FÖLDRAJZI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

A DUNA VÍZJÁRÁSÁNAK ÉS A MEDER DINAMIKÁJÁNAK
VIZSGÁLATA A DUNA ALSÓ SZAKASZÁN
(SÜKÖSD TÉRSÉGÉBEN)

OTDK dolgozat

NAGY JUDIT

Geográfus MSc

TÉMAVEZETŐ: DR. KISS TÍMEA

2015.

Tartalomjegyzék

Tartalmi összefoglaló	3
Abstract.....	4
1. Bevezetés	5
2. Irodalmi előzmények	7
2.1. A klímaváltozás hatása a folyókra	7
2.2. Az emberi tevékenység hatása a folyókra.....	9
2.3. Vízállás gyakoriság és tartósság más folyókon	12
2.3.1. Kisvizek tartóssága és gyakorisága	12
2.3.2. Nagyvizek tartóssága és gyakorisága	14
2.4. A mederalakulás és kisvízi problémák a Dunán	16
3. A vizsgálati terület jellemzése	18
3.1. A magyarországi Duna-szakasz	18
3.2. A vizsgálati terület jellemzése	20
4. Vizsgálati módszerek.....	23
4.1. A vízállások vizsgálata	23
4.2. A zátonyok formálódásának vizsgálata	24
5. Eredmények	26
5.1. Hidrológiai változások.....	26
5.1.1. A vízállások vizsgálata.....	26
5.1.2. A vízállás-vízhozam kapcsolatának elemzése.....	34
5.1.3. Hidrológiai változások értékelése a vízhasznosítás szempontjából	37
5.2. A zátonyok vizsgálata	39
5.2.1. A zátonyok időbeli változásai	39
5.2.2. A zátonyok típusai.....	44
5.2.3. A zátonyok morfológiai paramétereinek összehasonlítása	45
5.2.4. Részösszegzés	46
6. Összegzés.....	47
Felhasznált irodalom:	49
Függelék	53

Tartalmi összefoglaló

A Duna vízjárása jelentősen módosult a bősi vízlépcső üzembe helyezése óta és megindult a meder bevágódása, amit a kavicsbányászat és a kisvízi mederrendezés tovább erősített. A kisvizek gyakoribbá válásával a hajózási idény hossza csökkent és a vízkivétel egyre nagyobb gondot okoz. Céлом a vízjárás hosszú távú alakulásának és a fokozott zátonyképződésnek az értékelése.

Vizsgálataimhoz a mohácsi vízmérce napi vízállás és vízhozam adatsorát (1901-2013) elemeztem, illetve a Sükösd és Dusnok közötti szakaszon (1492-1507 fkm) a sarkantyúk mögött kialakult zátonyok tér- és időbeli fejlődését vizsgáltam légifotók és térképek alapján 1952 óta.

Eredményeim szerint a kisvizek szintje folyamatosan csökkent ($-1,5$ m), intenzívebben az 1990-es évek óta, miközben az árvizek gyakorisága és magassága nőtt ($+1$ m). A 90%-os meghaladási valószínűségű vízállásokhoz tartozó vízhozamok növekvő tendenciát mutatnak, hiszen napjainkban közel kétszer annyi víz szállítódik a mederben ugyanazon vízállás mellett, mint a vizsgált időszak elején. Ez a meder folyamatos bevágódását jelzi. Ugyanakkor a nagyvizekhez tartozó vízhozamok nem változnak.

A mintaterületen 1952 és 1990 között csupán négy zátony fordult elő, majd számuk 14-re nőtt 2000-ig. Azóta területük és számuk is folyamatosan nő, miközben felszínüket egyre jobban meghódítja a növényzet. Ennek hátterében az 1990 évektől intenzívebben csökkenő és egyre gyakoribbá váló kisvízi vízszintek állnak, ami lehetővé tette a hordalék felhalmozódását és szárazra kerülését a sarkantyúk mögött. Végeredményben a meder átlagszélessége a helyenkénti 40%-os csökkenést is elérte, amelynek hatására a víz kisebb mederkeresztmetszeten tud áthaladni.

Ezek a vízjárásban és mederfejlődésben végbemenő változások problémát okozhatnak számos tervezett vagy már megépült létesítmény működésében. Például nehezkesebbé válhat a Paksi Atomerőmű tervezett kibővítése, vagy a hajózhatóság tovább romolhat, az ország középső száraz területeinek öntözéséhez szükséges vízutánpótlás egyre nehezebbé válhat.

Abstract

The water regime on the River Danube has changed significantly since the operation of the Gabčíkovo (Bős) hydropower plant started, and therefore incision occurred which was further enhanced by gravel mining and low-water level stage regulation. As a result of more frequent low water levels, the shipping season became shorter and the water-exploitation causes more and more problems. Thus in this study, my purpose is to analyze the long-term changes of the water regime and the increasing formation of the sand-bars.

During my research, I analysed the daily water level and discharge data of Mohács station from 1900 to 2013 and examined the spatial and temporal changes of sand-bars formed downstream from groynes between Sükösd and Dúsnok (1492-1507 fkm) using aerial photographs and maps since 1952. According to my results, low-water levels decreased by approx. 1,5 m, and the trend intensified since 1990, while floods became more frequent and flood levels increased by approx. 1 m. Discharges associated with 90% possibility of water levels show an upward trend, because at the same water level, nowadays twice as much water flows through the river bed as at the beginning of the analyzed period. This indicates continuous incision of the river bed, however, the runoffs belonging to the high water levels do not change.

There were only four sand-bars in my sample area between 1952 and 1990, and then 14 were mapped until 2000. Since then the area and the number of the bars have been increasing and the vegetation has been spreading on their surface. These are caused by decreasing and more frequently appearing low-water levels since 1990 which have enabled sediment accumulation and thus the growth of the river bank behind the groynes. Altogether the average width of the river bed decreased by 40%, therefore the water flows through a smaller cross-section. These changes can cause problems in many planned or previously built facilities. For example the proposed expansion of Paks nuclear power station may become even more problematic, navigability can decline, or providing water supply for irrigation in the dry, middle part of the country can be more difficult.

1. Bevezetés

A Duna Európa második leghosszabb folyója (2860 km), és Közép-Európa legjelentősebb folyami kereskedelmi hajóútja. A Duna gazdasági szerepe már az ókor óta jelentős, ezért napjainkban is fontos hajózhatóságának biztosítása. Azonban ez jelentős szabályozási munkákat, például partvédőművek és sarkantyúk építését igényli, amelyek megbontják a mederben lejátszódó természetes folyamatokat. Ennek egyik következménye, hogy leáll a kanyarulatfejlődés (Somogyi 2001), a kisvízállások magassága fokozatosan csökken, míg az árvizek magassága és gyakorisága fokozatosan nő (Blanka 2010, Kiss et al. 2011).

Napjainkban aktuális téma a Paksi Atomerőmű tervezett kibővítése, ami megnövekvő hűtővízellátással jár. Számos, a médiában található cikk szerint az atomerőmű bővítése miatt megnövekvő hűtővízigény kielégítése csak úgy lehetne megoldható, hogy ha Paks alatt a Duna vizét felduzzasztanák¹. Arról azonban egy cikk sem számol be, hogy ez az esetleges duzzasztás a folyó morfológiájára, hordalékszállítására és vízjárására nézve milyen következményekkel járna.

Dolgozatomban célul tűztem ki a Duna vízjárásának elemzését a mohácsi szelvényben az 1900 és 2013 közötti időszakban, illetve célom a szabályozások és a hidrológiai változások következtében kialakuló zátonyok vizsgálata Sükösd mellett.

- Milyen hatások érték a teljes magyarországi Duna-szakaszt az 1800-as években megkezdődő folyószabályozásoktól kezdődően? A jellemzést bonyolítja, hogy a teljes Duna-szakaszon számos mérnöki létesítmény épült, amelyek mind hatással vannak a folyó paramétereire és így nehéz meghatározni, hogy egy-egy létesítmény milyen pozitív vagy negatív hatásokat eredményez.
- A klímaváltozás és a különféle antropogén hatások hogyan hatnak a folyó egyes paramétereire? Hogyan változik a Duna vízállása, vízhozama, és ezek hogyan befolyásolják a meder alakulását?
- A bemutatott hidrológiai változások és mederszabályozások következtében hogyan változott a Mohácstól északra található sükösi szakaszon a sarkantyúk mögött kialakult zátonyok fejlődése? Hogyan változtak térben és időben az 1952 és 2014 közötti időszakban?
- Majd a kapott eredmények alapján értékelem a területen végbement változásokat, és megvizsgálom, hogy a vízállásváltozások és a zátonyok fejlődése között milyen

¹ <http://nepszava.hu/cikk/1015462-lmp-a-duna-duzzasztasaval-jarhat-paks-bovitese>

esetleges összefüggések vannak. Ezek alapján jellemezni kívánom a vízhasznosítás lehetőségeit az alsó Duna-szakaszon, azaz milyen problémákkal kell szembenéznie a hajózásnak, a Paksi Atomerőmű hűtővízellátásának, és a Duna-Tisza csatornának.

2. Irodalmi előzmények

Mivel dolgozatomban célul tűztem ki a Duna alsó szakaszán a vízjárás és a zátonyok elemzését, először áttekintem mindazon okokat, amelyek befolyásolhatják alakulásukat. Elsőként a klímaváltozást és az antropogén hatásokat elemzem, de meg kell jegyezni, hogy ezek nem választhatók szét teljes mértékben egymástól, hiszen együtt fejtik ki hatásukat a folyókra, hol erősebben, hol gyengébben, illetve egymás hatásait felerősíthetik, vagy éppen kiolthatják. Egy vízfolyásról nem mondható meg egyértelműen, hogy azon az éghajlatváltozás vagy pedig az emberi beavatkozás a legmeghatározóbb (Rakonczai 2011). Például a klímaváltozás egyik hatásaként a Dunán csökken a kisvizek magassága, ami nehezíti a hajózást. Emiatt emberi beavatkozásra van szükség és a folyó vízszintjét duzzasztók, vízlépcsők segítségével mesterségesen úgy megemelik, hogy a vízfolyáson biztosítsák a hajózás feltételeit, ez azonban már a folyó paramétereinek megváltozásával jár (Mosonyi 2007).

Az irodalmi előzmények második felében áttekintem a klímaváltozás és az antropogén hatásra bekövetkező vízállás-változásokat elemző hazai kutatásokat. Majd a Dunát érintő antropogén beavatkozásokat tekintem át és értékelme a vízállások alakulása szempontjából.

2.1. A klímaváltozás hatása a folyókra

A klímaváltozás folyókra gyakorolt hatása szempontjából két éghajlati tényezőt kell kiemelni: a hőmérsékletet és a csapadékot, amelyek együttes hatására kialakuló víztöbblet és vízhiány tartja mozgásban hazánk felszíni és felszín alatti vízkészleteit (Szesztay 2000). Földünk egészére jellemző, hogy az egyre szélsőségesebbé váló éghajlat változásokat idéz elő a folyók vízjárásában, vízszállításában, az árvizek gyakoriságában és magasságában, valamint a víz- és hordalékhozamában (Mosonyi 2007). A klímaváltozás egyik következménye az éghajlati szélsőségek növekedése. Az utóbbi 100 évben Magyarország területén az átlaghőmérséklet 0,8 °C-kal emelkedett, míg a csapadék átlagos éves mennyisége 60-80 mm-rel csökkent (Rakonczai 2011).

A világ egyes részein csapadéktöbbletet, másutt pedig csapadékhiányt eredményez a klímaváltozás (Rakonczai 2011). Bár az előrejelzések szerint hazánk jelentős részén az átlagos évi csapadékmennyiség csökkenése várható, a hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadék is nőni fog, illetve extrém száraz vagy nedves évek is előfordulnak. Jó példa erre 2010 májusa és júniusa, amikor rendkívüli, az átlagos havi csapadékösszegeket meghaladó

mennyiségű csapadék esett. Az 1971-2000 közötti időszak májusi átlagos csapadékmennyisége 61,1 mm, míg 2010 májusában 179,1 mm eső esett. A sokéves júniusi átlagos csapadékmennyiség 73,4 mm, míg 2010 júniusában 115,8 mm volt (Móring et al. 2010).

Az elmúlt évtizedben megnövekedett az árvizek gyakorisága és sok kutató ezt a globális klímaváltozással hozza összefüggésbe. Viszont meg kell különböztetnünk az áradásokat okozó hatások alapján hagyományos folyami árvizeket, illetve úgynevezett villámárvizeket. A nagy folyami áradásokat okozó csapadék általában nem az egész vízgyűjtőn jelentkezik, hanem inkább egy-egy mellékfolyó részvízgyűjtőjére korlátozódik (Rakonczi, 2011), így ezek nem hozhatók összefüggésbe a globális klímaváltozással. Az egyre gyakoribbá váló villámárvizek hátterében már a klímaváltozás következményeként kialakuló intenzív csapadéktevékenység áll, amely egyre gyakoribbá válik és nehezen jelezhető előre. A villámárvíz kialakulásának oka egy adott vízgyűjtőre rövid időtartamon belül lehulló nagy mennyiségű csapadék, amikor a víz beszivárgására nincs elég idő (Czigány et al. 2010).

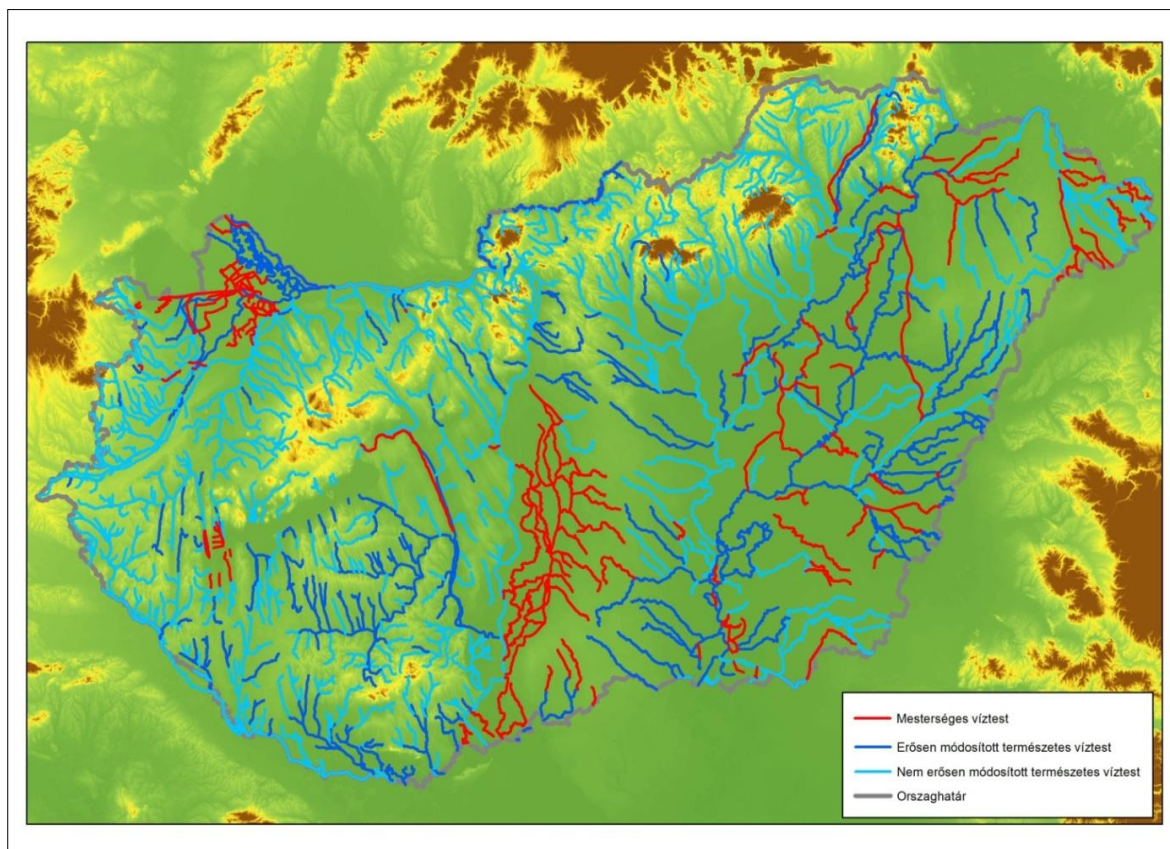
A másik éghajlati tényező, amit ki kell emelni a vízfolyások szempontjából, a hőmérséklet. Az évi középhőmérsékletek változását tekintve az tapasztalható, hogy az 1901-2001 közötti időszakban, ezen belül is az időszak második felében a magasabb évi átlaghőmérsékletek nagyobb arányban fordulnak elő, mint a XX. század első felében.² A hőmérséklet bármilyen irányú változása hatással van a lefolyás mértékére, ami a folyók vízháztartásának, vízjárásának, víz- és hordalékhozamának módosulását eredményezheti (Molnár 1996).

Az átlaghőmérséklet emelkedése, és az éves csapadékmennyiség csökkenése aszályok kialakulásához vezet. Aszálynak a nagy hőséggel járó nagyfokú csapadékhiányt nevezzük. Az aszályossággal kapcsolatban hazánkban Pálfai (2011) végzett méréseket, kiszámítva az 1931-2010 közötti időszakra az aszályossági-indexet (PAI). Kimutatta, hogy 1971-2010 között az éghajlat arid jellegének fokozódása figyelhető meg. Ennek következményeit vizsgálva kimutatta, hogy a Kárpát-medence vízháztartási szélsőségei nőnek, mivel egy adott időszakban az aszály és a kisvizek egyszerre jelentkeznek (Pálfai 2013). A kisvizek magasságának változását a Dunán és a Tiszán elemezve megállapította, hogy a szélsőségesen alacsony kisvizek az 1990-es évektől egyre gyakoribbak, és összefüggésbe hozhatók az aszályos időszakok számának növekedésével. Szélsőségesen alacsonynak tekintette a kisvizet 70 cm alatt a Duna, -270 cm alatt pedig a Tisza esetében.

² http://met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarország

2.2. Az emberi tevékenység hatása a folyókra

Hazánk területén már nagyon kevés az olyan vízfolyás, amely ne lenne már bizonyos mértékben szabályozva (1. ábra). Napjainkban mindinkább előtérbe kerül a folyók komplex hasznosítása, ami azt jelenti, hogy egy adott víztest és a rajta lévő létesítmények több igény kialakítására alkalmasak. A létesítmények épülhetnek vízellátás, hajózás és vízerő-hasznosítás céljából, amelyeket különböző eszközökkel valósíthatnak meg, például folyószabályozási művekkel, vízlépcsőkkel, medertározókkal és vízkivételi művekkel. Például egy vízlépcsőt létesíthetnek egyaránt vízerő-hasznosítás és vízkivétel céljából, valamint a hajózás biztosítására. Ezek az antropogén tevékenységek a vízfolyások fejlődésére igen jelentős és maradandó hatással lehetnek (Kertai 1968).



1. ábra. Magyarország természetes és mesterséges víztestei
(Forrás: EU Víz Keretirányelv)

Hazánk vízfolyásain az átfogó folyószabályozások a XIX. században kezdődtek (Ihrig 1973). A mederszabályozás és az árvízmentesítés változást okoztak a teljes vízrendszerben, hiszen módosították a mederalakulást és az ártérfejlődést. A töltések kiépítésének következményeként a korábban nagy területre kiterjedő áradások már sokkal

keskenyebb területre korlátozódnak, amely az ártérfejlődésben okoz változásokat. A hullámterek egyik legfontosabb folyamata a felgyorsult feltöltődés, ami miatt a megépült árvízvédelmi töltések egy idő után már nem lesznek elég magasak, mivel a felszín és vele együtt az árvizek magassága megnő. Ez a Tisza mentén okoz nagy problémákat, ahol a szabályozásokat követően 5-10 mm/év a feltöltődés mértéke (Kiss et al 2011).

A folyószabályozás legfontosabb következménye a kanyarulatok átvágása volt, amelynek következtében megrövidült mederszakasz miatt nagyobb lett a vízfolyások esése, megnőtt a víz sebessége, ezáltal munkavégző képessége, így a kanyarulatok gyorsabban fejlődtek (Sipos 2006, Mezösi 2011). Ezt a folyamatot partbiztosítással szüntetik meg. Ez viszont azt vonja maga után, hogy míg a külső oldalon megakadályozzák a meder erózióját, addig a belső oldalon ugyanúgy zajlik az övzátonyok képződése. Ennek az eredménye a meder folyamatos szűkülése (Kiss et al 2011).

Az átvágások befolyásolták a vízszintek magasságát is. Az árvizek magassága egyre nő, a kisvizeké pedig egyre csökken (Kvassay 1902). Az átvágások közvetlen hatásaként például Szegednél a Tisza árvizeinek magassága 270 cm-rel nőtt, míg a kisvizeké 115 cm-rel csökkent (Kiss et al 2011).

Manapság a vízfolyások hasznosításának egyik legfőbb eszközei a vízlépcsők. A vízlépcsők építésének legfőbb céljai, hogy a vízszintkülönbségből adódó helyzeti energiát hasznosítsák energiatermelésre, a visszaduzzasztott szakasz hajózható legyen, illetve a vízszint megemelésével és elterelésével biztosítani lehessen a vízkivételt (Kertai 1968). Magyarországon számos vízlépcsőt találhatunk a nagy folyóinkon, amelyek közül kiemelhető a magyar-szlovák határon 1992-ben üzembe helyezett bősi vízlépcső, amely kiépítése 1986-ban indult meg, és számos környezeti változást vont maga után. A bősi vízlépcső Bogárdi (1971) csoportosítása szerint a folyam- vagy medertározó típusába tartozik. Erre az jellemző, hogy a zsilipeket árvizek idején megnyitják, így az alsóbb szakaszra több hordalék jut, mint a völgyzárógátas tározóknál. Árvíz idején a bősi erőműhöz kapcsolódó dunakiliti tározót megnyitják, így a szigetközi ágrendszerbe átmenetileg nagyobb vízhozamok jutnak. A völgyzárógátas tározóra ezzel ellentétben az jellemző, hogy a hordalék a gát mögött szinte teljes mértékben akkumulálódik, emiatt hordalékszegény víz jut át a gáton (Kiss és Andrási 2011).

A duzzasztógátak és a mögöttük kiépített víztározók szintén a folyók vizének hasznosítását célzó megoldások, amelyet a XX. századi növekvő vízigények tettek szükségessé. E létesítmények hatással vannak a folyók vízjárására, esésére, sebességviszonyaira, valamint a szállított hordalék mennyiségére, minőségére és

szemcseösszetételére (Kiss és Andrási 2011). A legszembetűnőbb folyamat a tározótérben a hordalék akkumulációja. Mivel a felsőbb szakasról érkező hordalék a vízsebesség lecsökkenése és a duzzasztógát akadálya miatt nem tud tovább szállítani, így a tározótérben felhalmozódik. A gát alatti szakaszon viszont a hordalékhiány miatt az úgynevezett „tiszta víz erózió” folyamata érvényesül. Ez azzal a következménnyel jár, hogy a hordalékát veszített víz energiája megnő, és a medret elkezdi erodálni. Egy jó példa a Dráva, amelyen száz év alatt 22 erőmű is épült, de a legalsó, horvátországi erőmű okozza a legnagyobb változást a folyó vízjárásában. Hatására az árvizek gyakorlatilag elmaradnak és a kisvizek magassága is erőteljesen csökken, amihez hozzájárul a tiszta víz erózió miatt fellépő mederbevágódás is. A kisvizek gyakoribbá válásával az alsó szakaszon a Dráva gyakorlatilag hajózhatatlanná vált (Kiss és Andrási 2011).

A nagyobb vízfolyások egyben fontos hajóútként is szolgálnak, amelyeken a megfelelő hajózhatóság szabályozásokkal és folyócsatornázással biztosítható (Kertai 1968). A szabályozás kisvízi szabályozással és mederkotrással valósítható meg. A kisvízi szabályozás lényege, hogy akkora vízmélységet alakítsanak ki a mederben, hogy a hajózás kisvíz idején is lehetséges legyen. Mivel a vízmélység egy nagyon fontos paraméter a hajózhatóság szempontjából, így a gázlók jelentik a legproblémásabb helyeket a vízi úton. Ezért a nem megfelelő helyen lévőket megszüntetik, azaz mederkotrással teszik lehetővé ezeken a helyeken a hajózást. A folyószabályozásokat esetenként kiegészíthetik vízlépcsők megépítésével (Kertai 1968).

Folyócsatornázást akkor alkalmaznak, hogyha sem szabályozással sem pedig vízlépcsőkkel nem biztosíthatók megfelelő körülmények a hajózás számára. Ebben az esetben úgynevezett egybefüggő lépcsőzést alkalmaznak, azaz a vízfolyás vízszintjét folyamatos lépcsőztetés segítségével olyan szinten megemelik, hogy az hajózható legyen. Ennek eredményeként csökken a folyó esése. A folyó felduzzasztásának a következményei többek között, hogy a folyó szélessége, mélysége, illetve a víz és hordalék levonulása megváltozik. A felduzzasztott víz pedig változásokat idéz elő a környék talajvízszintjében (Kertai 1968).

2.3. Vízállás gyakoriság és tartósság más folyókon

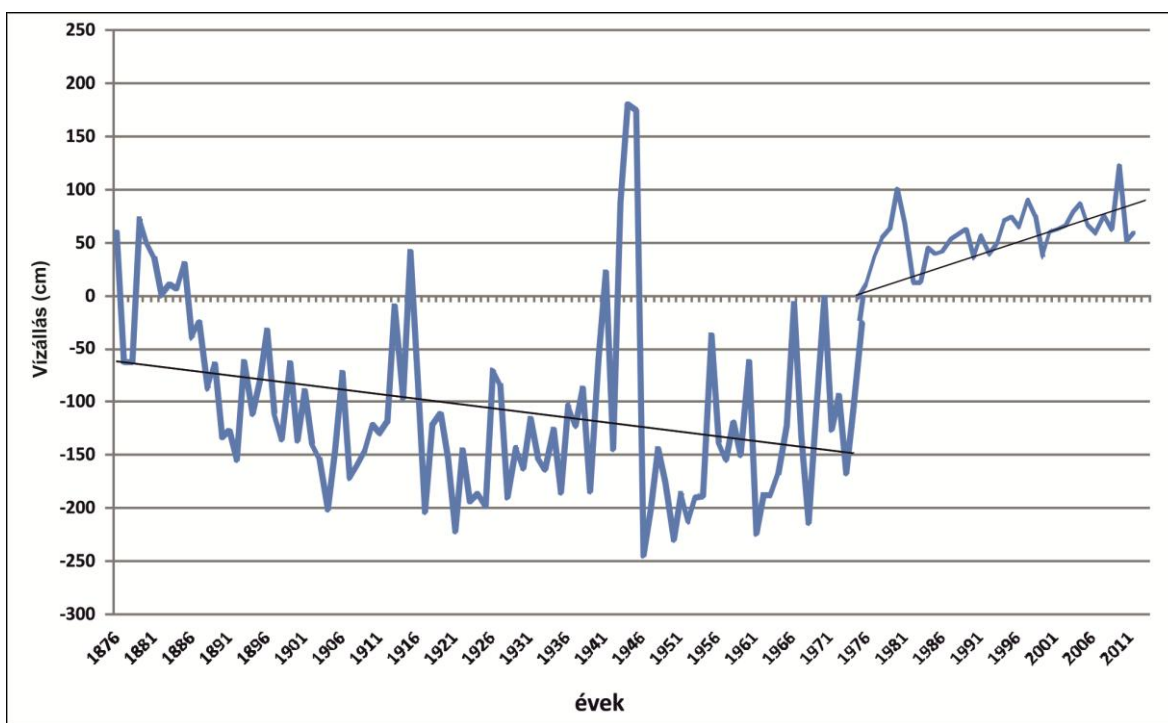
A vízfolyások mederfejlődése szempontjából fontos paraméter a vízállások tartóssága és gyakorisága, a kis- és nagyvizek, valamint az árvizek visszatérési ideje (Blanka 2010). Ezek a paraméterek jelentős változáson mentek keresztül az utóbbi 100-150 évben a folyószabályozások és a klímaváltozás következtében (Déri 1988). A következőkben a kisvizek, valamint az árvizek változását mutatom be néhány magyarországi vízfolyás példáján.

2.3.1. Kisvizek tartóssága és gyakorisága

A kisvizek statisztikai hidrológiai jellemzőivel Konecsny (2010ab) foglalkozott, számos vízfolyáson (például Maros, Berettyó, Szamos és Fekete-Körös) végzett statisztikai vizsgálatokat. Definíciója szerint „a kisvízi időszak azt az egyéves hidrológiai ciklust vagy naptári éven belüli időszakot jelenti, amely során a vízgyűjtő-területről történő lefolyásban jelentős csökkenés következik be, és kisvízi vízhozamok figyelhetők meg” (Konecsny 2010ab). Kisvizek nyáron és télen is előfordulhatnak. Nyáron a fokozódó csapadékhiány és a magas hőmérséklet miatti párologás, télen pedig a hó formájában lehulló és elraktározódó csapadék miatt jöhetnek létre. Minden kisvizes időszakot csapadékhiányos időszak előz meg, azaz az adott időszakban az arra jellemző sokévi közepes csapadékmennyiségnél kevesebb hullik le (Konecsny 2010a).

A vízhiányos időszakokkal azért érdemes foglalkozni és jelentőségük abban rejlik, hogy jelentős ökológiai, társadalmi és gazdasági problémákat okozhatnak (Konecsny 2010a). A kisvizek hosszának növekedése és szintjének csökkenése a talajvíz magasságának csökkenésével jár, ugyanis lerövidült a talajvíz pótlódásához szükséges nagyvizes időszak hossza, illetve a kisvizes időszakokban a folyó a talajvizet megcsapolja, abból nyerve vízutánpótlást (Bezdán 2011). Ráadásul a kanyarulat-átvágások miatt megnőtt a folyóvíz energiája, a meder bevágódott, ami szintén csökkentette a kisvizek magasságát (Blanka 2010). A csökkenő kisvizes vízállások a hajózás szempontjából is problémát okoznak. Ezért szükségesek a meder kisvízi szabályozása, ami a meder teljesen átalakulását eredményezi, hiszen a korábbi sekély, lapos meder szűkül és bevágódik (Bezdán 2011).

Mint minden szabályozott folyó esetében, a Tisza medrében is a kisvizek magasságának csökkenése volt megfigyelhető a szabályozásokat követően (Bezdán 2011). Számításaim szerint például a Tisza szegedi szelvényében az évi legkisebb vízállás magassága az 1970-es évekig csökkent, magasságuk átlagosan 160 cm-rel lett alacsonyabb, tartósságuk pedig 12%-kal nőtt, majd 1974-től fokozatos emelkedés tapasztalható a törökbecsei duzzasztó hatására (2. ábra).



2. ábra. Az éves legkisebb vízállások a Tisza szegedi szelvényében az 1876-2012 közötti időszakban(adatok forrása: www.hydroinfo.hu)

Konecsny (2010) megvizsgálta a Maroson, a Berettyón és a Tiszán a kisvizes időszakok évenkénti számát. A makói szelvényben azt tapasztalta, hogy a kisvizes időszakok száma folyamatosan növekszik, és csupán hat olyan évet talált (1955, 1970, 1980, 1981, 1997, 1998), amikor a vízállás nem csökkent a kisvízi határérték alá. Véleménye szerint a kisvizek gyakoriságának emelkedésének háttérében a Maros vízgyűjtőjén a növekvő vízviasszatartás áll. A leghosszabb kisvizes időszak 244 napig tartott 1954-ben.

A Berettyó berettyóújfalui szelvényének adatsorát vizsgálva pedig azt tapasztalta Konecsny (2010b), hogy a vízhiányos időszakok gyakorisága csökken. Ennek oka az lehet, hogy a vízfolyáson nincs olyan létesítmény, amely hatással lenne a kisvizes időszakok hosszára, valamint a vizsgált időszakban 13 olyan bőséges lefolyású év volt, amikor nem mutatkozott kisvízi határértéknél alacsonyabb vízállás, és ezeknek az éveknek a 77%-a 1977 után fordult elő. A gyakoriság mellett a kisvízi vízállások tartóssága is csökkenő

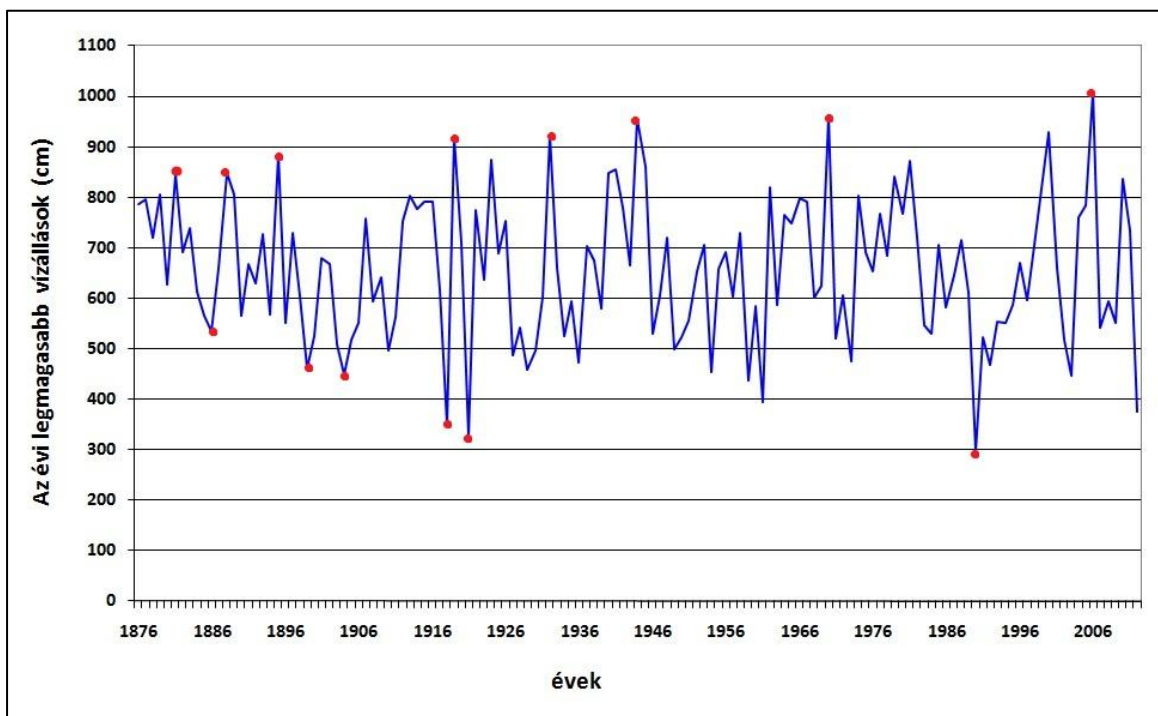
trendet mutat a Berettyón, a leghosszabb időszak 230 napig tartott 1950-ben (Konecsny 2010b).

2.3.2. Nagyvizek tartóssága és gyakorisága

A mederformálást alapvetően befolyásolja árvizek hossza és gyakorisága is (Blanka 2010). Hazánkban a tél végén jelentkezhetnek a jeges árvizek, majd a hegyvidékekből eredő folyókon a tavaszi hóolvadás miatt kialakulhat a tavaszi árvíz, valamint a nyár eleji intenzív esőzések úgynevezett „zöldár”-at indíthatnak el. Általánosságban jellemző, hogy az árvizek magassága a szabályozásokat követően jelentősen megnövekedett (Kvassay 1902). Ennek legfőbb oka egyrészt, hogy a hullámtér leszűkítése miatt a folyó vize árvíz idején nem tud szétterülni a korábbi széles ártéren (Déri 1988), másrészt pedig a hullámtér fokozódó feltöltődése miatt az árvizek szintje egyre magasabbá válik (Kiss et al 2011). Viszont a nagyvizek tartóssága lecsökkent, mivel a folyómeder hosszának rövidítésével és esésének megnövekedésével gyorsabban levonulhatnak az árvizek. A Tiszán például a szabályozásokat követően az árvizek 26%-kal gyorsabban vonulnak le, mint a beavatkozásokat megelőzően (Bezdn 2011).

Az 1876-2012 közötti időszakra vonatkozóan kigyűjtöttem az éves legmagasabb vízállásokat a Tisza szegedi szelvényében (**3. ábra**). A diagramon jól látható, hogy a vizsgált időszakban nem tapasztalható trendszerű változás az éves tetőző árvízi magasságok értékeiben, de az adatok szórása az idő előrehaladtával egyre nagyobb. Viszont ha az árvizek tartósságát elemezzük, akkor azt kell tapasztalnunk, hogy a harmadfokú árvízvédelmi készültségek (ami például a Tisza esetében Szegednél a 850 cm-nél magasabb vízállásokat jelenti³) időtartama erősen növekvő tendenciát mutat, míg az első fokú árvízvédelmi készültségekhez tartozó 650-750 cm magasságú árvizek hossza pedig csökken (Déri 1988).

³ www.vizugy.hu



3. ábra. Az éves tetőző vízállások magassága az 1876-2012 közötti időszakban a Tisza szegedi szelvényében (adatok forrása: www.hydroinfo.hu)

Déri (1988) szerint az árvizek tartósságának és magasságának növekedését, valamint torlódásukat az árvízvédelmi művek megerősítése okozza. Ez főleg az alsóbb szakaszokon jelentkezik, mivel megakadályozzák, hogy a természetes árterekre elvezetődjön a víz egy része, és ne alakuljon ki torlódás.

A tetőző vízállások magasságát egyes folyószakaszokon befolyásolhatja az adott mederszakasz állapota is. Ha a vízvezető-képesség romlik, akkor az áradás nehezebben vezetődik le, és tartóssága nő az adott folyószakaszon. A vízvezető-képesség romlását okozhatja a sűrű hullámtéri növényzet (különböző számítások és modellezések alapján kimutatták, hogy a hullámtéri növényzet kiirtását követően akár 140-150 cm-rel is csökkenhetnek a vízszintek), valamint a feliszapolódás (Dombrádi 2004).

Egy vízfolyásba beleömlő más folyók is előidézhethetnek árvízszint-emelkedést, például a Tisza alsó szakaszán nagymértékben megnövelheti az árvizek magasságát a Körösök, a Maros, vagy a Duna duzzasztó hatása. Például 2006-ban a Tisza vízállása Szegednél meghaladta az 1000 cm-t, a jelentős dunai visszaduzzasztás miatt (Bezdán 2011).

2.4. A mederalakulás és kisvízi problémák a Dunán

A mederalakulást befolyásolja, ha változik vízjárás, a hordalék mennyisége, milyensége és mozgása, valamint jelentősen hathatnak az emberi beavatkozások is. A hordalékmozgás természetes folyamatát megbonthatja a folyószabályozás, mederkotrás, a meder vizének elterelése és visszavezetése, valamint a folyón létesített műtárgyak. Ez a folyamat jól tanulmányozható a magyarországi Felső-Duna szakaszán, amely a víztestek „nem erősen módosított” kategóriájába tartozik **(1. ábra)**, kivéve a szlovák határral érintkező „erősen módosított” szakaszt Rajka és Gönyű között. Ennek oka a főág elterelése, a dunacsúnyi duzzasztó, valamint a bósi vízlépcső által okozott hatások, illetve az 1970-es évek elején meginduló ipari célú mederkotrás. Ezen a szakaszon (volt) a legnagyobb a hordalékban a kavics részaránya, ezért itt termelték ki a legtöbbet, kb. 13 millió m^3 -t (Rákóczi 2000). Összehasonlításként a Duna éves fenékhordalék-hozama Dunaremeténél meghaladta a 100 ezer $\text{m}^3/\text{év}$ mennyiséget, Dunaalmásnál 21 ezer m^3 , Nagymarosnál viszont már csak 14 ezer m^3 volt a bósi vízlépcső és a mederkotrások megkezdését megelőző időszakban (Rákóczi 2000). A munkálatok és a vízi létesítmények üzembe helyezését követően azonban olyan változások következtek be, amelyek a meder mélyüléséhez és a vízállások erőteljes csökkenéséhez vezettek, így ettől kezdve a kisvízi problémák egyre nagyobb figyelmet kaptak (Dombrádi 2004).

A kisvizek csökkenése és a meder süllyedésének mértéke az ipari célú mederkotrások következtében vált igen látványossá, ugyanis a Nemzetközi Duna Bizottság mindig kihirdet egy úgynevezett DB-szintet, amely a legkisebb hajózási és szabályozási vízszintet jelenti. Ennek az értéknek a változása utal a meder mélyülésére vagy emelkedésére. A mederkotrásokat megelőzően, egy-egy ilyen érték akár 10 évig is érvényes volt. Azonban az első mederkotrások következtében a meder fokozódó ütemű süllyedése volt megfigyelhető. Ezért a Duna Bizottságnak újabb DB-szinteket kellett meghatározni. Ezek azonban már nem tudták követni a medersüllyedés mind gyorsabbá váló ütemét, ezért úgynevezett munkavízszinteket határoztak meg (Rákóczi 2000).

A víztározók és vízlépcsők miatt a szállított hordalék a tározókban akkumulálódik, a hordalékát vesztett víznek pedig nő a munkavégző képessége, így a tározó alatti folyószakaszon medermélyülés és/vagy mederszélesedés tapasztalható (Kiss és Andrási 2011). A görgetett kavics-hordalék csapdázódása miatt a Duna felső szakaszán mederpáncélzat alakult ki. Mivel a kavics továbbszállításához nagyobb kritikus vízsebességre van szükség (az Öreg-Duna medrében levonuló kis sebességű és jóval

kisebb vízhozamú víztömeg nem képes tovább görgetni a kavicsanyagot), így a görgetett hordalék nem tud továbbszállítani és a meder alján reked, miközben az apróbb szemcsék elszállítódnak. Az így kialakuló mederpáncélzatot pedig már csak a nagyobb vízhozamú árvizek tudják megbontani. Ezért a Duna érintett szakaszán a mederalakulást a hordalékszállítás határozza meg, amely az árvizek magasságától, vízhozamától és tartósságától függ (VITUKI 2007a).

A Dunán lefelé haladva a fenékhordalék szemcseméretének csökkenése figyelhető meg, így az alsóbb szakaszokon a homokos frakció aránya egyre nagyobb. A Dunaföldvár és Kalocsa közötti szakaszon is megindultak a mederkotrások a 1970-es években, ami bevágódást eredményezett. Az 1983-ban üzembe helyezett Paksi Atomerőmű vízkivétele miatt szintén jelentős kisvízi vízszintcsökkenés tapasztalható. Azonban a kotrások éves mennyisége fokozatosan csökken, mivel a Duna felső magyarországi szakaszán a megépült duzzasztók akkumuláló hatása miatt az alsóbb szakaszokra leginkább már csak lebegtetett hordalék érkezik (de ez is csökkenő tendenciát mutat a folyami létesítmények hordalék-visszatartása miatt).

Mivel a Dunaföldvár és a déli országhatár közötti folyószakasz kanyargásra és meanderek kialakítására hajlamos, ráadásul a zátonyvándorlás is jelentős, ezért a hajózás és az árvizek, jeges árak levonulása nehézkessé vált. Az árvizek elleni védekezés és a hajózás biztosítása céljából a XIX. században megkezdtek a mederátvágásokat, így a 210 km-es Dunaföldvár - déli országhatár közötti szakaszt 127 km-re rövidítették (VITUKI 2007a).

A hajózás szempontjából fontos paraméter az LKHV, a legkisebb hajózási vízszint, amelynek gyakorisága az 1901-1947 közötti időszakhoz viszonyítva (a legkisebb hajózási vízszintek gyakorisága 1-2 % volt) az 1971-2006 közötti időszakban az alsó Duna-szakaszon a többszörösére emelkedett, például a dunaföldvári szelvényben 30-szorosára, Paksnál 20-szorosára, Bajánál és Mohácsnál pedig 6-szorosára nőtt (VITUKI 2007a).

3. A vizsgálati terület jellemzése

3.1. A magyarországi Duna-szakasz

A Duna a Volga után Európa második leghosszabb folyója (2850 km), valamint egyik legjelentősebb belvízi hajóútja, amely hajózható útvonalat biztosít Németországtól egészen a Fekete-tengerig. A Duna-Majna-Rajna csatorna megépítését követően pedig már az Északi-tengertől megvalósulhat a folyón történő hajózás (Ivicsics és Szekeres 1996).

A Duna teljes **vízgyűjtő területe** 817 ezer km², amely magába foglalja az egész Kárpát-medencét (Ivicsics és Szekeres 1996).

A Duna a fekete-erdei forrásvidéktől a fekete-tengeri torkolatig három nagyobb **egységre** osztható. A Fekete-erdőtől a Dévényi-kapuig tart a Felső-Duna, amely főleg hegyvidéki területeken halad keresztül, így esése nagy; a Dévényi-kaputól a Kárpát-medencén át a Vaskapuig terjed a Közép-Duna, valamint a Vaskaputól a fekete-tengeri torkolatig húzódik az Alsó-Duna (Frisnyák 1988).

A Közép-Dunához tartozik a 417 km hosszú magyarországi Duna-szakasz, amely Rajkánál lép be az országba, majd Moháctól délre hagyja el (Frisnyák 1988). A Duna **vízjárását** és **vízhozamát** az Alpokban lehullott csapadék, valamint az ottani olvadékvizek befolyásolják (Pécsi 1959). A Dunának két jelentős árvíz alakulhat ki: a tavaszi ár, amely kora tavasszal az Alpokban jelentkező hóolvadás miatt alakul ki, míg a zöldár a május-júniusi csapadékmaximumhoz köthető. A zöldárak nem annyira veszélyesek, ugyanis időben elnyúlnak az egész folyószakaszon, lassan emelkednek és nagyon lassan is húzódnak vissza. Ennél jóval veszélyesebbek a július-szeptemberi időszakban a heves, több napos ausztriai esőzések miatt kialakuló árvizek, valamint a télen a jégtorlaszok miatt kialakuló jeges árák. A Dunán a kisvizes időszak októbertől, illetve decembertől jelentkezik, amikor a vízgyűjtő magashegységi területein hóban tárolódik a vízkészlet (VITUKI 2007b).

A Duna a hordalék mennyisége és a hordalék elszállításához szükséges energia alapján különböző morfológiájú **szakaszokra** osztható (Pécsi 1959). A különböző szakaszjellegeket először Cholnoky írta le, és ezt a felosztást Bulla (1945) is követte. Cholnoky szerint a felső-szakaszjellegű szakaszokon a folyó munkavégző képessége nagyobb, mint ami hordalék elszállításához szükséges, így a folyó bevágódik, kimélyíti a medrét, és V-alakú völgyet alakít ki magának. A középső-szakaszjelleg esetén a hordalék mennyisége, valamint az elszállításához szükséges energia egyensúlyban van. Ilyenkor a folyó meandereket hoz létre, kanyarog. Az alsó-szakaszjelleg pedig azt jelenti, hogy a

hordalék mennyisége nagyobb, mint az az energia, amely a továbbszállításához szükséges, így a hordalék egy részét lerakja, és szigeteket, zátonyokat hoz létre (Cholnoky 1929). Azonban ez a tipizálás nem teljesen helyes, ugyanis nem csak kizárólag bevágódás vagy feltöltődés mehet végbe egy adott folyószakaszon, hanem előfordulhat, hogy az egyik folyamat jobban vagy kevésbé domináns, mint a másik. A teljes magyarországi szakaszon a különböző szakaszjellegek egymást folyamatosan váltogatják (Pécsi 1959).

A Duna hazai felső szakaszán az országba belépve a nagy esés jellemző (30-40 cm/km) és nagy mennyiségű görgetett kavicsot szállít, amelynek nagy részét korábban a Kisalföldre érve rögtön le is rakta, és ennek következtében a folyó ágakra szakadt (Ivicsics és Szekeres 1996). A Duna e szakaszán – a durva hordalék miatt – a mederformálás szoros összefüggésben áll a vízhozam-ingadozásokkal. Mivel a Kisalföld területén a hordalék nagy részét a durva (1-15 cm) hordalék teszi ki, így ennek elmozdításához nagy vízsebességre van szükség, tehát jelentős mederformálás csak árvizek idején lehetséges. Az emberi beavatkozásokat megelőzően a folyó itt tipikusan alsó szakaszjellegű volt (Pécsi 1959) vagy az újabb tipizálás szerint anasztomizáló mintázatú (Mezősi 2011). Azonban az 1991-ig tartó ipari célú kavicsbányászat, majd az 1992-ben üzembe helyezett bősi vízerőmű jelentősen megváltoztatta a Duna felszínformáló folyamatait. A bősi erőműhöz tartozó duzzasztó, tározó, valamint az új főmedret jelentő üzemvíz-csatorna alapvető változásokat okoztak a folyó vízjárásában, hordalékmozgásában, és mederformáló tevékenységében. A dunacsúnyi duzzasztó a korábbi nagy mennyiségű hordalék szinte teljes egészét felfogja. Ezen a Duna-szakaszon már nem is figyelhető meg természetes mederformálás a szabályozások miatt. A hajózás az új főmederbe (üzemvíz-csatorna) került, a régi főmederben a vízhozam lecsökkent, ezért a mederformáló folyamatok passzív irányba fordultak át. A hordalék-csapdázódás miatt a Bős alatti szakaszon mederpáncélzat alakult ki, mivel a duzzasztás miatt nem érkeznek a mederbe olyan nagy vízhozamok, amelyek a kavics-hordalékot tovább tudnák szállítani (VITUKI 2007a).

A Szap alatti folyószakaszon – ahol a régi és az új főmeder összefolyik – hirtelen megnő a folyó energiája. Annak ellenére, hogy a meder esése már jóval kisebb – átlagosan 13 cm/km Gönyűig (Lovász 2007) –, mint a felső szakaszokon, megnő a hordalékszállító-képesség. Ennek okai, hogy hirtelen megnő az áramlási sebesség, a vízben pedig hordalékhiány jelentkezik, így a folyó eróziós képessége megnő (VITUKI 2007a). Ezen folyamatok miatt a meder bevágódik, aminek mértéke az 1970-es évek óta a korábbi 1,5-8 cm/év ütemű feltöltődéshez képest 3 cm/év. Ennek eredményeként a kisvízállások kb. 1,5 métert süllyedtek (VITUKI 2007b).

A Duna-mederben Esztergomig az eróziós és akkumulációs folyamatok váltogatják egymást (Pécsi 1959). A szállított hordalék már finomabb szemcse-összetételű, kevesebb görgetett kavicsot tartalmaz, mint az országhatárnál. A meder esése itt már jóval kisebb, hiszen a Gönyű–Komárom közötti szakaszon az átlagos vízszín-esés 5 cm/km (Lovász 2007). Az ipari célú kavicskotrások itt is 1,5 m-es bevágódást eredményeztek (VITUKI 2007a).

Az Esztergom alatti szakaszon a meder esése hirtelen lecsökken, amely a Visegrádi-hegységet felépítő andezit ellenálló-képességének köszönhető (Lovász 2007). A folyó kényszerített mederben halad, szakaszjellege kanyarogva bevágódó. A bevágódás sebessége lépést tart a hegység ma is zajló emelkedésével (Pécsi 1959).

A Visegrádi-szorost elhagyva egészen Rácalmásig a vízszint esése újra megnő (átlagosan 18 cm/km) (Lovász 2007), a mederben az akkumulációs folyamatok a dominálnak, egy-két rövidebb szakasz kivételével. Ezen a szakaszon található a Duna két legnagyobb szigete: a Szentendrei- és a Csepel-sziget is (Pécsi 1959). A Paks-Déli-országhatár szakaszt a következő fejezetben tárgyalom részletesebben, mivel ezen a szakaszon helyezkedik el a mintaterületem.

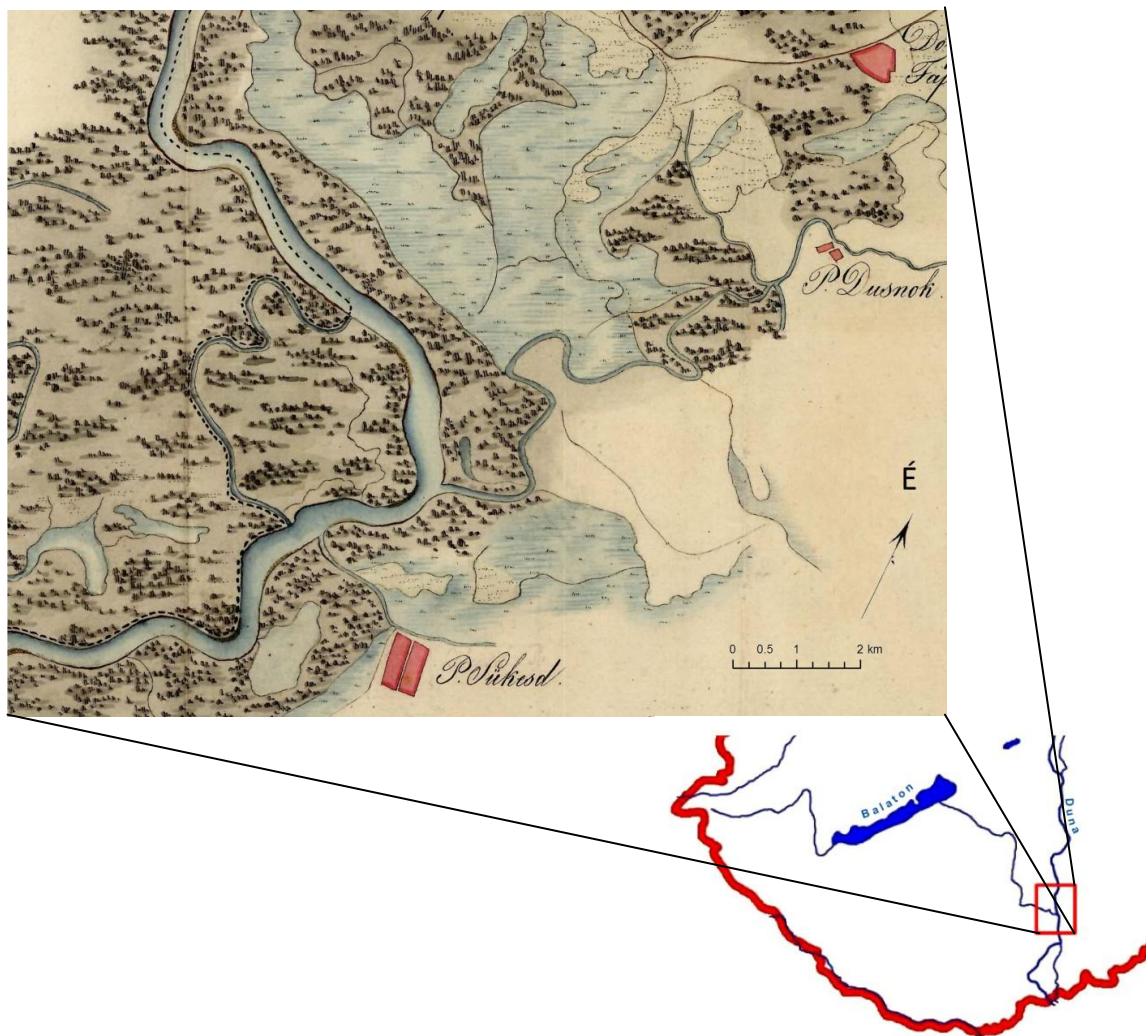
3.2. A vizsgálati terület jellemzése

A vizsgálat során a mohácsi vízmérce adatait és a sükösdői szakasz zátonyait vizsgáltam, ezért a továbbiakban a Paks és Mohács közötti Duna-szakaszt mutatom be részletesen. Itt a Duna esése tovább csökken, hiszen Fajszig 6-8 cm/km, míg alatta már csak 4-5 cm/km. A meder szélessége 450-600 m között változik, a legszűkebb szakasz (450 m) Dunafalvánál található. A mederanyag és a hordalék ezen a szakaszon már nagyon finom szemcséjű, Dunaföldvártól Kalocsáig a meder anyaga márgás, Kalocsa alatt pedig már finom iszap és homok alkotja (VITUKI 2007a).

Dunaföldvártól a déli országhatárig összesen 32 db kanyar tagolja a Dunát, illetve több szűkület is jellemzi, amelyek megnehezítik az árvizek levonulását. Ezért itt a **folyószabályozások** legfőbb célja a megfelelő hajózás biztosítása mellett a jegyes árvizek megelőzése volt, ugyanis a kanyarulatok elősegítik a jég feltorlódását. A Dunaföldvártól délre lévő folyószakaszon a legjelentősebb beavatkozást a 19. században megkezdődő kanyarulat-átvágások jelentették. Az 1970-es évektől is történt ipari célú mederkotrás, amely kedvezőtlenül hatott a mederalakulásra: a hajózás nehezkesebbé vált, illetve a kisvízszintek lesüllyedtek. Manapság a Paksi Atomerőmű vízkivétele (a folyóból főleg hűtővíz céljából emelik ki a vizet) van hatással a mederviszonyokra. Az erőmű 1981-es

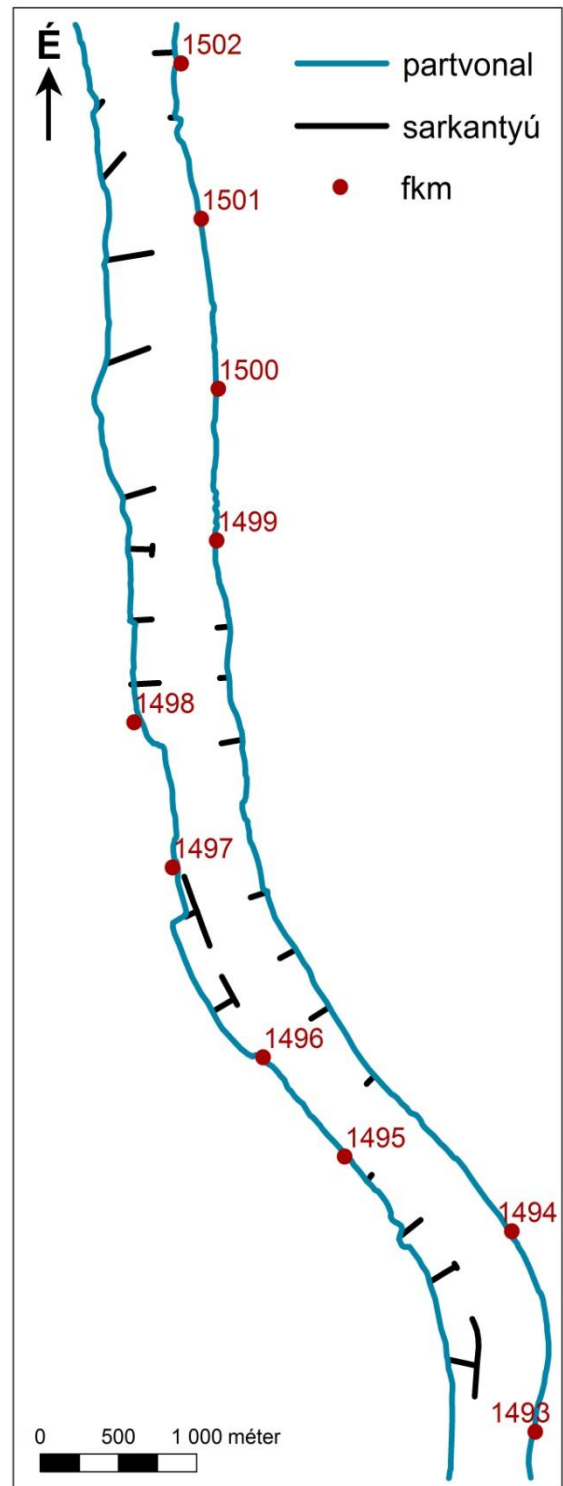
üzembe helyezését követően számos dunai vízmércén rendkívüli alacsony vízállásokat figyeltek meg. Ezért lecsökkentették a kotrások mennyiségét, ennek ellenére a kisvizek máig évről évre – a felső-dunai duzzasztók által felfogott görgetett hordalék csökkenő aránya miatt – csökkenő tendenciát mutatnak (VITUKI 2007a).

Az általam vizsgált sükösdí szakasz a Duna kanyarulat átvágásakor jött létre, és anyamederként 1856-tól funkcionál. A (bogyiszlói) kanyarulat átmetszését 1843-ban kezdték meg (**4. ábra**), hogy megszüntessék a jégtorlódásra alkalmas helyeket, amelyek a jeges árvizek (például az 1838. évi) kialakulásában is szerepet játszottak (Ihrig 1973). A vizsgált szakasz napjainkban is jellemző állapotát az **5. ábra** mutatja, amely a későbbiekben, a zátonyok vizsgálata részénél lévő ábrák térben való elhelyezésének könnyítését is szolgálja.



4. ábra. A vizsgált terület a folyószabályozások előtt

A vizsgált szakaszon a hordalékszállítást nagymértékben befolyásolják azok a sarkantyúk, amelyeket valószínűleg 1935 körül helyeztek el. Ihrig (1973) a Dusnok környéki Duna-szakaszon a sarkantyúk elhelyezését 1935-höz köti, így feltehetőleg az ettől délre található szakaszon is ebben az időszakban építették a jobb parton az első ilyen mederszabályozási műveket. Egy 1953-as légifotón az előző évinél több sarkantyú található, így feltételezhető, hogy az 1950-es évek elején is építettek újabb sarkantyúkat.



5. ábra. A vizsgált Sükösd-Dusnok közötti terület

4. Vizsgálati módszerek

4.1. A vízállások vizsgálata

A vizsgálat során a mohácsi vízmércénél mért napi vízállás-adatokat elemeztem. Az adatokat a www.hydroinfo.hu weboldaltól töltöttem le 1900-tól egészen 2013-ig.

A nagy mennyiségű adathalmazt az elemzések megkönnyítése érdekében tíz éves periódusokra (1900-1909, 1910-1919 stb.) bontottam. Ezekre a tízéves időszakokra kiszámítottam, hogy hogyan változott:

- a vízállások tartóssága és gyakorisága;
- a kisvizek, nagyvizek és árvizek magassága;
- a kisvizes és a nagyvizes napok száma;
- a vízállások és vízhozamok közötti kapcsolat.

A dolgozatomban kisvizeknek tekintem a 315 cm alatti vízállásokat, mivel a kiinduló időpontban (1900-1909) ezek 90%-os gyakorisággal fordultak elő. Nagyvizesnek pedig azt az időszakot tekintem, ahol a mederteltség meghaladta az 50%-ot, tehát az 500 cm-t és az annál magasabb vízállásokat.

Az elemzésekhez felhasználtam a Vízrajzi Évkönyveket is. Itt vettem észre, hogy egyes években a vízmérce"0" pontjának magassága megváltozott. Ezt követően pontos tájékoztatást kértem az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságtól a változások időpontjáról és mértékéről. Ezek szerint 1899 után a mohácsi vízmérce a "0" pontjának magassága 81,275 m B.f. volt, majd 1943. január 1-én a vízmércét lejjebb helyezték 79,200 m B.f. magasságra. Később, 1996-ban 5 mm-rel helyezték lejjebb a "0" pontot 79,195 m (B.f.).

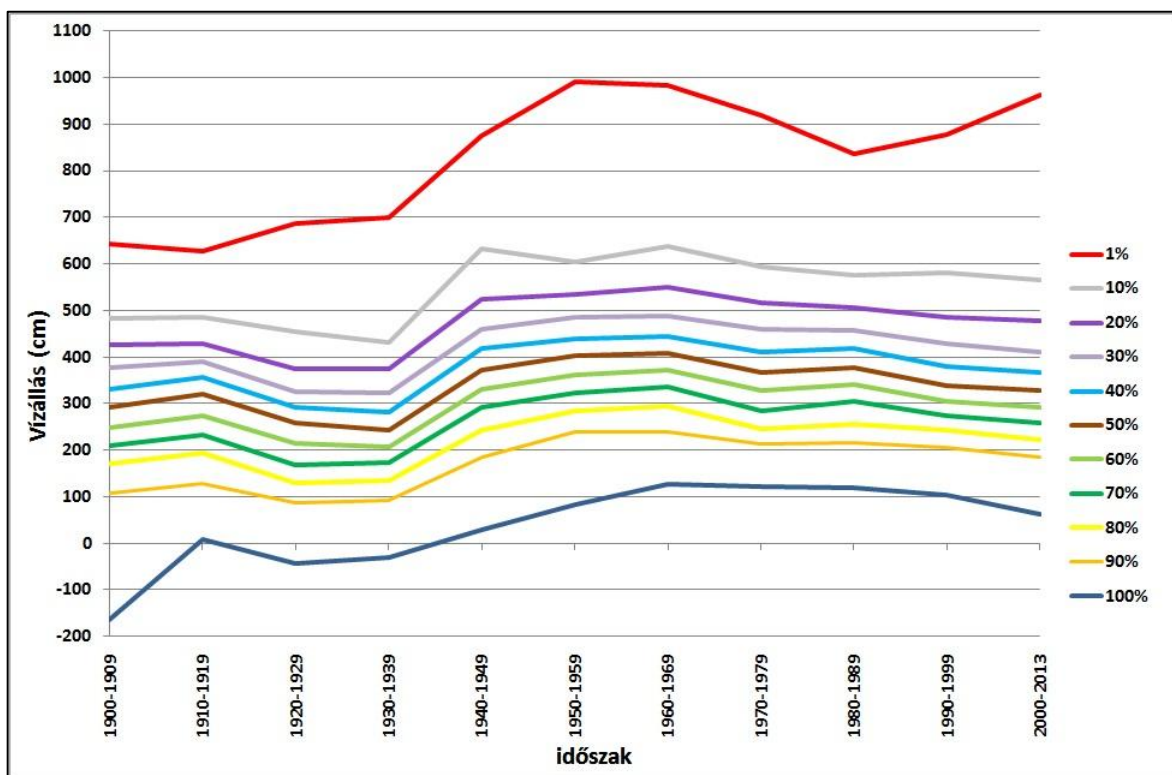
Ahhoz, hogy megbizonyosodjam afelől, hogy a www.hydroinfo.hu weboldalon található korrigálták-e a vízmérce-áthelyezés magasságkülönbségével, a legegyszerűbb módszer az volt, hogy megnéztem az 1942. december 31-i és az 1943. január 1-i adatokat. Az első időpontban a vízállás 52 cm volt, míg az utóbbi időpontban már 242 cm volt. Mivel nem indokolta semmi, hogy a vízállás hirtelen emelkedjen közel 200 cm-t, úgy véltem, hogy az internetes forrásból származó adatok hibásak. Azért, hogy korrigáljam ezt a hibát, az 1900 és 1943 közötti napi vízállás-adatokhoz hozzáadtam a két "0" pont különbségét, azaz 208 cm-t.

Ez azért volt nagyon lényeges, mert rossz eredményeket kaptam volna, hiszen Magyarország nagyobb vízfolyásain az az általános tendencia figyelhető meg, hogy a tetőző vízállások magassága nő, míg a kisvizeké csökken. A korrekció előtti hibát jól

szemlélteti az **6. ábra**, amely azt mutatja, hogy a kisvizek gyakorisága fokozatosan emelkedik, de ez csak a vízmérce áthelyezésekből ered. A továbbiakban a korrigált vízállás-adatok alapján kapott eredményeket mutatom be.

A vízállások tartóssága azt jelenti, hogy milyen hosszú ideig (hány napig) haladta meg az adott vízállást a vízszint. A vízállások gyakorisága pedig azt, hogy egy adott vízállás milyen gyakran esett bizonyos vízszintek közé egy meghatározott időszakban (pl. 1 év). Kiszámítottam a különböző gyakoriságú (pl. 10-20%) vízállásokhoz tartozó vízszinteket is (meghaladási-valószínűség görbék). A vízállások gyakoriságának vizsgálatánál tetőző vízállásnak az egyes periódusok legmagasabb vízállását tekintem.

A kapott hidrológiai eredményeket összevetem a Duna mederalakulásával, valamint azzal, hogy a vízállások változása milyen potenciális problémákat okozhat a hajózás, a vízkivétel és vízutánpótlás szempontjából.



6. ábra. A vízállások gyakoriságának hibás változása a vízállás-adatok korrekciója előtt

4.2. A zátonyok formálódásának vizsgálata

A Sükösd melletti szakasz mederfejlődését az 1952 és 2014 közötti időszakban elemeztem térképek (1952, 1953, 1959, 1970 és 1990) és légifotók segítségével (2000, 2004, 2005, 2011 és 2014). Bár az adatforrások által reprezentált évek időben nem

egyenletes oszlanak el, de ennél több térbeli adatot nem találtam a mintaterületről, és reméltem, hogy ezek kellően reprezentatívak lesznek.

Sajnos a légifotók és térképek más-más időszakban és vízállás mellett készültek. Ez azonban nagyon fontos a partvonal futásának és a zátonyok méretének vizsgálata kapcsán, hiszen árvizes időszakban a víz elfedi a formákat, míg kisvizes időszakban a zátonyok vízfelszín fölé emelkednek és láthatóvá válnak. A felhasznált térképek és légifotók jellemzőit az **1. táblázat** foglalja össze.

felvétel éve	adatforrás típusa	felvétel napja	vízállás (cm)
1952	térkép	-	-
1953	légifotó	n.a.	n.a.
1959	térkép	-	-
1970	térkép	-	-
1990	térkép	-	-
2000	légifotó	n.a.	n.a.
2004	légifotó (Google Earth)	04.23	213
2005	légifotó	n.a.	n.a.
2011	légifotó (Google Earth)	09.30.	72
2014	légifotó (Google Earth)	04.08.	36

1. táblázat. A felhasznált adatforrások, és a készületükkor jellemző vízállások

A térképi állományok geo-korrekcója után az egyes években digitalizáltam ArcGIS program segítségével a két partvonalat és a zátonyokat. Így képet kaphattam arról, hogy miként változott az adott mederszakaszon a partvonal és a mederszélesség, illetve hogyan alakult a zátonyok száma és mérete.

A zátonyok vizsgálata során értékelem, hogy az egyes években hogyan alakult a zátonyok száma, területe, valamint a növényzettel való borítottság. Kiszámoltam, hogy az egyes zátonyokon mekkora területet foglalt el a fás és lágyszárú növényzet, illetve mekkora területet borított csak homok. Ezután csoportokba soroltam a zátonyokat a folyóparthoz viszonyított helyzetük alapján. A kapott adatokat összevettem a hidrológiai változásokkal, megvizsgálva ezzel azt, hogy vajon van-e kapcsolat a zátonyok fejlődése, illetve a vízállások magasságának megváltozása között.

5. Eredmények

A kutatásom céljainak megfelelően először külön értékelem a hidrológiai és morfológiai változásokat, majd ezek között összefüggéseket keresek.

5.1. Hidrológiai változások

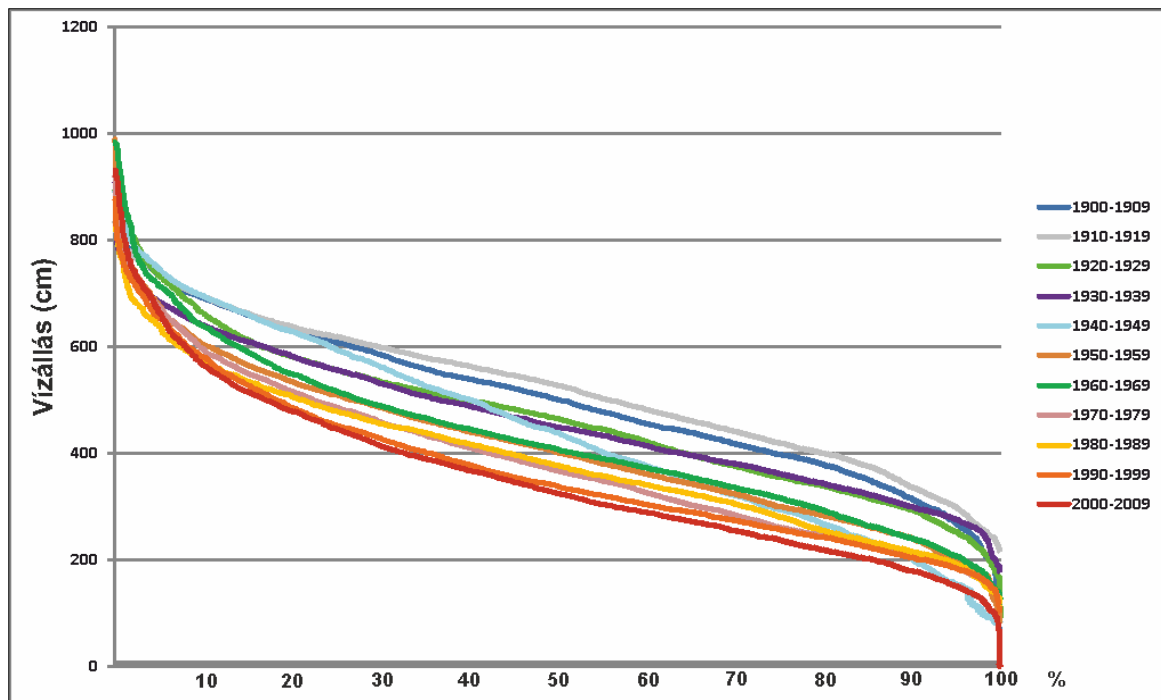
Első lépésként megvizsgáltam a vízállásokban és a vízállás-vízhozam kapcsolatában bekövetkezett változásokat, majd ezt értékeltem a vízhasznosítás, illetve a hajózás szempontjából.

5.1.1. A vízállások vizsgálata

Vizsgálataim eredményei közül először a **vízállások tartósságának** változásait mutatom be 1900 és 2009 közötti időszakban, tíz éves periódusokra bontva (**7. ábra**). Jól látható a tartóssági görbék fokozatos lejjebb csúszása. Bár a görbék viszonylag párhuzamosan futnak, viszont nagyobb eltérés tapasztalható az 1940-es és a 2000-es éveket ábrázoló görbék futásában. Az 1940-es években az 50%-os tartósságot meghaladó vízállások kiemelkedően magasak voltak, amely magyarázható azzal, hogy az évtized eleje az átlagosnál csapadékosabb volt⁴. Az utolsó két görbe között pedig az 50%-nál kisebb tartósságú vízállások esetében nőtt meg a távolság, amely a kisvizes vízállások erőteljes alászállására enged következtetni.

Kiemelném a kisvizek, a nagyvizek valamint a tetőző vízállások változását. A kiinduló időpontban (1900-1909), az időszak 90%-ában a vízállások meghaladták a 315 cm-t, míg 50%-ában az 500 cm-t és 10%-ában pedig a 690 cm-t. Az időszak legmagasabb vízállása 852 cm volt. Ezzel ellentétben, az utolsó évtizedben (2000-2009) a vízállások az időszak 90%-ában már csak a 179 cm-t haladták meg, 50%-ában a 325 cm-t, 10%-ában pedig az 565 cm-t. Ezek alapján a 90%-os tartósságú vízszintek 136 cm-rel, az 50%-os tartósságú vízállások 175 cm-rel, a 10%-os tartósságú vízállások pedig 125 cm-rel csökkentek. Tehát az átlagos vízszint-süllyedés mértéke 1,5 m volt közel száz év alatt. A tetőző vízállások esetében azonban nem csökkenés, hanem emelkedés figyelhető meg, 2000-2009 között az időszak legmagasabb vízállása 931 cm volt. Ez azt jelenti, hogy míg a vízállások magassága folyamatosan csökken, az árvizeké nő.

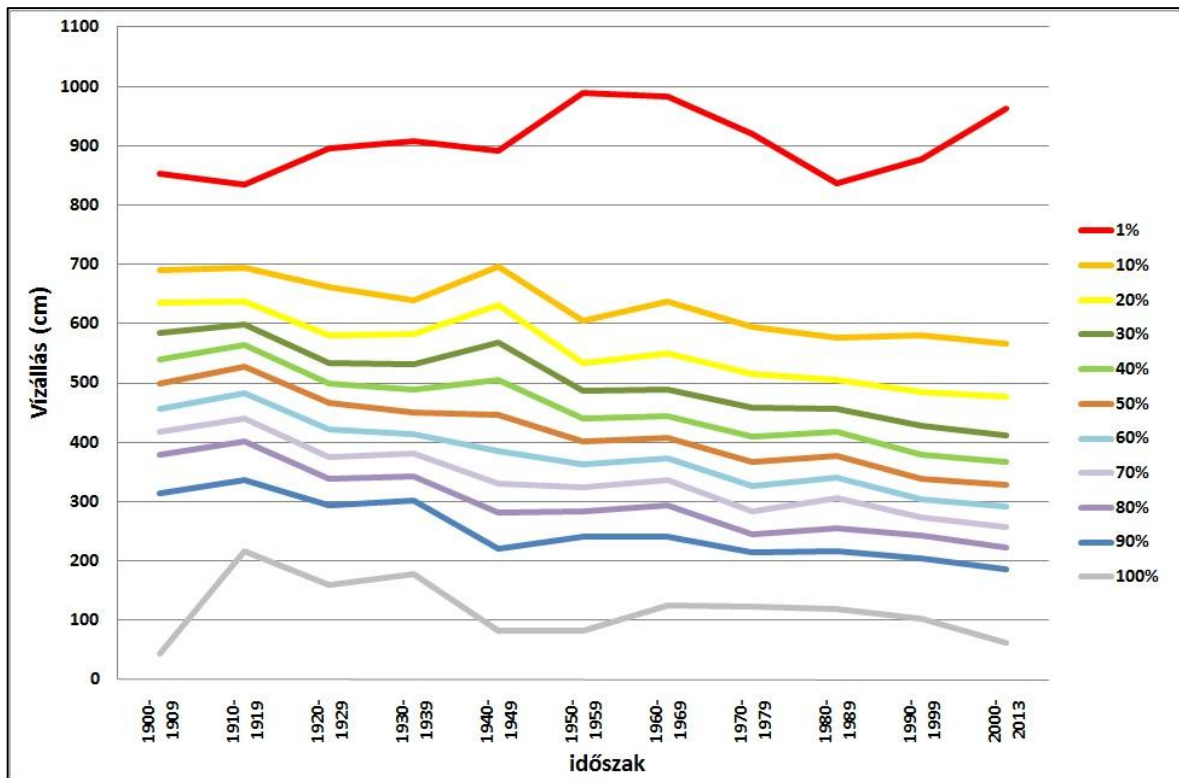
⁴ http://owwww.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/de/Navig/307.htm



7. ábra. A vízállások tartósságának változása a mohácsi vízmércénél 1900-2009 között

A különböző gyakoriságú vízállásokhoz tartozó vízszintek alakulása is bizonyítja, hogy a vizsgált időszakban a kisvízi magasságok csökkennek, a tetőző vízállások magassága pedig nő (8. ábra). Kisvizesnek tekintem azt az időszakot, amikor a vízállások a kiinduló időpontban 90%-os gyakorisággal fordultak elő. A 90%-os gyakoriságú vízállások magassága a kezdő időszakban enyhén nőtt, majd fokozatosan csökkenésnek indult, az 1940-es években kicsit intenzívebben. Az 1950-es években újból megemelkedett, majd azóta lassan, de fokozatosan csökken. Míg az 1900-1909-es években a 90%-os gyakoriságú vízállások magassága 315 cm volt, addig az utolsó vizsgált évtizedben magasságuk lecsökkent 200 cm alá, és a trendnek megfelelően a későbbiekben is fokozatos csökkenés várható.

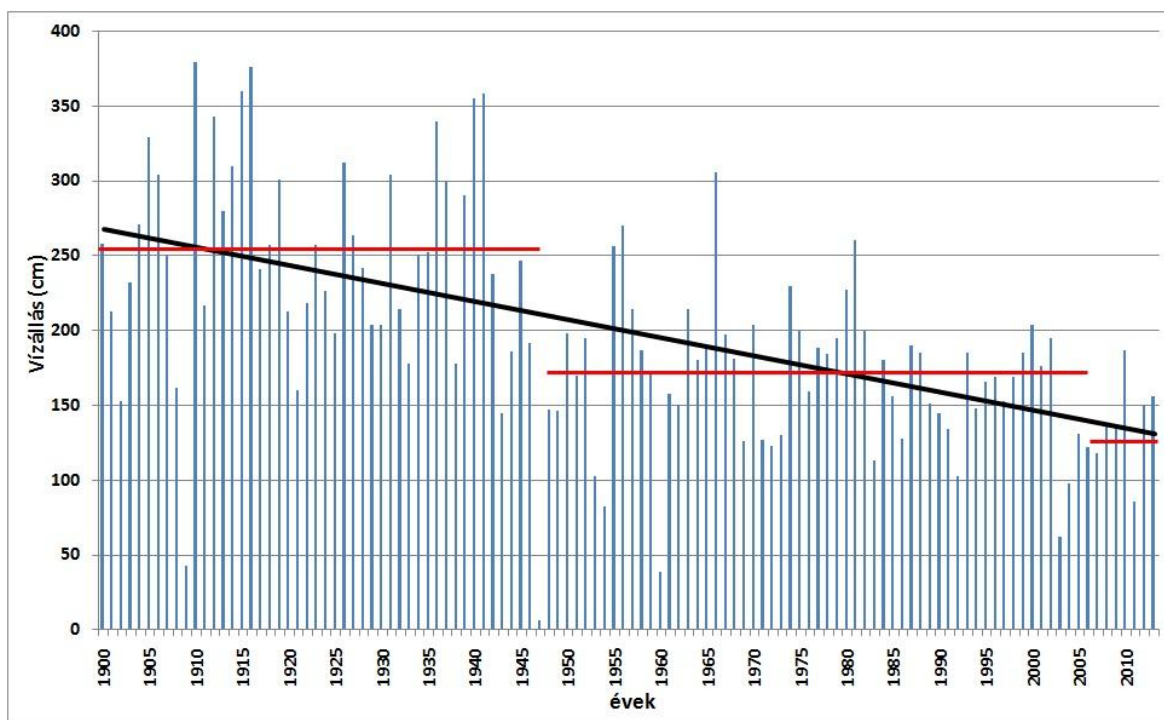
Azonban a tetőző vízállások kivételével az összes, 10-90 %-os gyakoriságú vízállások magassága csökkenő tendenciát mutat. A tetőző vízállások az 1950-es évekig emelkedtek, majd az ezt követő évtizedben enyhén, majd azután hirtelen csökkenésnek indultak. Az utóbbi két évtizedben (1990-2013) pedig erőteljes emelkedés tapasztalható. A legmagasabb vízállások mindig 800 és 1000 cm között mozogtak. Az 1950-es évekig magasságuk alig haladta meg a 900 cm-t, de sosem csökkentek 800 cm alá. Míg a vizsgált időintervallum második felében a tetőző vízállások többsége meghaladta a 900 cm-t (ez alól kivétel az 1980-as évek) de sosem emelkedett 1000 cm fölé. A vizsgált időszak legmagasabb vízállása 990 cm volt.



8. ábra. A különböző gyakoriságú vízállásokhoz tartozó vízszintek változása a mohácsi mércénél 1900-2013 között

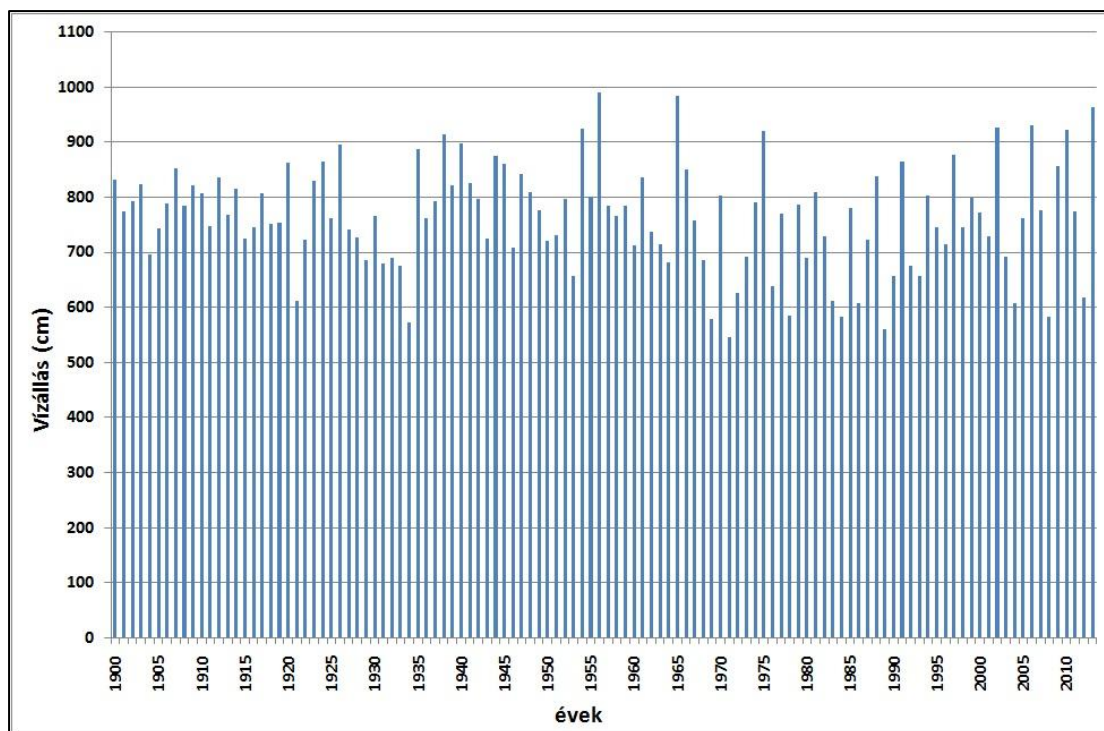
Az évi legkisebb és legmagasabb vízállások változását is részletesen elemeztem. Az évi legkisebb vízszintek intenzív csökkenést mutatnak (9. ábra). Az 1900-tól az 1945-ig tartó időszakban a legkisebb vízállások magassága az esetek döntő többségében meghaladta a 200 cm-t, átlagos magasságuk 254 cm volt. Azonban voltak olyan évek is, amikor a KV szintje még a 350 cm-t is meghaladta. Ebben az időszakban egy olyan év volt (1907: 43 cm), amikor 50 cm alá csökkent a vízállás magassága

Az 1946 és 2013 közötti időszakban pedig a legkisebb vízállások többsége már 200 cm-nél alacsonyabb volt, így 1946 és 2002 között az átlagos KV 170 cm-re süllyedt. 2003-tól 2013-ig pedig 125 cm-re. Ekkor már csak néhány magasabb vízállású kisvízes év volt, például 1966-ban, amikor az éves legkisebb vízállás 306 cm volt. Tehát ezek az értékek is jól mutatják a kisvízállások magasságának folyamatos süllyedését, valamint a szélsőséges vízjárás kialakulását.



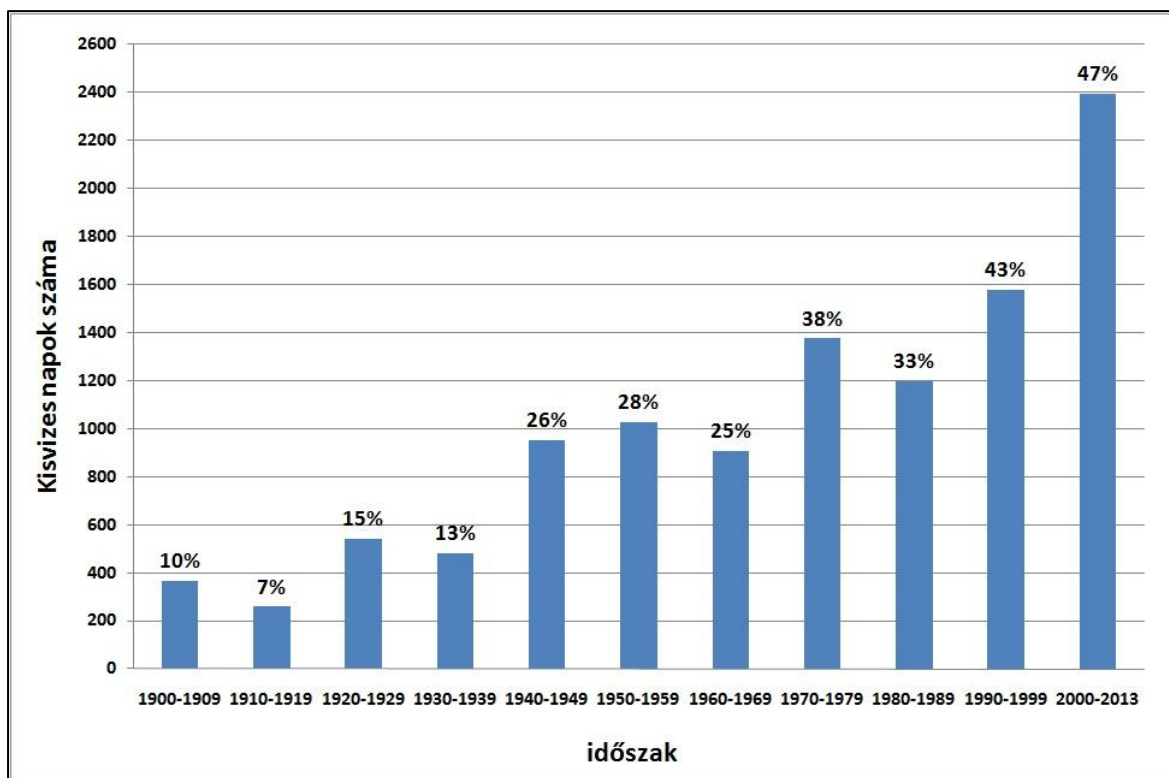
9. ábra. Az éves legkisebb vízállások alakulása a mohácsi mércénél 1900-2013 között

Az éves legnagyobb vízállások nem a tetőző vízállások nem növekednek egyértelműen, sőt, lassan csökkennek, egyre nagyobb szórással (**10. ábra**). 1900 és 1945 között a legmagasabb vízállások szórása 75 cm, 1946 és 1980 között 101 cm, valamint 1981 és 2013 között pedig már 111 cm volt. Ha csak a 2000-es éveket nézzük, akkor a szórás értéke már 126 cm. Ezek az értékek jól mutatják az árvízi magasságok szélsőségesebbé válását. Az 1900 és 1946 közötti időszakban a legmagasabb vízállások többé-kevésbé egységes képet mutatnak, kisebb nagyobb kilengésekkel. Ekkor a vízállások többsége 700 és 850 cm között volt, és csupán egy alkalommal haladta meg a 900 cm-t, 1938-ban. A XX. század második felében azonban már előfordult egy-egy rekordmagasságú árvíz is, amelyek magassága nyolc évben már meghaladta a 900 cm-t, két évben pedig az 1000 cm-t is majdnem elérte (1954, 1956, 1965, 1975, 2002, 2006, 2010 és 2013). Tehát ez nem csak azt jelenti, hogy a tetőző vízállások magassága folyamatosan emelkedik, hanem azt, hogy a rekord magasságú árvizek gyakorisága is nő.



10. ábra. Az éves tetőző vízállások változás a mohácsi mércénél 1900-2013 között

Ezek után a kisvizes és a nagyvizes napok számának alakulását vizsgáltam meg. Kisvizes napoknak tekintettem azokat, amikor a vízállás a kiinduló időszak 90%-os gyakorisággal előforduló vízszintje alá süllyedt (315cm). Majd a soron következő évtizedekben megszámoltam, hogy hányszor fordultak elő a 315 cm-es és annál kisebb vízállások. Jól látható, hogy erőteljesen növekedett a kisvizes napok aránya az évtizedeken belül (**11. ábra**). Míg 1900-1909 között az időszak 10%-ában (367 nap) volt jellemző kisvizes vízállás, addig 2000 és 2009 között illetve 2000 és 2013 között már az időszak 48%, illetve 47%-ában. Tehát a kisvizek hossza körülbelül ötszörösére nőtt. Főleg az 1970-es évektől történt jelentős változás a kisvizes napok számában, hiszen azóta nem csökkent 1000/10év nap alá. A trend azt mutatja, hogy tízévente átlagosan körülbelül kétszáz nappal fokozatosan nő a kisvizes időszak hossza, ami évente átlagosan 3 hetet jelent.

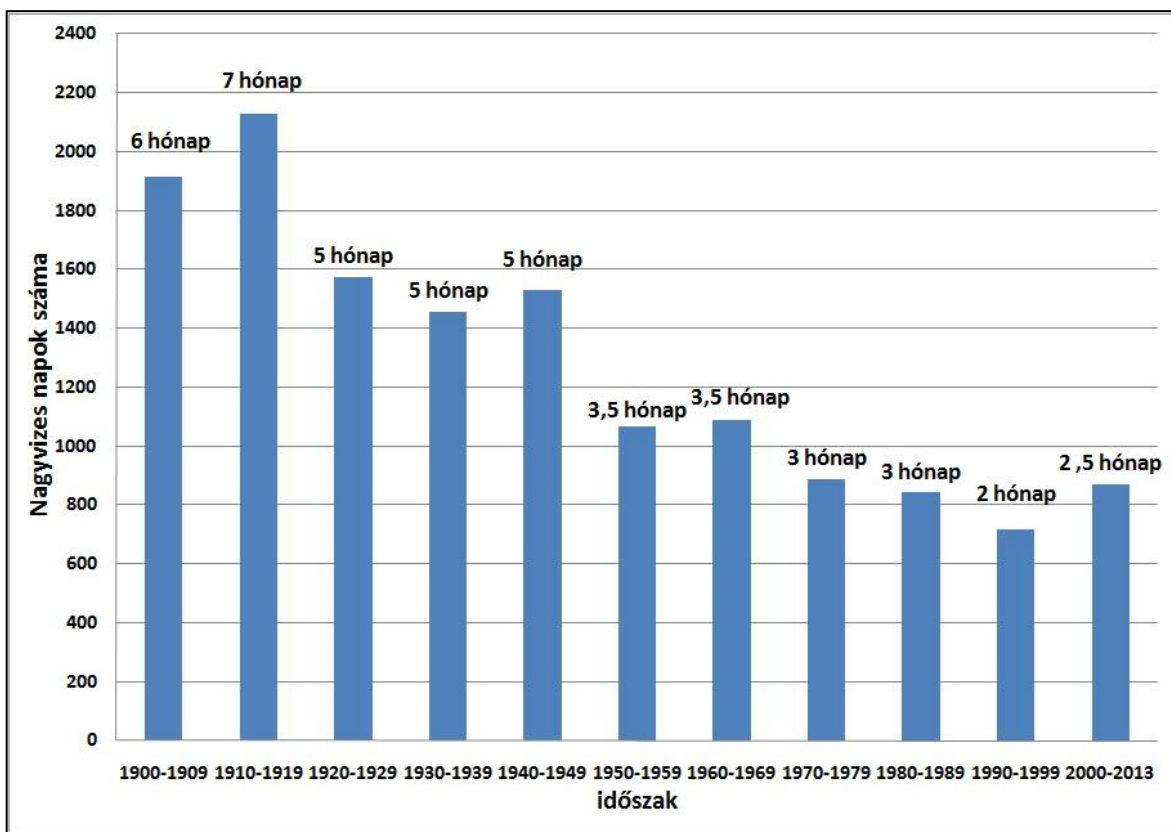


11. ábra. A kisvízes napok számának változása a mohácsi mércénél 1900-2013 között

A VITUKI (2007a) tanulmánya szerint a kisvízszintek fokozatos csökkenése több, a XIX. századtól jelentkező beavatkozásnak az eredménye. A meder bevágódását eredményezték az 1800-as évek végén történő kanyarulat-átvágások, majd a folyószabályozás keretében jelentkező mederszűkítés, valamint az 1970-es években a folyószakaszon is meginduló ipari célú mederkotrás volt. Ezt követően hatottak még a Dunán lévő duzzasztók is, amelyek a hordalékcsapdázás révén befolyással lehetnek az alsóbb szakaszokon a meder mélyülésére, ezáltal a kisvizek magasságának csökkenésére is.

A nagyvízes időszakok elemzésekor nagyvízesnek tekintetem azt az időszakot, amikor a vízállás az 50%-os mederteltséget meghaladta. A nagyvízes napok számának változása a kisvízes napokkal ellentétben erősen csökken **(12. ábra)**. Az első (1900-1909) és a második (1910-1919) időszakban összesen közel kétezer napon át tartottak a nagyvizek, ami átlagosan 6-7 hónapot jelent évente.

Az utolsó vizsgált időszakban (2000-2013) azonban ennek már csak körülbelül negyede (674 nap) volt nagyvízes, ami átlagosan körülbelül 2 hónapos időszakot jelent évente. Tehát míg a kisvízes időszakok aránya nő, addig a nagyvízes napok száma csökken, bár a nagyvízi vízállások egyre szélsőséesebben és egyre nagyobb szórással jellemezhetők.



12. ábra. A nagyvizes napok számának változása a mohácsi mércénél 1900-2013 között.
(Az oszlopok felírásai azt mutatják, hogy évente átlagosan hány hónapig tartott a nagyvizes időszak)

A következőkben az **árvizek** **levonulásának** **jellegetességeiben** bekövetkezett változásokat mutatom be (**13. ábra**). Ehhez a vizsgált, 1900 és 2013 közötti időszakból kiválasztottam öt jelentősebb árvizes évet, amikor jelentősebb vízállás-változások fordultak elő. Ezek az évek és azok legmagasabb vízállásai a következők voltak: 1926: 895 cm, 1938: 915 cm, 1956: 990 cm, 1965: 984 cm és 2006: 931 cm.

Az **1926-os** évben egy viszonylag hosszan elnyúló, júniusi-augusztusi árvíz volt jellemző. Az árhullámot a nyár eleji csapadékos időszak idézhette elő. Június elején a vízállás hirtelen, meredek emelkedést (10 cm/nap) mutatott egészen július közepéig, amikor elérte a vízállás a legnagyobb magasságát (895 cm). Majd augusztus elején megindult az apadás, amit egy kisebb árhullám szakított meg, végül augusztus közepén visszahúzódott az árvíz a mederbe.

Az **1938.** évi jeges árvíz januárban jelentkezett, és a jeges árvizekre jellemzően hirtelen alakult ki és hirtelen vissza is húzódott. Az árhullám elindulása után 16 nap alatt összesen 515 cm-t emelkedett a vízállás, azaz átlagosan 31 cm/nap volt az áradás üteme. Majd 915 cm-en tetőzött az árhullám, és a vízállás a következő napban hasonló

intenzitással, mint ahogy emelkedett hirtelen apadni kezdett. A januári gyorsan levonuló áradás oka az volt, hogy egy hétig álló jég alakult ki, ami a felső szakaszból érkező vizet felduzzasztotta⁵.

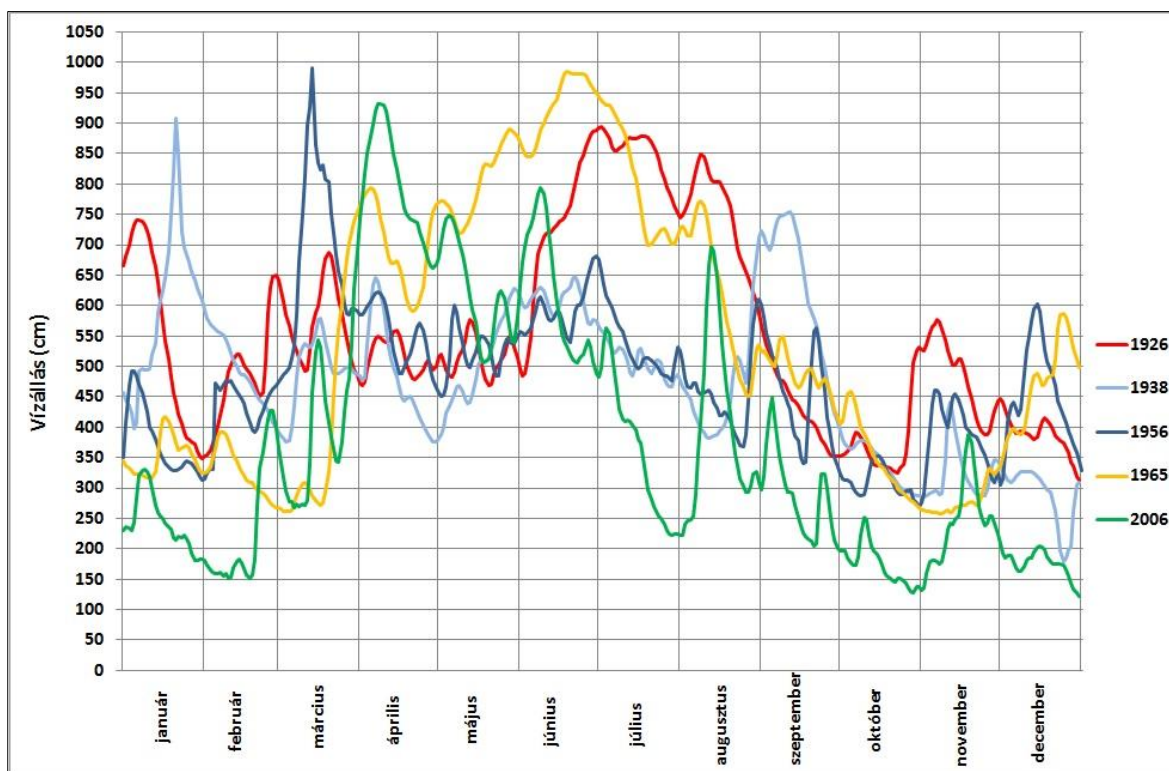
Az **1956**-os híres márciusi jeges árvíz esetén az előzőhöz hasonlóan szintén a felsőbb szakaszon a korábban meginduló olvadékvíz okozott áradást, ám a kritikus helyzet az alsóbb szakaszok befagyása miatt alakult ki. A jégdugók miatt a vízszint hirtelen emelkedett, tíz nap alatt átlagosan 50 cm/nap sebességgel. Ezt követően az áradás hirtelen, egy-két napon belül apadásnak indult és két hét alatt vissza is húzódott teljesen a mederbe.

Az **1965.** évi nagy árvíz az egyik leghosszabban elnyúló áradás volt, hiszen március közepétől egészen június közepéig több magas árhullám is levonult. Ezt a hegyvidéki területeken a hóolvadás korai megindulása, illetve az ezzel párhuzamosan nagy mennyiségű lehullott csapadék okozta (Kiss 1966). A vízállás március közepén gyorsan emelkedett (átlagosan 27,5 cm/nap sebességgel), és április elején tetőzött 800 cm-en. Majd megindult az apadás, de április végétől egy újabb árhullám alakult ki és kisebb apadásos időszakok után június közepén tetőzött 984 cm-en.

A **2006**-os árvíz szintén a nagy mennyiségű február végi és március eleji csapadék miatt alakult ki, ami hó formájában raktározódott. Mivel a hóolvadással párhuzamosan tovább folytatódtak az esőzések, együttesen nagymértékben megemelték a folyó vízhozamát (Tóth 2007). Az árhullám nagyon gyorsan emelkedett (37 cm/nap), két hét alatt összesen 588 cm-t. Április elején érte el maximális magasságát (931 cm). A tetőzés után több kisebb árhullám is levonult a folyón, majd a vízállások csökkenni kezdtek.

A téli jeges, valamint a nyár eleji csapadék okozta áradások vízállásgörbéi között szemmel látható különbségek vannak (**12. ábra**). A jeges árvizek hirtelen emelkednek és a jég levonulása után hirtelen apadásnak is indulnak. Ezzel ellentétben az eső okozta áradások időben hosszán elnyúlnak, több árhullám is levonul egyszerre, és ezek tetőzése is elnyúlik. A vízállásgörbék azt is jól mutatják, hogy az árvizek ellenére az éves kisvizek magassága egyre csökken, és így a tetőző vízállások és az éves legkisebb vízállások közötti különbség növekszik. Tehát például 1926-ban az éves vízjáték 583 cm volt, míg 2006-ban már 809 cm.

⁵ www.hydroinfo.hu

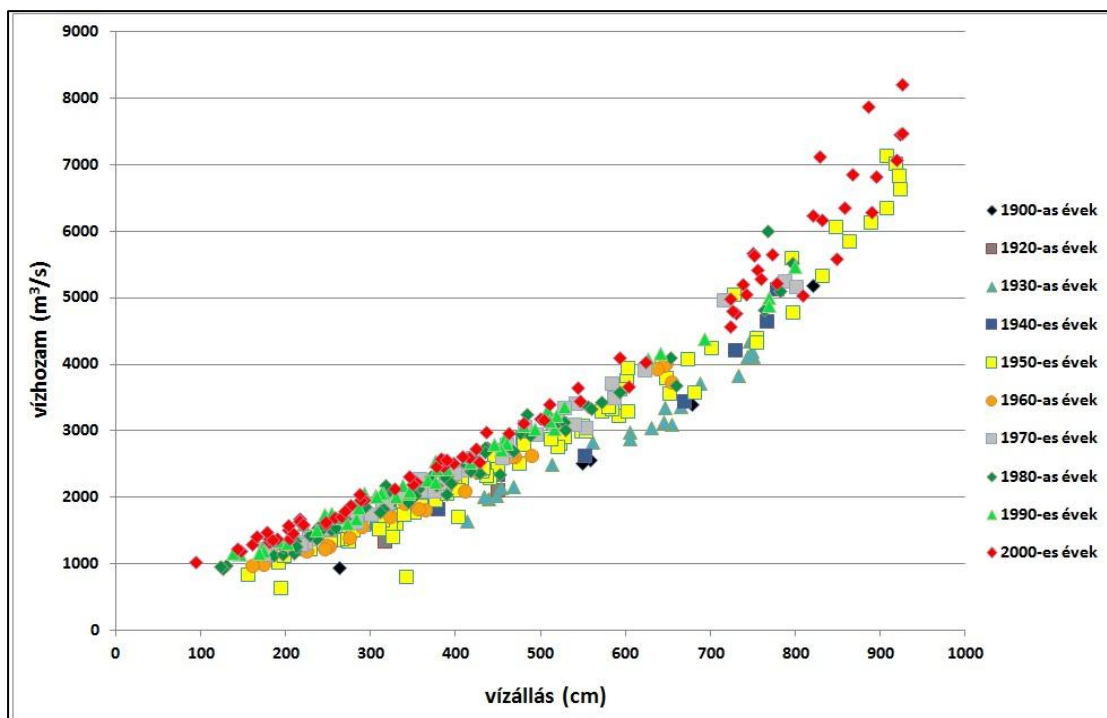


13. ábra. Az árvízes évek napi vízállásainak változása

5.1.2 A vízállás-vízhozam kapcsolatának elemzése

A vízhozam adatok esetleges változásának elemzése azért fontos, mert így képet kaphatunk arról, hogy az adott vízállásokhoz tartozó vízhozamok hogyan változtak, illetve ezek milyen következménnyel járnak a folyómeder fejlődésére. Ugyanis a kisvizek süllyedését okozhatja a meder bevágódása, vagy a lefolyó víz mennyiségének csökkenése is. Az adott vízálláshoz tartozó vízhozam növekedése a meder egyértelmű bevágódására utal. A következőkben elemzem, hogy a vízállás-vízhozam kapcsolat hogyan alakult az 1900 és 2013 közötti időszakban. A vízhozam adatokat az Alsó- Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság nyújtotta, és csak a ténylegesen mért napi adatokat használtam fel.

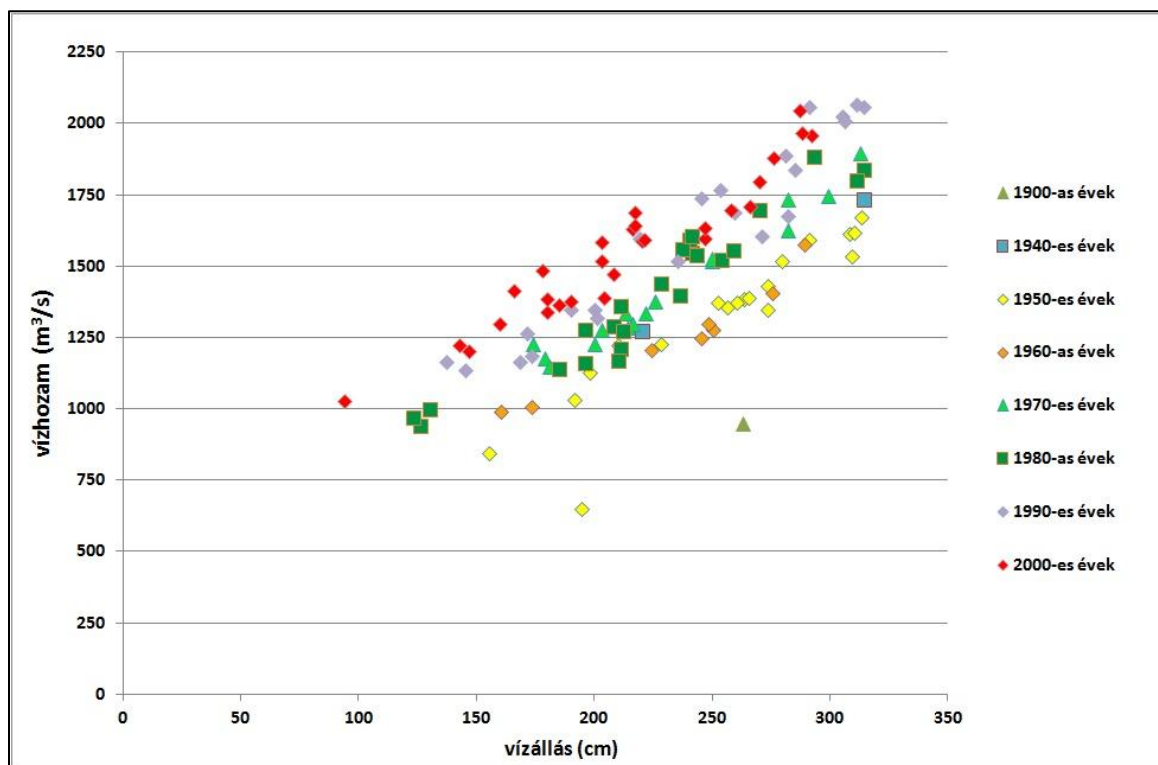
A vízállások és vízhozamok kapcsolatát bemutató pontfelhők fokozatos eltolódása jól látszik, azaz az egyes vízállásokhoz tartozó vízhozamok jelentős növekedést mutatnak **(14. ábra)**, ami a meder egyértelmű bevágódására utal. Külön-külön megvizsgáltam a kis- és a nagyvízállásokhoz kapcsolódó vízhozam adatok változását is. Ha a kisvízállások vízhozama nő, akkor az a meder bevágódására utal, ami a kisvízállások magasságának csökkenésének okát is megadja. Az ugyanazon nagyvízi vízállásokhoz tartozó vízhozam növekedése ezzel szemben az árvízi meder vízvezető képességének javulására utal. Azonban ha a tetőző vízállások magassága emelkedik, miközben a vízhozamok állandóak vagy csökkennek, akkor az az árvízi meder szűkülését jelzi (Vágás 2004).



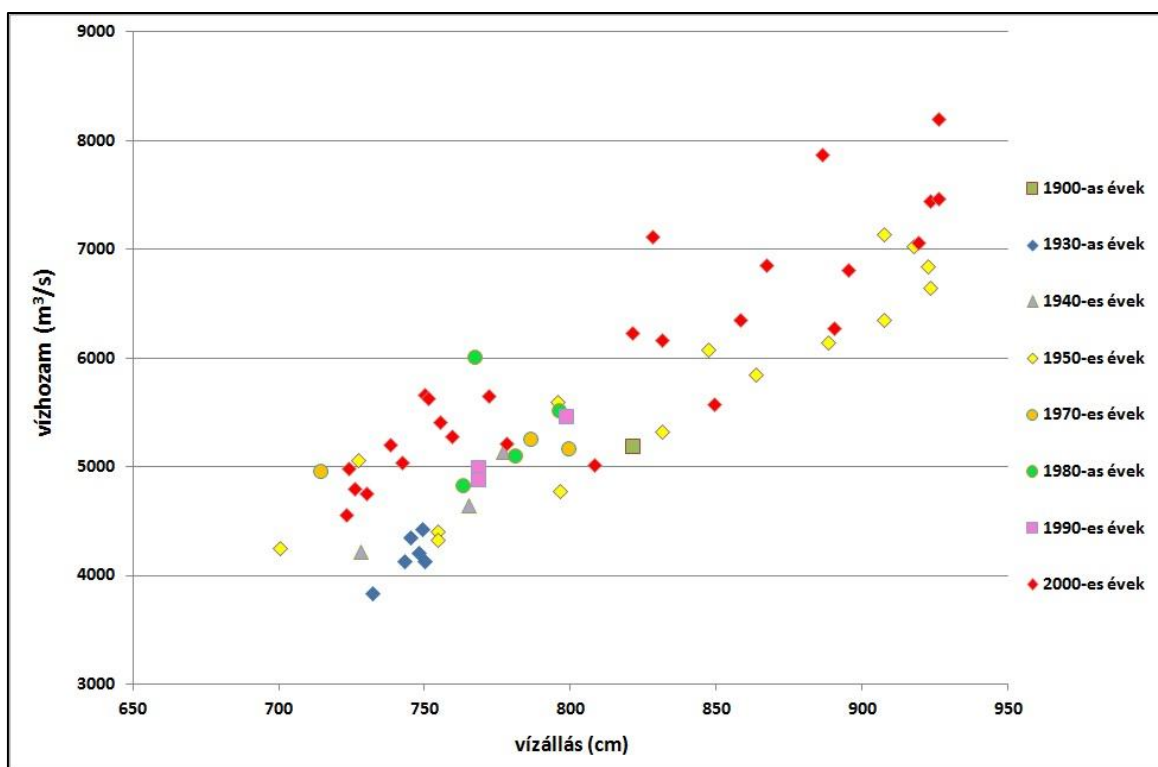
14. ábra. A vízállás-vízhozam kapcsolatának alakulása a mohácsi szelvényben 1900-2013 között.

Kisvízszintnek a korábbi vizsgálatok során használt 90%-os gyakorisággal előforduló vízállásokat, azaz 315 cm és az alatti vízszinteket tekintettem. Az ehhez a vízálláshoz tartozó vízhozamok az egyes időszakokban fokozatos emelkednek (**15. ábra**). Például az 1900-as években a körülbelül 250-300 cm közötti vízálláshoz tartozó vízhozam 900-950 m³/s volt. Ez az érték az 1950-es években körülbelül 1400 m³/s, a 2000-es években pedig 1700 m³/s volt. Ez a növekvő tendencia általánosan tapasztalható az összes kisvízállásnál. Ez a változás egyértelműen bizonyítja a meder bevágódását, hiszen a vizsgált 110 évben a folyó majdnem kétszer annyi vizet szállít ugyanazon vízállás mellett.

A nagyvízállások esetében (**16. ábra**) a 700 cm és a feletti vízállások vízhozammal való kapcsolatát ábrázolom. Sajnos nem minden évtizedes időszakban sikerült ábrázolni a vízállás-vízhozam kapcsolatot, mivel az árvizek előfordulása nem volt egyenletes és egyes időszakokban több adat van, mint a többiben. Megfigyelhető, hogy a kisvízállásokkal ellentétben itt a vízállás és vízhozam kapcsolatát illetően nincs jelentősebb csökkenés vagy emelkedés. A tetőző vízmagasságok azonban mégis növekvő tendenciát mutatnak. A vízhozam állandó nagysága mellett vízállás-növekedés okaként a nagyvízi meder folyamatos szűkülése jelenhet meg, mint magyarázat.



15. ábra. A kiszívzállásokhoz tartozó vízhozamok változása a mohácsi szelvényben a mohácsi szelvényben 1900-2013 között.



16. ábra. A nagyvízállásokhoz tartozó vízhozamok alakulása a mohácsi szelvényben 1900-2013 között.

5.1.3. Hidrológiai változások értékelése a vízhasznosítás szempontjából

A vízállások magasságának, gyakoriságának, tartósságának, és a vízállás-vízhozam kapcsolat változásának ismerete elsődleges fontosságú a hajózás biztosítása, illetve a különböző vízhasznosítási tevékenységek (pl. ipari hűtővízellátás, öntözés) szempontjából.

A Dunán a kisvízállások folyamatos csökkenése miatt a hajózás gyakran akadályokba ütközik, így a meder folyamatos szabályozást igényel, különösen az alsó Duna-szakasz gázlóinál. Ezek a helyek kisvizes időszakok idején különösen veszélyesek, hiszen a vízállások változása szoros kapcsolatban van a gázlók kialakulásával és fejlődésével, és a túlságosan alacsony vízszintek a hajózás teljes leállításához is vezethetnek. Az előírt hajózási vízmélység a Dunaföldvár – déli országhatár között szakaszon 250 cm (VITUKI 2007a), amely átlagosan az év 70%-ban biztosítja a hajózást.

A vízállás-vízhozam kapcsolatának elemzése során megállapított mederbeágódás tulajdonképpen segíti a hajózást, amihez hozzájárul a meder folyamatos szabályozása és kotrása. Azonban a hajózási kisvízszinteket (LKHV) a mederbeágódás miatt folyamatosan egyre alacsonyabb vízszintnél állapítják meg (**2. táblázat**). Az LKHV szintje az 1970 és 2004 közötti időszak közel 30 éve alatt 90 cm-t süllyedt.

	DB '70	DB '90	DB 2004
LKHV szintje	+211 cm	+144 cm	+121 cm

2. táblázat. Az LKHV szintjének változása a mohácsi mércénél az 1970 és 2004 közötti időszakban.

A Duna vízének hasznosításával kapcsolatban érdemes megemlíteni a hajózást és az alföldi aszályos területek öntözhetőségét célzó Duna-Tisza csatornát, amelynek ötlete már Mária Terézia idején megszületett. A csatorna a Dunát kötné össze a Tiszával, amely a Soroksári Duna-ág – Csongrád vonalon szelné át a Duna-Tisza közét. A csatornán a kétirányú hajózást tervezik, a szintkülönbségek okozta problémákat zsilipekkel oldva meg, hiszen még a Duna-menti területek tengerszintfeletti magassága 90 m körüli, addig a Kiskunság területe 120 m, a Tisza-menti területek pedig 80 m körüli magasságban fekszenek (Balogh és Vass 2010). A csatornába történő vízvezetést főleg a Duna vízből oldanák meg, mivel a Duna esetében a vízállások 100-150 cm-re vannak magasabban, mint a Tisza medrében (Kákonyi 2011).

Egy másik elképzelés szerint a talajvízkészlet pótlása és a talajvíz-süllyedés mérséklése, valamint az öntözés és energiatermelés szempontjából a legmegfelelőbb egy magas vezetőségű, észak-déli irányú Hátsági-csatorna lenne, amelybe a Duna-Tisza csatorna

keleti pontjából egyetlen szivattyútelep és egy csővezeték segítségével lehetne juttatni a vizet (Kákonyi 2011).

Azonban mindkét csatorna megvalósíthatóságát megkérdőjelezi az utóbbi évtizedekben erőteljesen lecsökkenő vízszint, amihez a vízkivételnek folyamatosan igazodnia kellene. Ráadásul az, hogy a Duna vízből történő vízkivétel milyen további hatással lenne a vízjárásra és a mederre, még nem tárták fel (Kákonyi 2011). Véleményem szerint a csatorna üzemeltetése folyamatosan nehézségekbe ütközne, hiszen a Duna medrének bevágódása miatt egyre több energiát igényelne a vízpótlás.

A magyar Duna-szakaszon jelentős felszíni vízkivétel Paksnál történik, amellyel az atomerőmű hűtővízellátását elégítik ki. Aktuális téma napjainkban a Paksi Atomerőmű tervezett kibővítése, amely sokak által vitatott téma. Kérdésként merül fel, hogy ha a mederben egyre csökkennek a vízállások, akkor hogyan lenne biztonságosan megoldható egy kétszer akkora erőmű hűtővízellátása, noha már így is néha ez problémát jelent a meglévő erőmű számára? Mivel a kisvizek egyre gyakoribbá válnak, a nagyvizek hossza pedig lecsökken, a víz kivétel a meder és a vízminőség módosulását, valamint az ökológiai állapotok megváltozását is eredményezheti (ETV-Erőterv Rt. 2006). Jelenleg az erőmű hűtéséhez szükséges vízkivétel az átlagos vízhozam 5 %-át teszi ki, a kisvízhozamoknak pedig 10-12 %-át (Buda és Rucz 2013). Az erőmű esetében követelmény, hogy a hűtővízszivattyúk a legkisebb vízállás szintje alatt kell, hogy legyenek az állandó ráfolyási magasság biztosítása érdekében (Paksi Atomerőmű Zrt. 2011). A hűtővíz-szivattyúzás magasságát az addig mért legkisebb vízálláshoz viszonyították. Azonban az üzembe helyezését követő első évben a Duna megdöntötte ezt a rekordot, és rendkívüli munkálatokba kellett kezdeni az erőműnél, hogy biztosítani tudják a vízellátást. Tehát a Paksi Atomerőmű üzemeltetése szempontjából kritikus tényező a Duna vízállása (Buda és Rucz 2013), és az általam is bemutatott vízszintcsökkenés, a kisvizek gyakoribbá válása és a meder bevágódása.

A kisvízállások csökkenése mellett problémát okozhat még a hűtővízellátás szempontjából a Duna vizének hőmérséklete is. Az egyre jobban kitolódódó kisvizes időszakban a víz hőmérséklet természetes úton is növekedne, amihez további hőmérséklet-emelkedéssel járul a globális klímaváltozás. A gond az, hogy ha a folyó átlaghőmérséklete emelkedik, és az erőműből visszavezetett víz hőmérséklete viszont nem haladhatja meg a 30°C-ot (Buda és Rucz 2013), akkora a kisvizes időszakban a hőcsóva hosszabb és melegebb lehet, mint ha a nagyvizek hűtenék.

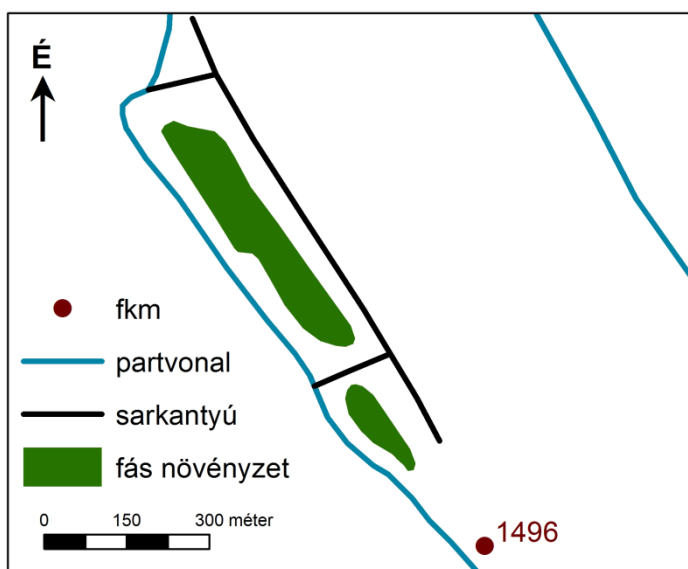
5.2. A zátonyok vizsgálata

Ebben a fejezetben megvizsgálom, hogy a vízszint-süllyedésekkel kapcsolatban 1952 és 2014 között miként változott a mintaterületül választott Sükösd melletti folyószakaszon a partvonal futása és hogyan zajlott a zátonyok fejlődése, hogyan alakult a számuk és méretük. Majd ezt követően típusokba sorolom a zátonyokat, valamint összehasonlítom őket főbb morфомetriai paramétereik alapján.

5.2.1. A zátonyok időbeli változásai

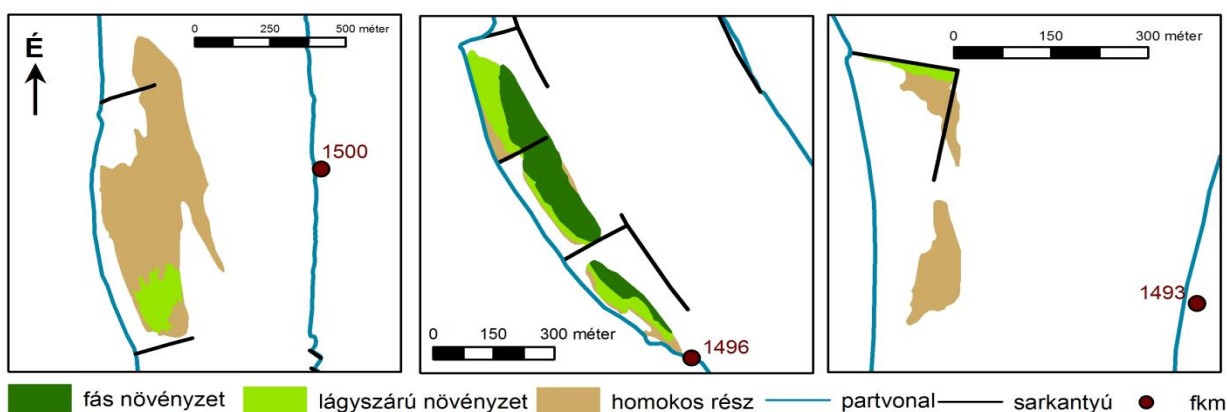
Az első, 1952-es térképen látható, hogy még nem mindkét parton voltak partbiztosítási művek (17. ábra). A vizsgált területen mindössze négy sarkantyú volt a, amelyek mögött csak az 1496 és 1497 fkm-ek között alakult ki két kisméretű zátony (összterületük 0,05 km²). Azonban rajtuk már ekkor is fás növényzet volt jellemző, tehát ezek már több éve meglévő formák lehettek.

Az 1953-as légifotókon már több sarkantyú jelent meg, mint az előző évben, a zátonyok száma pedig ötre emelkedett. Az 1500 fkm-nél egy nagy kiterjedésű zátony keletkezett, amelyen kis foltban lágyszárú növényzet is megjelent. A Sió-torkolattól délre lévő, az 1952-ben is már meglévő zátonyok területe megnőtt (0,08 km²), felszínük nagy részét továbbra is fás növényzet borította.



17. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 1952-ben

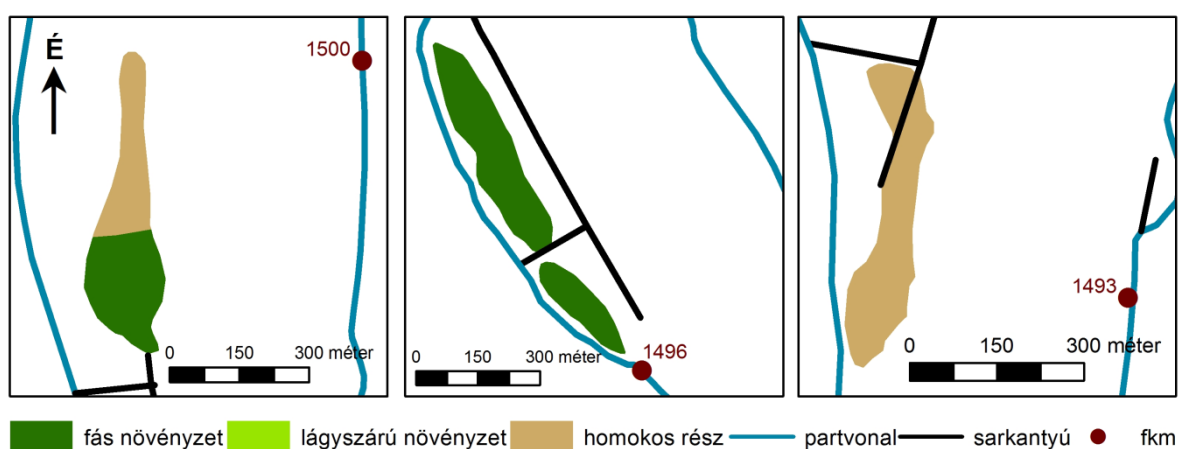
A vizsgált terület déli részén található kanyarulatban (1493 fkm) pedig új homokzátonyok kezdtek kialakulni, amelyeken még nem telepedett meg növényzet (18. ábra).



18. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 1953-ban

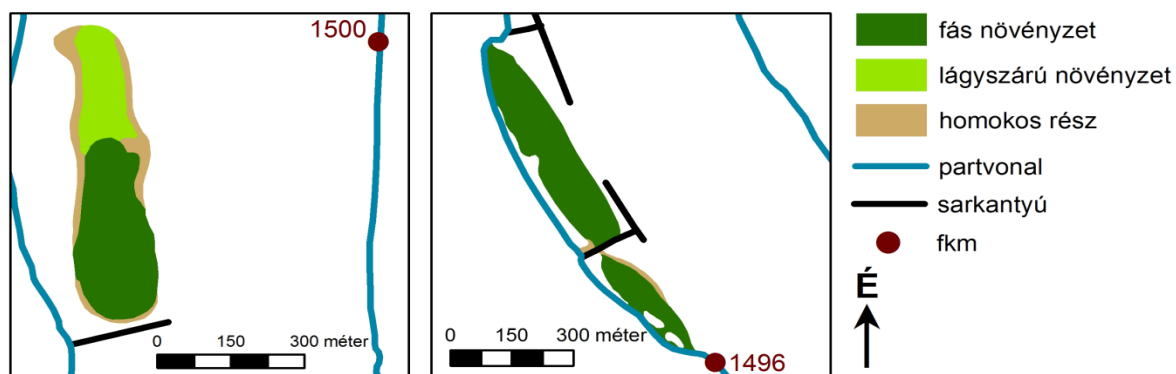
Az 1959-es térképen (19. ábra) a vizsgált a zátonyok száma nem változott. Az előbbi térképen ábrázolt 1493 fkm-nél lévő két zátony összenőtt, de növényzet még nem jelent meg rajtuk. Tőlük körülbelül 150 m-re egy kisebb méretű homokos zátony alakult ki egy holtág torkolatában. Feltételezésem szerint ez egy malágy, amely egy olyan homokból vagy iszapból felépülő üledékdugó (=zátony), ami a holtágat rekeszti el a főfolyótól. Ez a zátony, mint a következő években látható, fokozatosan hozzáforrt a parthoz, és teljesen elzárta a holtágat a folyótól.

Az 1550 fkm-nél található zátony mérete csökkent, a homokos részt nagy valószínűséggel a magasabb vízállások elhordták, a már meglévő lágyszárú növényzet folt ugyanakkor erdővé fejlődött.



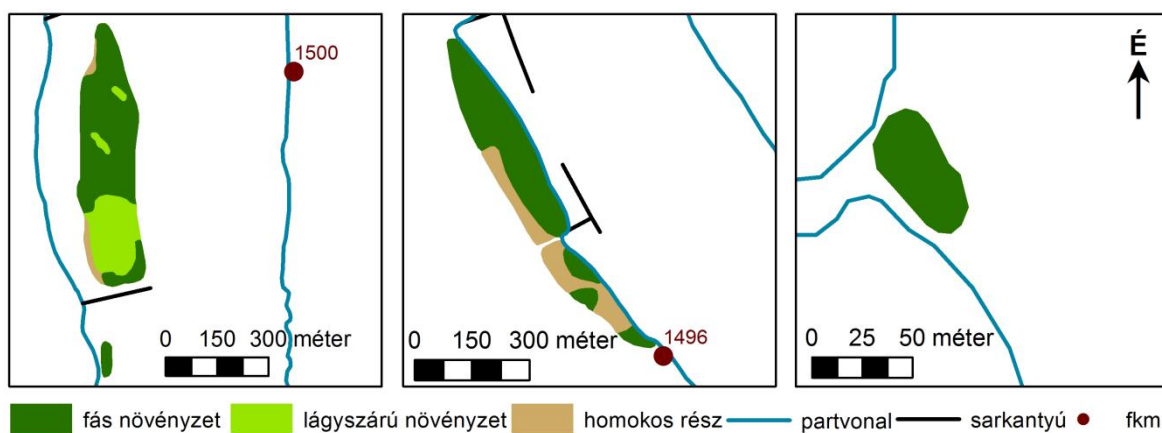
19. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 1959-ben

A zátonyok száma 1970-ben négyre csökkent, az 1493 fkm-nél lévő homokzátonyok eltűntek, csak az a kisméretű marad meg, amely a holtág torkolatában található, és nagy részén fás növényzet jelent meg (20. ábra). Az 1496 és 1497 fkm-ek közötti két zátony elkezdett hozzáőnni a parthoz, felszínüket már 90%-ban fás növényzet borította. Az 1500 fkm-nél lévő zátonyon is növekedésnek indult a vegetáció, és területe 0,03 km²-rel nőtt.



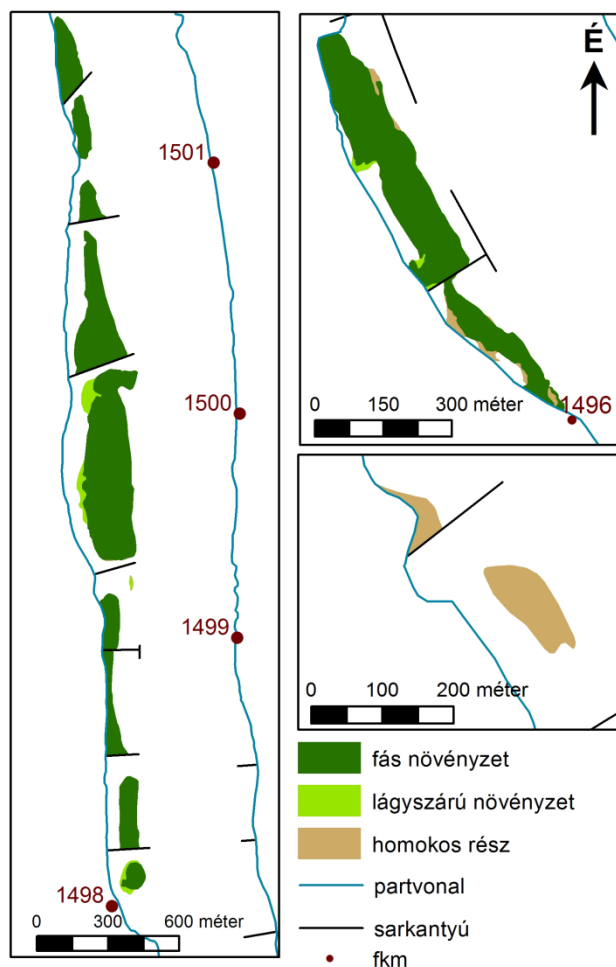
20. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 1970-ben

A zátonyok száma **1990-re** hatra emelkedett (**21. ábra**). A korábban is létező szigetek helyzete nem változott, de két kisebb erdővel borított zátony jelent meg az 1498 és az 1499 fkm-eknél. Az 1496-1497 fkm-ek közötti formák teljesen hozzánőttek a parthoz, bár a közöttük lévő homokzátony nagyobb vízállás esetén még mobilizálódhatott. A déli kanyarulatban nem történt jelentősebb változás, a kisméretű zátonyt teljesen benőtte a fás növényzet.



21. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 1990-ben

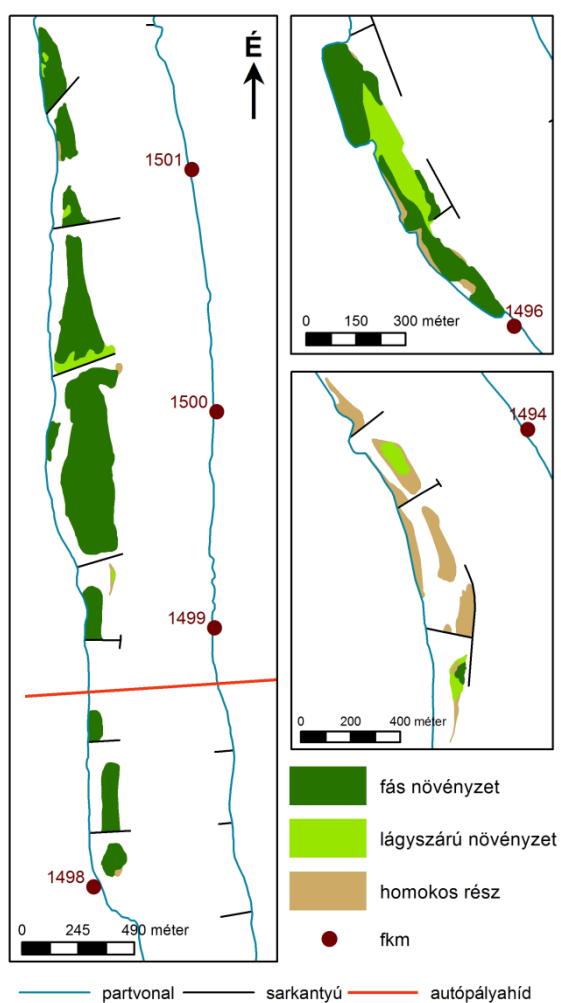
A terület arculata **2000-ig** jelentősen megváltozott (**22. ábra**). Az 1498 és 1502 fkm-ek között minden sarkantyú mögött kialakult egy-egy sziget, amelyeket már teljesen egészében zárt vegetáció borított. A Sió-torkolattól délre lévő zátonyoknál (1497-1497 fkm) a part és a sziget közötti homokzátony elszállítódott, így a szigetek csak részben kapcsolódtak a parthoz. A déli kanyarulatban a holtág torkolata elzáródott és az itt lévő kisméretű sziget hozzánőtt a parthoz. Emellett kialakult három további zátony, amelyek egyikén vegetáció is megjelent.



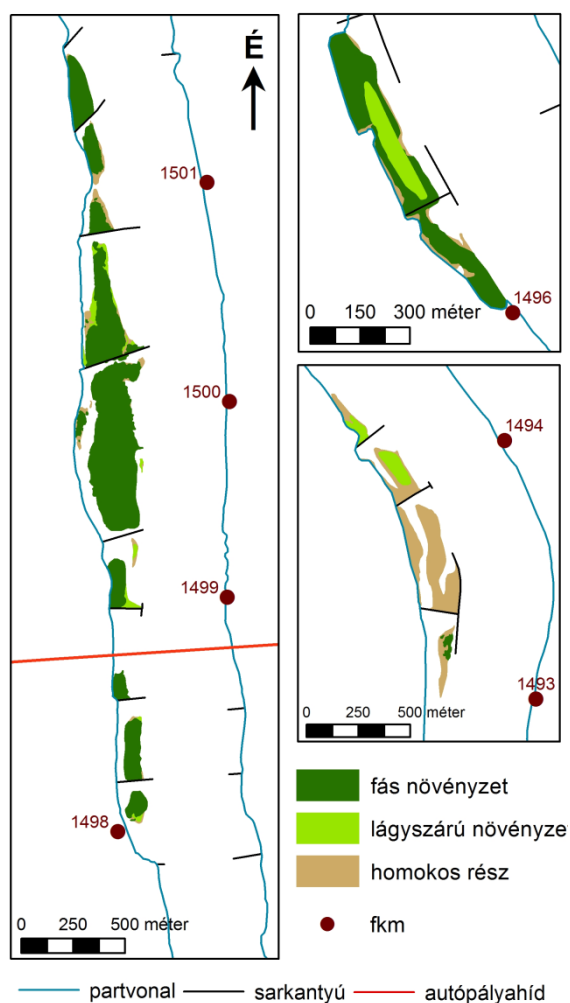
22. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 2000-ben

Hasonló állapotok voltak jellemzőek **2004**-ben, mint az előző vizsgált évben (**23. ábra**). Csupán a vizsgált terület déli részén lévő kanyarulatban több homokzátony alakult ki, számuk nyolcra növekedett. Ezek többsége csupasz felszínű volt, bár kettőn már füves és fás vegetáció is megjelent.

Egy év múlva, **2005**-ben az 1498 fkm-től északra lévő zátonyok esetében nem történt jelentősebb változás, bár a szigetekhez fokozatosan egyre több nagyobb kiterjedésű zátonyok kapcsolódtak, további területet biztosítva ezzel a vegetáció terjedésének (**24. ábra**). A déli kanyarulatban (1493 fkm) a zátonyok területe növekedett, egyesek összekapcsolódtak, és a füves vegetációval borított felszínek is növekedésnek indultak.



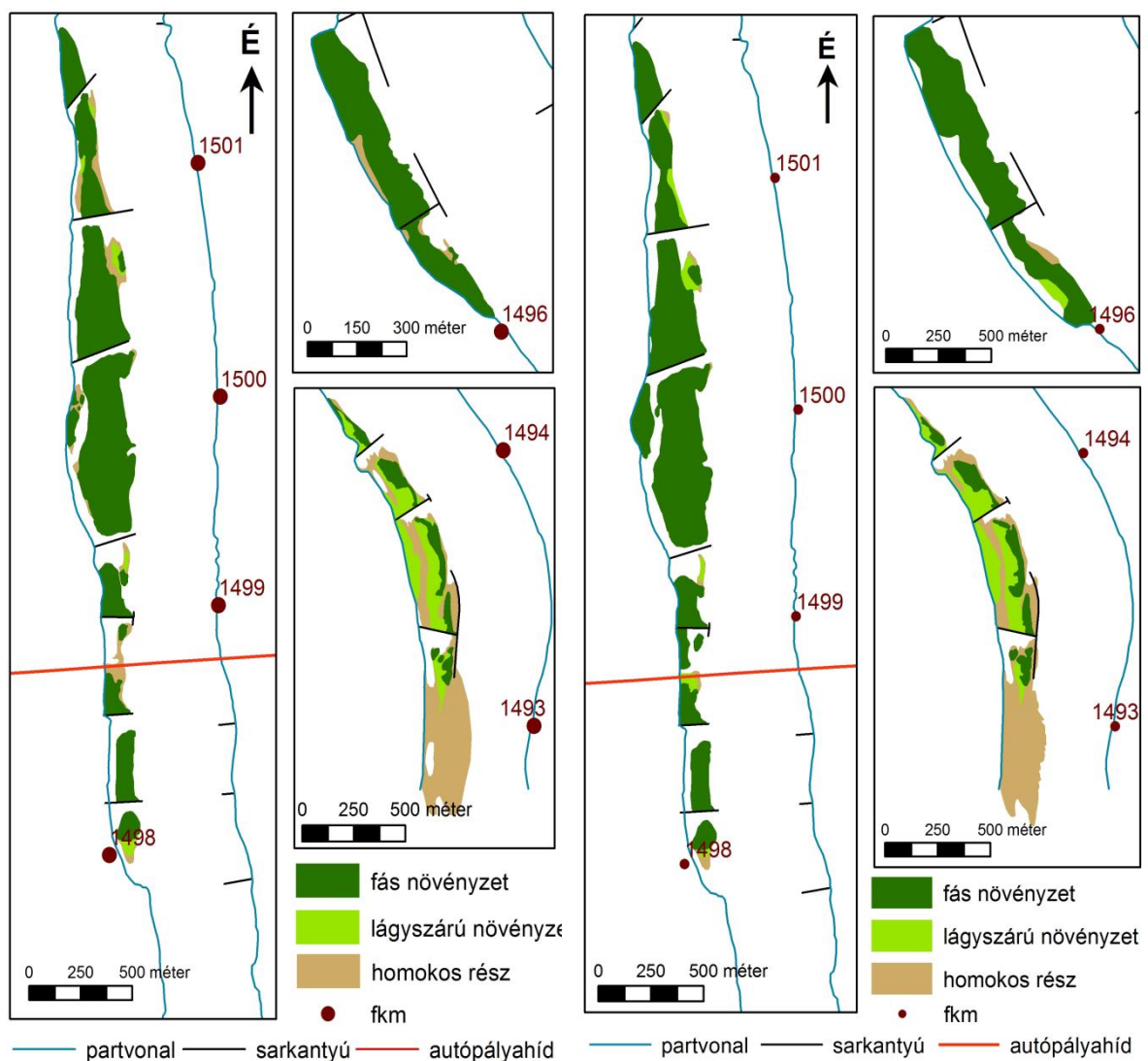
23. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 2004-ben



24. ábra. A mintaterületen lévő zátonyok 2005-ben

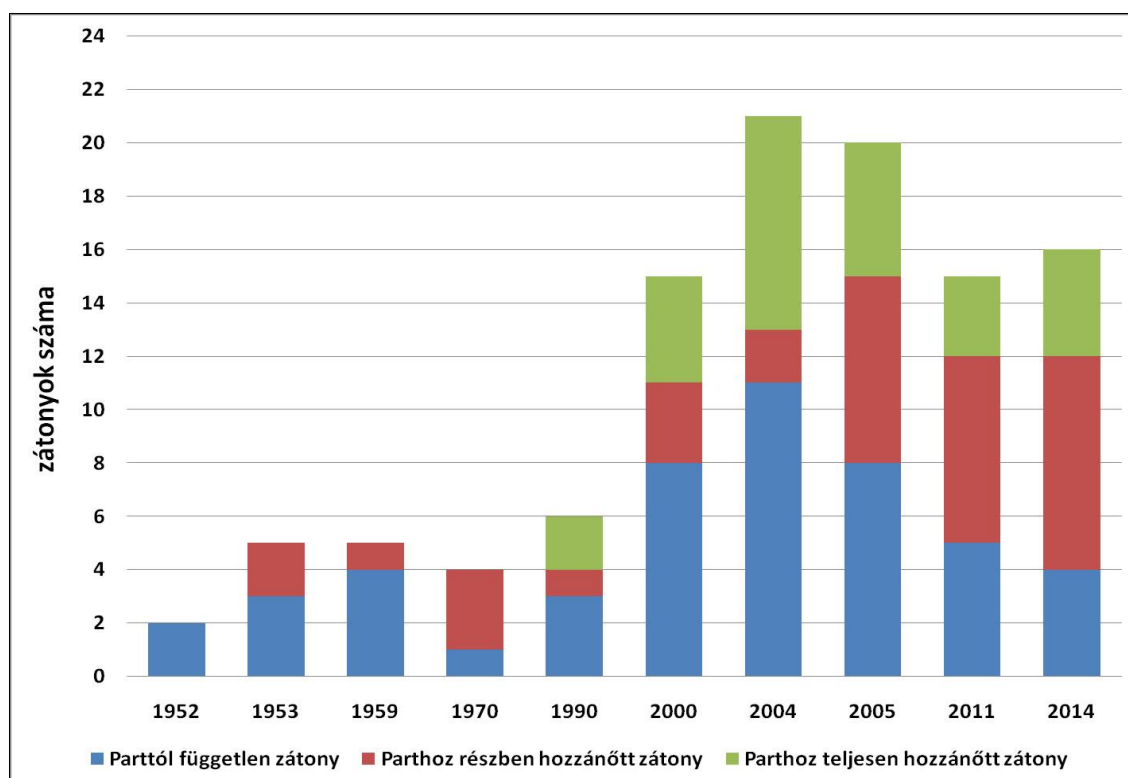
A **2011-es** évben a szigetek területe megnőtt, a vizsgált terület északi és déli részén egyaránt (**25. ábra**). Ennek oka lehet, hogy a vízállás nagyon hosszú ideig alacsony volt, nem volt jelentősebb árhullám, ami elszállíthatta volna a zátonyok anyagát. Ez főleg a terület déli részén található kanyarulatban volt a legjellemzőbb, ahol magas vízállás esetén a zátonyok könnyen változnak. A déli zátonyok területi növekedése volt a legjelentősebb, hiszen területük az előző vizsgált évi $0,13 \text{ km}^2$ -ről $0,29 \text{ km}^2$ -re növekedett.

Az utolsó általam vizsgált évben, **2014-ben** a 2011-eshez hasonló állapotok voltak jellemzőek (**26. ábra**). Annyi volt a különbség, hogy a zátonyok összterülete $0,01 \text{ km}^2$ -rel nőtt, illetve az 1498 fkm-től északra lévő zátonyokon nőtt az erdő kiterjedése.



5.2.2. A zátonyok típusai

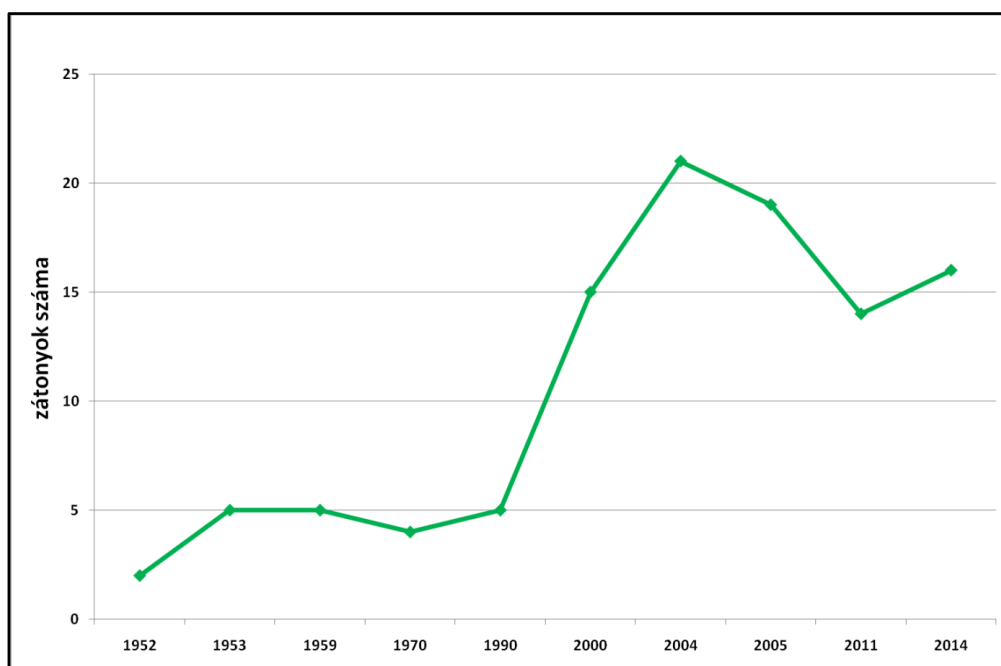
A zátonyok sokféleképpen osztályozhatóak, többek között helyzetük, anyaguk és formájuk alapján (Sipos 2006). A vizsgálati területemen kialakult zátonyok mindegyike antropogén létesítmények, sarkantyúk mögött képződött, így osztályozásukat csupán helyzetük alapján végzem el. Ezen csoporton belül megkülönböztettem olyan zátonyokat, amelyek (1) nincsenek kapcsolatban, (2) részben vannak hozzánőve, valamint (3) teljesen hozzánőttek a parthoz. Ezek a zátonytípusok időben változó módon jelentek a vizsgált években. Az első négy évben (1952, 1953, 1959, 1970) többségében csak olyan zátonyok voltak, amelyek nem álltak kapcsolatban a folyóparttal **(27. ábra)**. Majd a vizsgált folyószakaszon legkorábban megjelent zátonyok (1496 fkm) kezdtek először részben hozzáforni a parthoz. Majd az idő előrehaladtával a parttól távolabbi, attól vízzel elválasztott zátonyok száma csökkenésnek indult, és megkezdődött a parthoz való hozzáforrásuk. Véleményem szerint ennek oka az lehet, hogy az utóbbi két évtizedben (1990-től) növekedett a kisvizes napok száma, így a gyakoribbá váló alacsony vízállások a hordalék lerakódását és stabilizálódását eredményezhették.



27. ábra. Az egyes típusokba tartozó zátonyok számának változása a vizsgált szakaszon

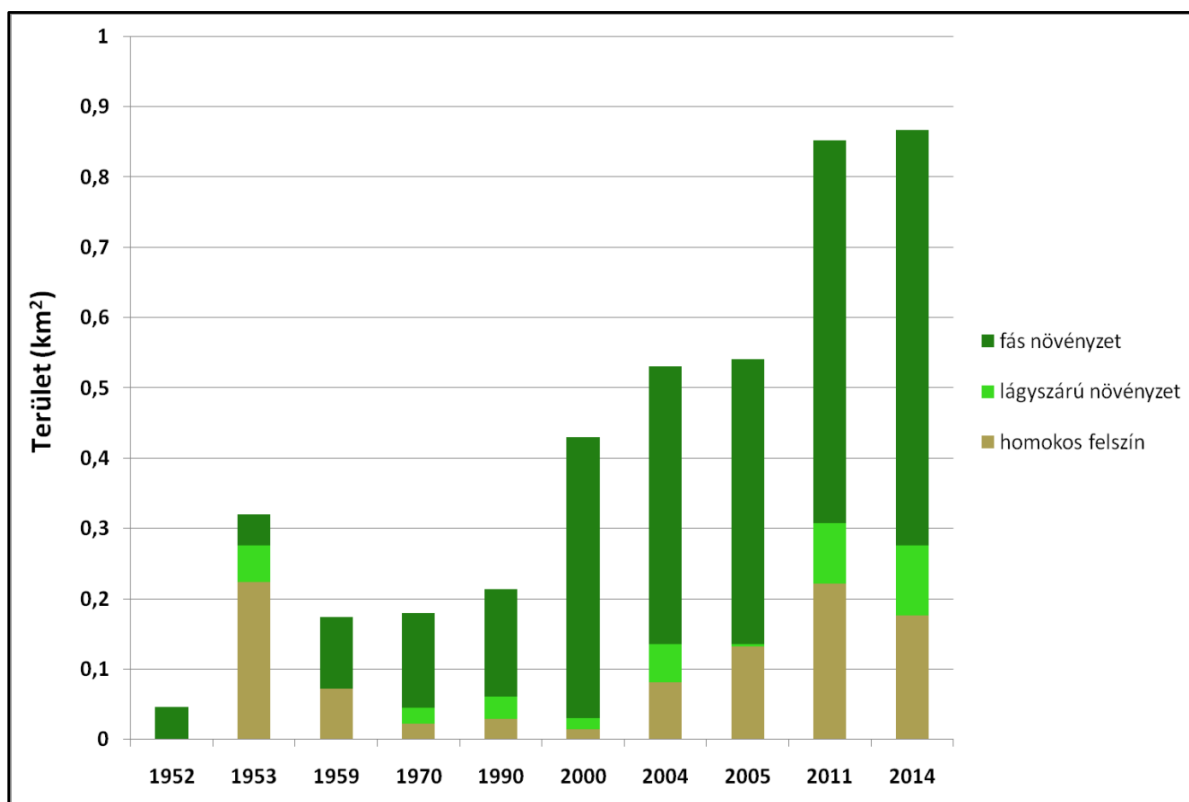
5.2.3. A zátonyok morfometriai paramétereinek összehasonlítása

Elsőként megvizsgáltam a vizsgált területen a zátonyok számának alakulását **(28. ábra)**. Az első négy felvételen (1952, 1953, 1959 és 1990) a területen található zátonyok száma 2 - 5 között változott. Ezt követően a 2000-es évre hirtelen megnőtt ez az érték, közel háromszor annyi (14 db) zátony volt megfigyelhető, mint az előző időszakokban, majd 2004-ig további hattal nőtt a számuk, majd ezután csökkenésnek indult. Ez azonban csak azzal magyarázható, hogy az 1492 és az 1495 fkm közötti zátonyok összeforrtak, így számuk bár csökkent, de területük nem.



28. ábra. A zátonyok számának változása a vizsgált szakaszon az 1952 és 2014 közötti időszakban

Ezzel összefüggésben megvizsgáltam a zátonyok összterületének változását is **(29. ábra)**. Az utolsó két felvételekor (2011 és 2014 között) bár lecsökkent a zátonyok száma, de összterületük ekkor volt a legnagyobb, illetve nagyobb lett a csupasz zátonyfelszínek kiterjedése is. Ennek egyik oka az lehet, hogy a zátonyok összeforrtak, de az is hozzájárulhatott, hogy a felvételekkor alacsony volt a Duna vízállása (2011: 72 cm, 2014: 36 cm), amely lehetővé tette a zátonyok felszínre bukkanását. A növényzettel való borítottság szempontjából jellemző, hogy az erdővel borított területek aránya folyamatosan növekszik, míg a lágyszárú növényzet és a csupasz felszíneké ingadozik. Ez egyértelműen a vízállás-változások oka lehet, hiszen magasabb vízállások és árvizek esetében e területek könnyebben átalakulnak és anyaguk is elszállítható.



29. ábra. A zátonyok összterületének és növényzettel való fedettségének változása a vizsgált szakaszon az 1952 és 2014 közötti időszakban

5.2.4. Részösszegzés

Összességében megállapítható, hogy az 1498 km feletti, tehát a vizsgált terület északi részén található zátonyok térben állandóak, jelentősebb változás rajtuk kialakulásuk óta nem figyelhető meg. A zátonyokon megtelepedett erdő területe lassan, de fokozatosan nőtt. Ezzel ellentétben a vizsgált terület déli részén található kanyarulatban a zátonyok változékonyabbak, mivel az árvizek idején anyaguk könnyen elszállítódott, míg kisvízes időszakokban stabilizálódtak és összeforrtak. Tehát ezek a formák dinamikusabban formálódtak a sodorvonal közelsége miatt.

Az 1990 és 2000 közötti időszakban a zátonyok száma a többszörösére emelkedett (négyről tizennégyre), amelynek háttérében a kisvízes napok számának növekedése és a vízállások alászállása állhat. A 21. század első évtizedében a zátonyok száma, mérete és a felszínüket borító fás vegetáció területe is növekedett. Véleményem szerint ez a tendencia a jövőben is tovább fokozódhat.

6. Összegzés

Dolgozatomban a Duna vízjárásában, a vízállás-vízhozam kapcsolatában és a mederalakulásban bekövetkezett változásokat elemeztem a mohácsi vízmérce adatai alapján az 1900 - 2013 közötti időszakban, illetve a Sükösd és Dusnok közötti Duna-szakaszon vizsgáltam a zátonyfejlődés dinamikáját 1952 és 2014 között. Eredményeim alapján bizonyítható a kisvízállások folyamatos csökkenése, a kisvízes időszak hosszának kitolódása, az árvizek magasságának emelkedése, és a nagyvízes időszak hosszának csökkenése. A vízállás-vízhozam kapcsolat arra utal, hogy a mederben is morfológiai változások zajlanak.

Az általam vizsgált 113 éves ciklusban a kisvízszintek átlagos magassága 136 cm-t csökkent, amely átlagosan évi 1,2 cm-es süllyedést jelent. Gyakoriságukat és tartósságukat vizsgálva is bizonyítható magasságuk folyamatos csökkenése. Míg 1900 és 1909 között az időszak 90%-ában a vízállások meghaladták a 315 cm-es vízállást, addig 2000 és 2013 között már csak a 179 cm-t. A nagyvízállásokat elemezve pedig azt tapasztaltam, hogy a 1900 és 1909 között az időszak 10%-ában a vízállások meghaladták a 690 cm-t, míg 2000-2013 között pedig már csak az 565 cm-t. A tetőző vízállások változásában nem ez a csökkenő, hanem növekvő tendencia figyelhető meg, hiszen az előbbi időszakokban mért legmagasabb vízállás 852 cm volt, míg 2000 után 931 cm.

Megfigyelhető, hogy a kisvízállásokhoz tartozó vízhozamok növekednek, ami a meder folyamatos bevágódásához vezet. Az általam vizsgált időszakban az 1900-as évek első évtizedében a kisvíznek számító 250-300 cm közötti vízálláshoz tartozó vízhozam 900-950 m³/s volt. Ez az érték az 1950-es években körülbelül 1400 m³/s, a 2000-es években pedig 1700 m³/s volt. Ugyanakkor a nagyvizekhez tartozó vízhozamok alakulásában nem figyelhető meg ez a növekvő változás.

Kutatásom eredményeit összevetettem más kutatók eredményeivel is, illetve összehasonlítottam más hazai folyókon végzett kutatások eredményeivel. A kisvizek folyamatos csökkenése nem egyedi, csak a Dunára jellemző jelenség. Más hazai folyókon végzett kutatások is kimutatták a vízállások csökkenését. Például a Maroson az utóbbi 20-30 évben közel 50 cm-rel (Sipos 2006), a Dráván Őrtilosnál átlagosan 118 cm-rel (Kiss és Andrási 2011), míg a Hernádon 50 év alatt mintegy 60 cm-rel csökkent a kisvizek szintje (Blanka 2010). Ezek az eredmények pedig közel azonos csökkenést mutatnak, mint az általam kimutatott 1,2 cm/év mértékű süllyedés. Hasonló folyamat nem csak a Kárpát-medencében jellemző, hiszen például a kínai Jingjiang folyó vízállása nagymértékben megváltozott a folyón végrehajtott nagymérvű átvágások, és a megépített duzzasztók miatt.

Ezek következtében egyes helyeken az 1960-as évektől kezdődően közel 4 métert csökkent a kisvizek magassága (Qu Geng et al. 2012).

A zátonyfejlődés vizsgálata kapcsán megállapítható, hogy:

2000-ig az előző évtizedekhez képest közel négyszeresére nőtt a zátonyok száma a vizsgált Duna-szakaszon. Ennek oka az a változás lehet, amely főleg az 1990-es évek folyamán indult el. Ugyanis ebben az évtizedben a kisvizes napok az időszak közel felében (43%-ban) fordultak elő, míg az 1980-as években ez az érték még csak 33% volt. Ez azt eredményezte, hogy a hordalék-felhalmozódás nagyobb ütemben megindulhatott a sarkantyúk mögött és lehetőség nyílt a fás növényzet megtelepedésére is, amely stabilizálta a zátonyok anyagát. A 2000-es években tovább emelkedett a kisvizes napok aránya (48%), amely elősegítette a zátonyok számának és területének a további növekedését.

Véleményem szerint a zátonyfejlődés visszahatással is van a vízállásokra, illetve a meder fejlődésére is. A zátonyok jelenléte miatt leszűkült a meder, és emiatt a víz kisebb mederkeresztmetszeten tud csak átfolyni, amely egyrészt hatással van az árvizek magasságára, valamint a meder fokozottabb bevágódását is eredményezheti. A vizsgált területen a meder szélessége a zátonyok jelenléte miatt 70-330 m-rel csökkent, ami jelentős szűkülés, ha figyelembe vesszük, hogy 2014-ben a vízfelszín szélessége 580 m volt. Tehát a meder szélessége egyes helyeken a felére csökkent. A legnagyobb mértékű csökkenés (45 %) az 1500 fkm környékén volt jellemző.

Ezek a változások hatással vannak a hajózásra, hiszen a meder mélyülésének és a kisvízállások süllyedés következtében a legkisebb hajózási vízszinteket csökkenteni kell, ugyanakkor a bevágódás miatt a gázlók mélyülhetnek. Másrészt a kimutatott változások hatással vannak a vízhasznosítást célzó egyéb tevékenységekre is, hiszen nehezebbé válik a vízkiemelés, ami korlátozza az öntözés és ipari hűtővízellátás lehetőségeit.

Felhasznált irodalom:

17/2002. (III. 7.) KÖVIM RENDELET: A hajózásra alkalmas, illetőleg hajózásra alkalmassá tehető természetes és mesterséges felszíni vizek vízi úttá nyilvánításáról 2.§

ETV-ERŐTERV RT. ENERGETIKAI TERVEZŐ ÉS VÁLLALKOZÓ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG (2006): A Paksi Atomerőmű üzemidő-hosszabbítása - Környezeti hatástanulmány

BALOGH I. – VASS Ö. 2010: Duna-Tisza csatorna, Budapest. 5-28

BEZDÁN M. 2011: A vízjárás változása a Tisza Dél-alföldi szakaszán. In: Rakonczai J.(szerk.) Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföldi Alapítvány Kötetei 7., Békéscsaba, 199-210.

BLANKA V. 2010: Kanyarulatfejlődés dinamikájának vizsgálata természeti és antropogén hatások tükrében. Phd értekezés, 50-60

BOGÁRDI J. 1971: Vízfolyások hordalékszállítása. Akadémia Kiadó, 36-437.

BUDA G. – RUCZ E. 2013: A paksi atomerőmű és a Dunából kiemelt hűtővíz kapcsolatának kérdései, Tudományos Diákköri Dolgozat, 15-20

BULLA B. – MENDÖL T. 1945: A Kárpát-medence földrajza. Lucidus kiadó, Budapest. 135-178.

CHOLNOKY J. 1929: Magyarország földrajza. Franklin Társulat kiadása, Pomáz, 170-187

CZIGÁNY SZ.- PIRKHOFER E.- BALASSA B.- BUGYA T.- BÖTKÖS T.- GYENIZSE P.- NAGYVÁRADY L.- LÓCZY D.- GERESDI I. 2010: Villámárvíz, mint természeti veszélyforrás a Dél-Dunántúlon. Földrajzi Közlemények 134/3. 281-298.

DÉRI J. 1988: A magyarországi Duna- és Tisza-szakaszok nagyvizeinek változási tendenciái. Hidrológiai Közöny 68/5. 255-261

DOMBRÁDI E. 2004: A vízhozam- és vízállás-idősorok analízise a folyómeder állapotváltozásainak kimutatására. Hidrológiai közöny 84/4. 57-60.

ERDŐSI F. 1974: Mohács földrajza. Mohács Városi Tanács V.B. Művelődésügyi Osztálya, Mohács 15-92.

FALUDI G.- SZÁDECZKY A. 2002: Az 1956. évi jeges árvíz a Duna magyarországi déli szakaszán. Hidrológiai közöny 87/5. 293-304.

FRISNYÁK S. 1988: Magyarország földrajza. Tankönyvkiadó, Budapest 78-87.

IHRIG D. 1973: A magyar vízszabályozás története, Az Országos Vízügyi Hivatal kiadványa, Budapest

IVICSICS L. – SZEKERES J. 1996: A bösi vízlépcső hatása a magyar Felső-Duna vízjárására és hordalékviszonyaira. Földrajzi értesítő 45/3-4. 235-252.

- KÁKONYI Á. 2000: Duna-Tisza-csatorna vagy hátsági csatorna? In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföldi Alapítvány Kötetei 7., Békéscsaba, 223-231.
- KERTAI E. 1968: Vízfolyások III. Tankönyvkiadó, Budapest
- KISS GY. 1966: Az 1965. évi árvíz az Alsódunavölgyi Vízügyi Igazgatóság területén. Hidrológiai Tájékoztató 6/1. 43-49.
- KISS T.- ANDRÁSI G. 2011: A horvátországi duzzasztógátak hatása a Dráva vízjárására és a fenékhordalék szemcseösszetételének alakulására. Hidrológiai Közlöny 91/5. 17-23.
- KISS T. – SIPOS GY. – FIALA K. 2011: Az Alföld töltések közé szorított folyói. In: Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföldi Alapítvány Kötetei 7., Békéscsaba, 211-222.
- KONECSNY K. 2010: A kisvizek főbb hidrológiai statisztikai jellemzői a Berettyó folyón. Hidrológiai Közlöny 90/4. 31-41.
- KONECSNY K. 2010: A kisvizek főbb hidrológiai statisztikai jellemzői a Maros folyó alsó szakaszán. Hidrológiai Közlöny 90/1. 45-55
- KVASSAY J. 1902: A szabályozások hatása a folyók vízjárására. Vízügyi Közlemények 15. 7-27.
- LACZAY I. 1967: Az 1965. évi árvíz tetőző vízszintjei a felső-dunai hullámtérben. Az árvíz hatása a mederalakulására. Vízügyi közlemények 49/1. 119-127.
- LOVÁSZ GY. 2007: A jelenkori tektonika hatása a Duna mederesésére hazánkban. Földrajzi Értesítő 56/1-2. 69-75.
- Mezősi G. 2011: Magyarország természetföldrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest. 54-64.
- MOLNÁR K. 1996: Magyarország 110 éves (1881-1990) hőmérséklet- és csapadéktrendjének területi eloszlása. Földrajzi Értesítő 45/1-2. 23-33.
- MÓRING A.- LAKATOS M.- NAGY A.- NÉMETH Á. 2010: A 2010. május-júniusi időjárás rendkívüliségei éghajlati szempontból. „Klíma – 21” Füzetek 61. 3-14.
- MOSONYI E. 2007: A hazai vízgazdálkodás távlati feladatai. Mérnök Újság 2007/3. 26-30.
- PÁLFAI I. 2011 : Szélsőséges vízháztartású évek az Alföldön 1931-2010 között. „Klíma-21” Füzetek 65. 29-32.
- PÁLFAI I. 2013: Vízháztartási szélsőségek a Kárpát-medencében. Hidrológiai Közlöny 93/2. 9-12.
- PAKSI ATOMERŐMŰ ZRT. 2011: Célzott biztonsági felülvizsgálati jelentés 54-58.
- PÉCSI M. 1959: A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalaktana. Akadémia Kiadó, Budapest 8-18.

QU GENG - XU HUI - GUO XIAO HU - ZHU YONG HUI 2012: The Change and Effect Factors of Water Level in Jingjiang River, Procedia Engineering, 2012 International Conference on Modern Hydraulic Engineering, Volume 28, Pages 165-170.

RAKONCZAI J. 2011: Az Alföld tájváltozásai és a klímaváltozás. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföldi Alapítvány Kötetek 7., Békéscsaba, 137-148.

RÁKÓCZI L. 2000: A Duna-meder sorsa Szap és Szob között. Vízügyi Közlemények 82/2. 262-284.

SIPOS GY. 2006: A meder dinamikájának vizsgálata a Maros magyarországi szakaszán. Doktori értekezés, 21-54.

SOMLYÓDI L. 2002: A hazai vízgazdálkodás és stratégiai pillérei. In: Glatz F. 2002: A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései, Magyar Tudományos Akadémia 23-74.

SOMOGYI S. 2001: Természeti és társadalmi hatások a Duna mai vízrendszerében. Földrajzi Értesítő 50/1-4. 299-309.

SOMOGYI S. – MAROSI S. 1990: Magyarország kistájainak katasztere II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, 48-65.

SZESZTAY K. 2000: Az Alföld vízháztartása. In: Pálfi I. (szerk.): A víz szerepe és jelentősége az Alföldön. A Nagyalföld Alapítvány Kötetek 6.

TÓTH F. 2007: Árvíz 2006-ban. Közlekedéstudományi szemle, 57/1 35-37

VÁGÁS I. 2004: Hozzászólás Dombrádi Endre: "A vízhozamok vízállás-függésének időbeli változása a hazai folyókon" c. tanulmányához. Hidrológiai Közlöny, 84/4. 60 p.

VITUKI ÉS GAZDASÁGI ÉS KÖZLEKEDÉSI MINISZTERIUM 2007A: A Duna hajózhatóságának javítása tárgyú projektet megalapozó tanulmány. 29-97.

VITUKI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI KUTATÓINTÉZET 2007B: Előzetes Megvalósíthatósági Tanulmány: A Duna szigetek közötti szakaszának rehabilitációja. 7-72.

Internetes források:

http://met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag (letöltve: 2013. október 13.)

http://owww.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/de/Navig/307.htm (letöltve: 2014. március 22.)

<http://www.hydroinfo.hu/archivum.html>

<http://www.euvki.hu/> (letöltve: 2013. október 28.)

<http://nepszava.hu/cikk/1015462-lmp-a-duna-duzzasztasaval-jarhat-paks-bovítése> (letöltve: 2014. április 25.)

Térképi források:

1:10000 topográfiai térkép, FÖMI, 1970

1:10000 topográfiai térkép, FÖMI, 1990

Google Earth

Légifelvétel, 2005, Fömi

Magyar Országos Levéltár, Helytartótanácsi térképek, S12_D19_No_0010, Situations Plan der Donau in der Gegend von Tolnau und Báta, sammt den schon ausgeführten, und noch auszuführenden Durchschnitten, A Duna Bátya (Pest m.) és Baja (Bács m.) közötti szakaszának szabályozási térképe. 1822, Zichy, Ferenc kir. biztos

Térképészeti légifelvétel, 1953, HM HIM Hadtörténeti Térképtár

„újfelmérés” (1:25 000 ma. térkép, 1953-59) HM-HIM Hadtörténeti Térképtár

1. Függelék

Kutatási részfeladatok és módszerek

1. Bevezetés

Témavezetőm kérdései: Milyen földrajzi/környezeti probléma vezetett a kutatáshoz? Miért ezt a területet választotta? Hogyan változott a Duna vízállása és a zátonyfejlődés?

Módszer: Aktuális problémák kutatása az interneten, korábbi tanulmányok, illetve szakmai folyóiratok áttekintése.

2.-3. Irodalmi előzmények és a vizsgálati mintaterület

Témavezetőm kérdései: A vizsgált folyamat általános ismertetése. Mi okozza, befolyásolja a folyamat kialakulását? Hazai és külföldi kutatók hogyan dolgozták fel ugyanezt a problémát más területeken. Mi volt a mérések menete? Milyen követni való módszereket alkalmaztak? Melyek voltak a módszer előnyei? A mintaterület részletes bemutatása.

Mi a vizsgált folyamat következménye? Vizsgálati területem a mohácsi, illetve a Sükösd és Dusnok közötti Duna-szakasz.

Módszer: 46 darab magyar nyelvű szakirodalom, szakmai folyóiratok és tanulmányok áttekintése.

4.-5. Eredmények és módszerek

Témavezetőm kérdései:

1. Hogyan változott a Duna vízállása az 1900 és 2013 közötti vizsgált időszakban?

Módszer: A hydroinfo.hu weboldalról letöltött mohácsi vízmérce adatainak statisztikai elemzése 1900 és 2013 között: vízállás tartósság, meghaladási valószínűség-görbe, kisvizes és nagyvizes napok számának meghatározása.

2. Hogyan változott a vízállása és vízhozam kapcsolata a vizsgált időszakban?

Módszer: Napi vízállás adatok és mért vízhozam adatok alapján végzett statisztikai elemzések.

3. Hogyan változtak a vizsgált Sükösd és Dusnok közötti szakaszon a zátonyok száma, területe és növényzettel való borítottsága, illetve milyen kapcsolat van a vízállások változása és a zátonyok képződése között?

Módszer: Térképek (4 db) és légifotók (6 db) felhasználása, ArcMap-ben való georeferálása és digitalizálása, valamint az adatok Microsoft Excelben való kiértékelése.

6. Összefoglalás

A kutatásomat röviden értékeltem, illetve a kapott eredményeimet összehasonlítottam más kutatások eredményeivel is.

Lezárás dátuma: 2015. január 7.