

A szigetközi Duna-szakasz partiszűrést
biztosító mederanyagának aktuálgeo-
lógiai értékelése

MOLNÁR PÉTER

Tanulmányom fő célja a szigetközi Duna-szakasz jelenleg is képződő folyóvízi üledékeinek áttekintése, e képződmények minősítése a talajvízáramlás és a partiszűrés folyamatának szempontjából. A sokféle és meglehetősen változékony folyóvízi üledékek és üledékösszletek pusztá vizsgálata azonban nem sok eredményre vezet a keletkezésüket meghatározó törvényszerűségek ismerete nélkül. Így hát nem kerülhetem meg, hogy kitérjek azokra a folyamatokra, amelyek hatással voltak - és jelenleg is hatással vannak - a szigetközi Duna-szakasz arculatának kialakulására, valamint szólnak a hordalékmozgás legfontosabb jellegzetességeiről.

I. A szigetközi Duna-szakasz jelenlegi arculatának kialakulása

A Duna Pozsony-Gönyű közötti szakaszának jellege, morfológiája döntően három folyamat hatására alakult ki. Ezek:

1. a Kisalföld területének több millió éve tartó és jelenleg is folytatódó süllyedése;
2. a Kis-Kárpátok vonalát elhagyó Duna hatalmas legyezőszerű hordalékkúpjának épülése; valamint
3. a több évszázada megkezdett, majd 1886-tól kiteljesedett ármentesítő és folyószabályozási munkálatok.

E három folyamat egymással is szorosan összefügg. A terület tartós süllyedése nélkül nem rakódhatott volna le a Kisalföldön a több mint 20km^3 folyóvízi hordalék (ERDÉLYI M. 1979). Másrészt - az újabb elméletek szerint - e nagy vastagságú üledékösszlet tömörödése és súlya maga is hozzájárul a süllyedés fenntartásához. A folyószabályozások nyomán pedig

a korábban a teljes területre kiterjedő feltöltődés ma már csak a folyók jelenlegi árterére koncentrálódik.

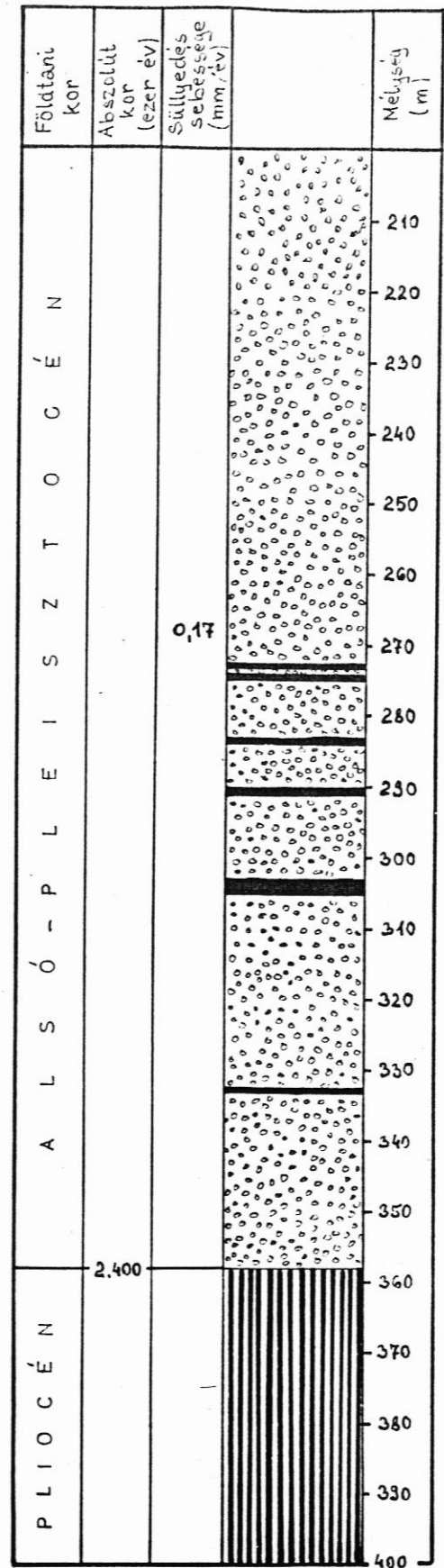
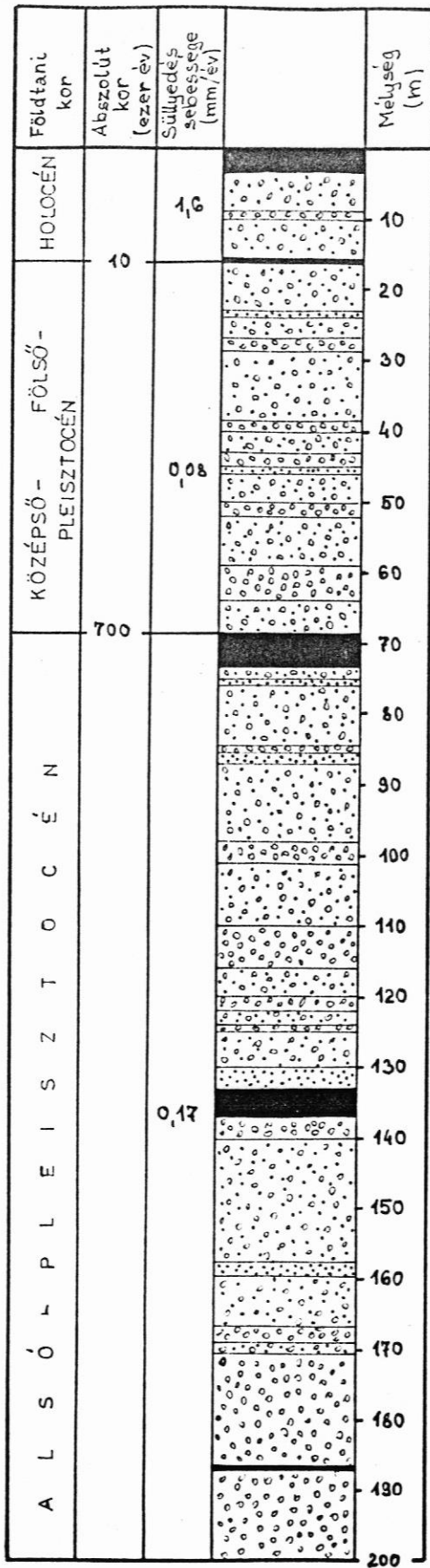
1. A Kisalföld területének süllyedése

A süllyedés mértékét jól jelzi, hogy az Északi-Bakonyban, Gerecsében felszínen lévő fölső-triász korú mészkövek és dolomitok a medence legmélyebbre süllyedt részén, Győrzámoly térségében 8500m mélyen található (SCHAREK P. 1991). A süllyedés területileg differenciáltan, csupán néhány száz km² kiterjedésű tömbökben-üstökben történt (RÓNAI A. 1986). Így a Kisalföld medencealjzatában hátságok és árkok különülnek el. A süllyedés különösen az utolsó 12 millió évben vált intenzívvé, amikor is sebessége - még ekkora időtartamra átlagolva is - helyenként elérte a 0,5 mm/év értéket.

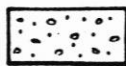
A maihoz hasonló jellegű Duna kb. 2 millió éve jelent meg a Kisalföld középső részén. A dunai durva kavicsösszlet maximális vastagsága a Szigetköz területén meghaladja a 700 métert. A folyóhordalék vastagsága nagyjából a medencealjzat mélységével függ össze (FRANYÓ F. 1967), ami azt jelenti, hogy a több millió éve megkezdődött süllyedési folyamat lényegében változatlanul folytatódott. Biztos, hogy a süllyedés sebességében jelentős ingadozások voltak (PÉCSI M. 1959), ezeket azonban a kavicsos összletből csak igen ritkán előkerülő ősmaradványok alapján nehezen lehet nyomozni.

Az Arak község mellett lemélyített fúrás (SCHAREK P. 1991) 358m vastagságban harántolta a Duna kavicsos hordalékát. Az 1. ábrán feltüntettem a süllyedés átlagos mértékét is. Különösen figyelemre méltó a holocénnek nevezett utolsó 10 ezer évben lerakódott üledék nagy vastagsága, amely a Mosonmagyaróvár-Abda vonaltól ÉK-re lévő terület jelenleg is tartó gyors süllyedésével magyarázható.

A legutóbbi időszakban bekövetkező mozgásoknak már történelmi bizonyítékai is vannak: Quadrata római település romjai Lébénytől É-ra 1955-ben 1,5m-es Duna-hordalék alól kerültek elő (SOMOGYI S. 1961). Az 1930-as évektől a geodéziai módszerek és műszerek fejlődése kapcsán érett meg a gondolat, hogy a földkéreg jelenleg is folyó függőleges mozgásait bizonyos idő elteltével megismételt szabatos szintezések útján esetleg mérni lehet. Különösen BENDEFY L.(1964 és in CSOMA J. 1971) munkásságát kell kiemelni, azonban - mint arra MISKOLCZI L.(1973) és RÓNAI A.(1986) is rámutat - az eddigi adatok meg lehetőségen ellentmondásosak az elmozdulások nagyságát súroló



kavics



kavicsos homok,
homokos kavics



homok



finomhomok, kőzetliszt,
agyag

1.ábra Az araki fúrás vázlatos rétegsora (SCHAREK P. 1991)

mérési pontatlanságok miatt. Mindenesetre az újabb munkák a Kisalföldet - a geológiai adatokkal egyezően - jelenleg süllyedő területnek ábrázolják. JOÓ I.(1979) szerint napjainkban a süllyedés mértéke a Szigetköz DK-i részén 2,2 mm/év.

Még egy dologra szeretném felhívni a figyelmet. A Kisalföld süllyedése az ember által nem befolyásolható természetes folyamat. Aktuálgeológiai jelentősége még nyilvánvalóbbá válik, ha figyelembe vesszük, hogy Vénektől K-re a terület pedig abszolút értékben is emelkedik. Az Ásványrárónál még 700m mélyen eltemetve található pannon képződményeket a Duna Gönyűnél már erodálja, a partfalban rombolja. JASKÓ S. (1990) adatai szerint Vénektől Nyergesújfaluig 90-ről 100m tengerszint feletti magasságba emelkedik a Duna-völgy talpa. KÁROLYI Z.(1957b) régészeti és vízjárási adatok egybevetésével kiszámította, hogy Visegrád Esztergomhoz képest 1,5-2 mm/év sebességgel emelkedik, s ez az érték jól egyezik a geodéziai és földtani adatokkal is (RÓNAI A. 1973). A Duna kizárólag azáltal tudta az elmúlt 2 millió évben Kelet felé tartó folyását megőrizni, hogy a süllyedő Kisalföldet feltöltötte, az emelkedőben lévő visegrádi sziklaküszöböt pedig hordalékával folyamatosan koptatta, mélyítette.

2. A Duna kisalföldi hordalékkúpjának kialakulása

Ha egy süllyedő területre a vízfolyások nem szállítanak a feltöltéshez elegendő hordalékot, ott viszonylag "gyorsan" mocsár vagy tó alakul ki. Napjainkban ilyen terület a kb. 8000 éves Fertő és a 12000 éves Balaton medencéje is. Ezekben az ún. kompenzálatlan süllyedésekben agyagos és iszapos mocsári-tavi üledékek rakódnak le.

A Szigetköz területén az utóbbi 2 millió évben azonban mindig a folyóvízi kavicsos feltöltődés dominált. Ezért nincsenek az egész feltöltött területet átfedő agyagos víz záró rétegek a kavicsos üledékösszletben (RÓNAI A. 1960). Az araki fúrás 358m vastag kavicsos rétegsorában a finomhomokos, kőzetlisztes és agyagos betelepülések összvastagsága csupán 16,0m (1.ábra), és azok is elsősorban az elhagyott, lefűződő holtágak feltöltéseként képződtek (SCHAREK P. 1991).

A süllyedő Kisalföldre lépő Duna esése, hordalékszálító képessége erősen lecsökken, a magával hozott törmelék nagy részét lerakja. A folyó medre a folytonos törmelékfelhalmozódás miatt állandóan emelkedik, környezeténél magasabbra kerül. Egy-egy katasztrofális méretű árvíz alkalmával a Duna medrét hirtelen megváltoztatva az alacsonyabb térszín felé keresett lefolyást, a feltöltést arrafelé folytatva. Így alakult ki Pozsony alatt a Duna nagyméretű, legyezőszerűen szétterülő hordalékkúpja (LANG S. 1945, STRÖMPL G. 1945).

A Duna igen jelentős mederváltozásai a XVI. század óta a korabeli térképeken is nyomon követhetők (NEMES K. 1972). PÜSPOKI NAGY P. (1985) a földrajzi leírások és okiratok alapján időszámításunk kezdetétől vázolja fel a terület vízrajzi képeinek alakulását. Megállapításai a földtani adatokkal teljes mértékben egyeznek. Vizsgálatai szerint a rómaiak korában határalkotó fő Duna-ág nem a mai medrében haladt, hanem a hordalékkúp északi felén, megközelítőleg a későbbi Csalló helyén (2. ábra). Legfőbb jellegzetessége a kurtai kanyarulat volt, ahol Délnek majd Keletnek fordult, és csupán Komáromnál találkozott a Rábával. A hordalékkúp déli részén a Cselcs és a Csiliz kanyargott.

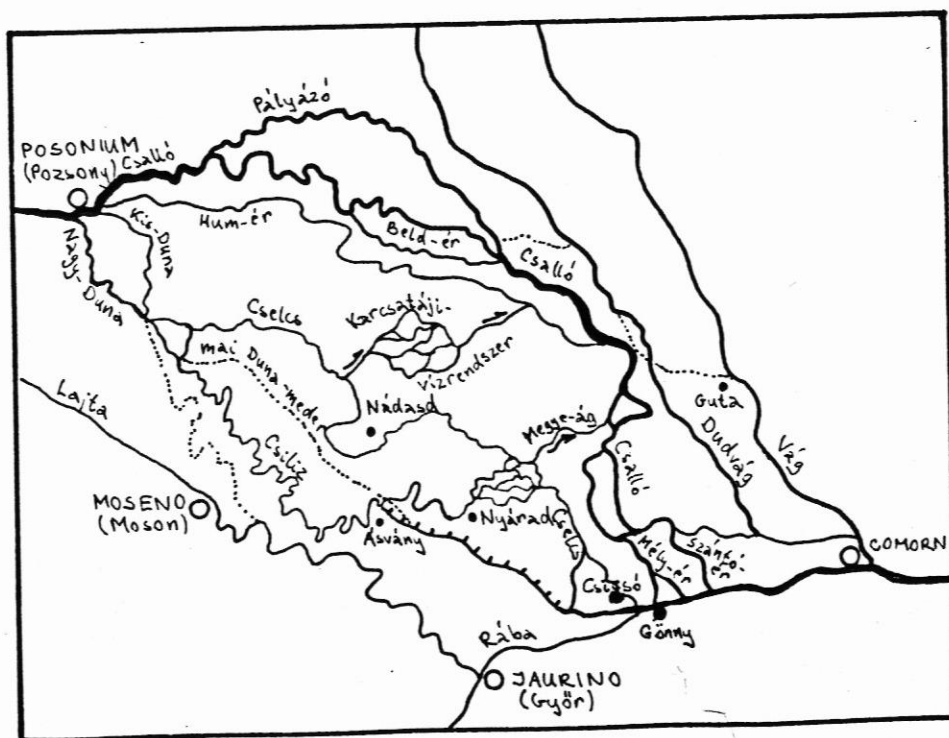
A vízrajzi kép első nagyobb átrendeződése a XII. század folyamán következett be. Ekkor alakultak ki a kurtai kanyar déli folytatásában a Duna áttörései Kolozsnéma és Aranyos között, illetve ekkor készült el a vidék első ismert nagyméretű vízrendészeti munkája, az Ásvány és Csicsó közötti kb. 22 km hosszú mesterséges csatorna. A Csiliz torkolatvidékének kikerülésére létesített átvágás vetette meg a mai Nagy-Duna medrének alapját (3. ábra).

A legnagyobb vízrajzi változás 1615 és 1682 között történt, amikor a Pozsonyi-szigetvilág átrendeződésével a főmeder a hordalékkúp déli felére, a Cselcs és Csiliz közébe került, a Csalló pedig elveszítette korábbi jelentőségét.

A Szigetköz mai vízrajzi képét tanulmányozva feltűnik a fő Duna-meder és a Mosoni-Duna jellege közötti különbség. Míg a szabályozás előtti Öreg-Duna erősen zátonyosodó, több ágra szakadozó ún. fonatos meder volt, addig a Mosoni-Duna



2. ábra Felső-Pannónia dunai határvidékének rekonstruált képe a II. században (PUSPOKI NAGY P. 1985)



3. ábra A Csalóköz vízrendszere a XIII. században (PUSPOKI NAGY P. 1985)

élesen kanyarogva, meanderezve szeli át a hordalékkúpot. Hasonló szakaszjellegek más folyókon is megfigyelhetők. A szakaszjellegek kialakulásának okát korábban a mederhordalék és a partfal anyagának egymáshoz viszonyított mozgathatóságában keresték (TRENKÓ GY. 1910, ROSSZINSZKIJ, K. 1956), vagy a folyó munkaképessége és a hordalékmozgatáshoz végzendő munka arányában látták (LÁNG S. 1945, KÁDÁR L. 1960). Ma már egyértelmű, hogy a folyószakaszok jellegét az adott szakasz hordalékháztartása határozza meg (SOMOGYI S. in KÁDÁR L. 1960, BILLI P. 1988, MANGELSDORF J. 1990). Elzátonyosodó, fonatos mederszakaszok ott alakulnak ki, ahol az adott szakaszra jutó és ott leülepedő görgetett hordalék jelentősen több, mint az onnan elszállított. Ezzel szemben a saját hordalékában kanyargó, meanderező vízfolyások adott szakaszára jutó és onnan távozó hordalékmennyiség különbsége többnyire nagyon kicsi. Ez azonban nem zárja ki a szakaszon belüli jelentős hordalék-áthalmazódást, ami a kanyarulatok szüntelen vándorlását eredményezi (KÁROLYI Z. 1957b).

A fentiek alapján látható, hogy a kisalföldi hordalékkúp kialakításában elsődleges szerepe a legnagyobb vízszállítású medernek van, elsősorban a fonatos főmeder végzi a süllyedő terület föltöltését. A hordalékkúp palástján ideoda vándorló kisebb vízhozamú meanderező folyóágak a főmeder által lerakott hordalék egyenletes szétterítését végzik.

Ennek a törvényszerűségnek pontosan megfelelően az Öreg-Duna ma magasabban folyik, mint a Mosoni-Duna, ez utóbbi pedig magasabban, mint a Rábca. A törmelékkúp lábánál a hanság és a Gutai-mocsár nem a süllyedés centrumai, hanem csupán a folyóvízi üledéklerakódással kompenzálatlan süllyedésterületek (ERDÉLYI M. 1979, JAKUCS L. 1982). A Szigetköz területén a talajvizet a függőmedrű Öreg-Duna táplálja mederhordalékán keresztül, a talajvíz pedig jelentős eséssel áramlik Dél felé, a Rábca irányába.

3. Armentesítő és folyószabályozási munkák

Habár a Szigetközben és a Csallóközben évszázadokon keresztül pusztítottak az áradások, a terület mégis meglehetősen sűrűn lakott volt. Az itteni emberek nem félték a vizet,

hiszen ismerték szeszélyeit, és az megélhetési lehetőséget biztosított számukra. A XVII. századtól viharos fejlődésnek indult kereskedelem, földművelés és erdőgazdálkodás egyre sürgősebbé tette a zabolátlan Duna-szakasz megrendszabályozását. Az eltervezett ármentesítő és folyószabályozási munkák azonban Pozsony, Moson és Győr vármegyék csatározásai miatt rendre megghiúsultak. Döntő fordulat 1885-ben történt, amikor az országgyűlés törvényt alkotott a Felső-Duna szabályozásáról.

Az 1886-ban megkezdett nagyszabású munkálatok részleteiről a földművelésügyi minster beszámolójából értesülhetünk (gróf BETHLEN A. 1893). A szabályozást nagyon megnehezítette, hogy az elzátonyosodott folyószakaszon a Duna sodorvonala évente többször is irányt változtatott, az egyik mellékágból a másikba csapott át. Emiatt a terveket is szüntelenül át kellett dolgozni. 1896-ig a Dévény-Vének közötti szakasz szabályozása során közel 2,5 millió m³ kőanyagot építettek be és több mint 5 millió m³ kavicsot kotortak ki. A mederrendezés eredményeképpen a középvízi Duna-meder 300-380m szélességű, párhuzamművek közé szorított csatornává vált (4. ábra).

A főmederben javultak a hajózási és lefolyási viszonyok, de az egyensúlyi állapot nem következett be. A középvízi meder túlzott szélessége miatt a folyó a felülről érkező hordalékot továbbszállítani nem tudta. Folytatódott a meder feltöltődése, a zátonyképződés és zátonyvándorlás.

A század elején kezdtek hozzá a kisvízszabályozáshoz. Sarkantyúkat, mellékág-elzárásokat építettek, nagymértékű gázlókotrásokat kezdtek, de a mederemelkedés folyamatát ez sem tudta megállítani. Emiatt az 50-es évekre a vezető és partvédő művek túlságosan alacsonnyá váltak, a kisvízszabályozási művek pedig feltöltődtek. 1958-ra a bagoméri vezetőmű átszakadásával tragikussá vált a helyzet.

A további folyószabályozás során a hangsúlyt a nagyvízi meder rendezésére, a mellékágrendszerek hordalékcsapdáinak kialakítására, a középvízi művek magasítására, újabb sarkantyúk építésére és az intenzív gázlókotrásra helyezték.

1946 és 63 között 850 ezer m³ követ építettek be, 1949 és 66 között 6,4 millió m³ kavicsot kotortak ki - mindez azonban nem idézett elő tartós javulást (ZORKÓCZY Z. 1969).

A 60-as évek közepétől - az eddigi szabályozások teljes erdménytelenységét közvetve beismerve - a "vízerő-hasznosítással kapcsolatos folyamszabályozási irányelvek" kidolgozása került előtérbe.

Aktuálgeológiai szempontból tekintve a főmeder múlt század végi "helyhez kötése", irányváltoztatásainak megakadályozása felborította a Kisalföldön az elmúlt 2 millió év során fennálló egyensúlyi helyzetet. Mint arra KÁROLYI Z. (1957a) és JAKUCS L.(1982) is rámutatott, a hordalékkúp nem tud tovább növekedni, így a folyószabályozási munkálatok óta ugrásszerűen megnőtt a feltöltődéssel kompenzálatlan süllyedésterületek nagysága. Az árvizek szétterülésének meggátlása, a lerakódások kisebb térre koncentrációja miatt a Rajka-Szap közötti folyószakasz túl magasra töltődött föl, beteggé, elfajulttá vált.

A megvalósítás alatt álló bősi vízerőmű e problémákon nem segít. Az üledékképződésre való hatása abban nyilvánul meg, hogy a görgetett hordalék lerakódását a duzzasztott tér fölötti, Pozsony-Oroszvár közötti folyószakaszra koncentrálna, a tározótérben a lebegtetett hordalék kiülepedésével vastag iszaplerakódásokat idéz elő, a jelenlegi főmederben pedig rossz vízáteresztő, a partiszűrést erősen gátló üledékek felhalmozódását eredményezi.

II. Hordalékmozgás a szigetközi Duna-szakaszon

1. A szigetközi Duna-szakasz feltöltődése

A Duna Rajka-Gönyű közötti szakaszán lerakódó hordalék mennyiségét a belépő és kilépő szelvények hordalékszállítása szabja meg, függetlenül a közbenső szakaszok hordalék-szállításától. Kézenfekvőnek tűnik: a görgetve illetve lebegtetve szállított hordalékot a két szelvényben mérve meghatározhatjuk a szigetközi Duna-szakasz feltöltődését. A valóságban azonban a kersztszelvényben a hordalékszállítás igen egyenőtlenül oszlik meg, és a szelvények körüli helyi

jellegű mederváltozások, zátonyvándorlás is erősen befolyásolja a mérést. Ezért az így kapott értékeket csak közelítő pontosságúnak szabad tekintenünk.

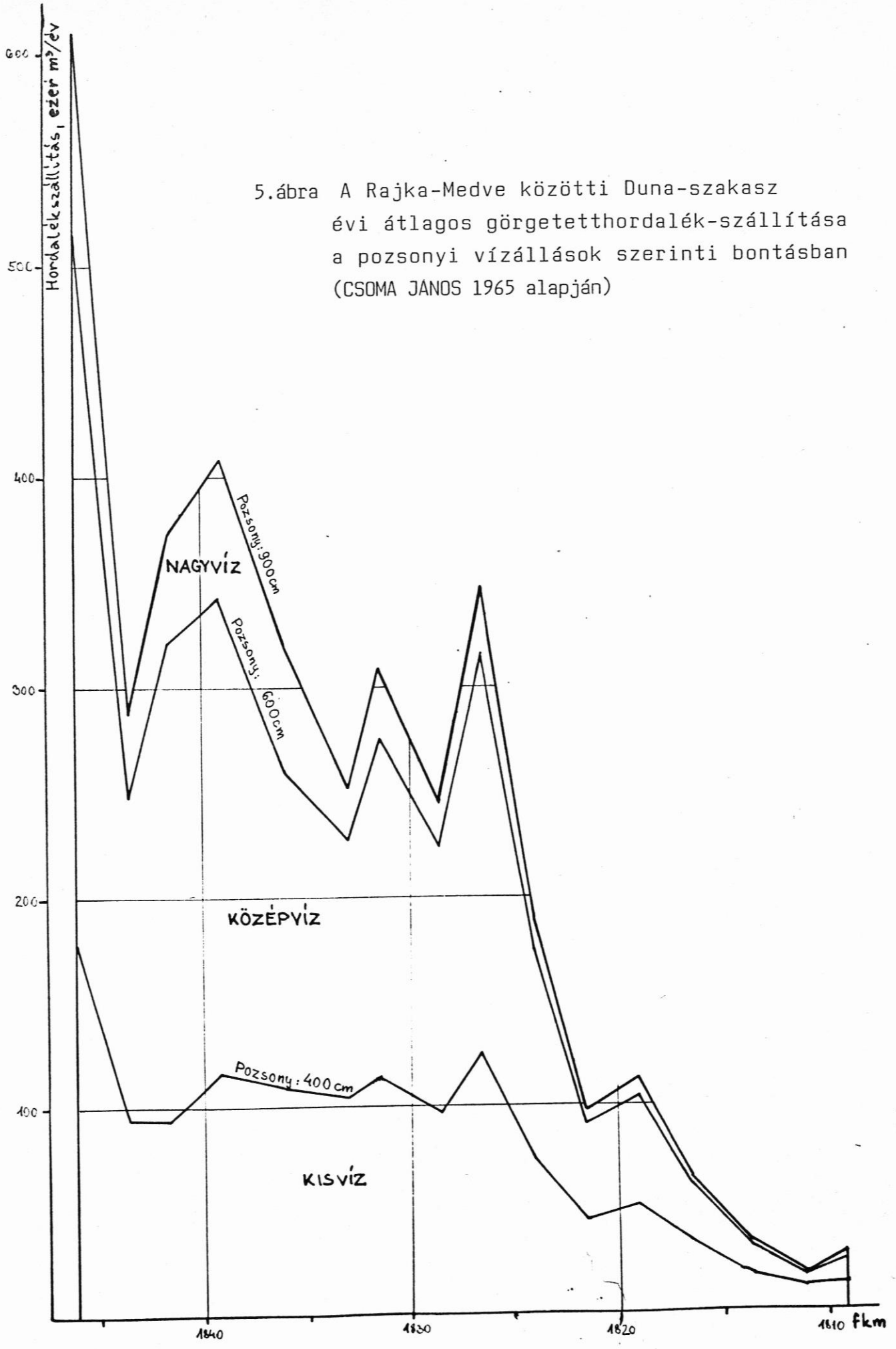
A legmegbízhatóbbak CSOMA J.(1968a) adatai, aki szerint az évi közepes hordalékszállítás mennyisége:

	Rajka	Gönyű	Nagymaros	
görgetett hordalék	590.000	25.000	14.000	m ³ /év
lebegtetett hord.	3.750.000	3.600.000	5.600.000	m ³ /év

Mint látható, a szigetközi Duna-szakasz természetes állapotában a lebegtetett hordalékszállítás nagyobb jelentőségű, de a lebegtetett hordaléknak csak töredéke ülepedik le - az is elsősorban az ártereken. A rajkai és gönyői szelvényekben mért görgetett hordalék-hozamban viszont tetemes eltérés mutatkozik.

Az eltérés részben a hordalék leülepedéséből, részben pedig a kavicsok kopásából adódik. A kevésbé ellenálló magmás és üledékes kőzetanyagú kavicsok gyorsabb kopása miatt az ellenállóbb kvarc és kvarcit kavicsok tömegaránya Rajkától Gönyűig 50%-ról 70%-ra nő (TORÓK E. 1986). Ugyanakkor a mederanyag átlagos szemcseátmérője 30mm-ről 13mm-re csökken. KÁROLYI Z.(1953) a szemcseátmérő csökkenése alapján a kopás miatt bekövetkező tömegvesztést 30-35%-ra becsülte. Nem vette azonban figyelembe, hogy a szemcseátmérő csökkenését nem csak a kopás okozza, hanem az is, hogy a nagyobb kavicsok már a hordalékkúp felső részén leülepednek, kiválasztódnak, nem jutnak el Gönyűig. STELCZER K. 1965-68-ban Dunaremeténél a mederbe helyezett, radioaktív izotópokkal megjelölt kavicsokkal végzett méréseket (BOGARDI J. 1971). Vizsgálatai alapján a Rajka-Gönyű közötti 56km-es szakaszon a görgetett hordalék a kopás miatt 10-15%-kal, azaz 60-90 ezer m³-rel csökken évente, s ez a lebegtetett hordalék mennyiségét növeli. Végeredményben megállapítható, hogy a szigetközi Duna-szakaszon évente kb. 490 ezer m³ görgetett hordalék és 225 ezer m³ lebegtetett hordalék rakódik le.

CSOMA J. (1965) részletesebben, 16 szelvényben vizsgálta a Rajka-Medve közötti szakaszon a görgetett hordalék szállítását. Tapasztalatai szerint az évente szállított hordalék-



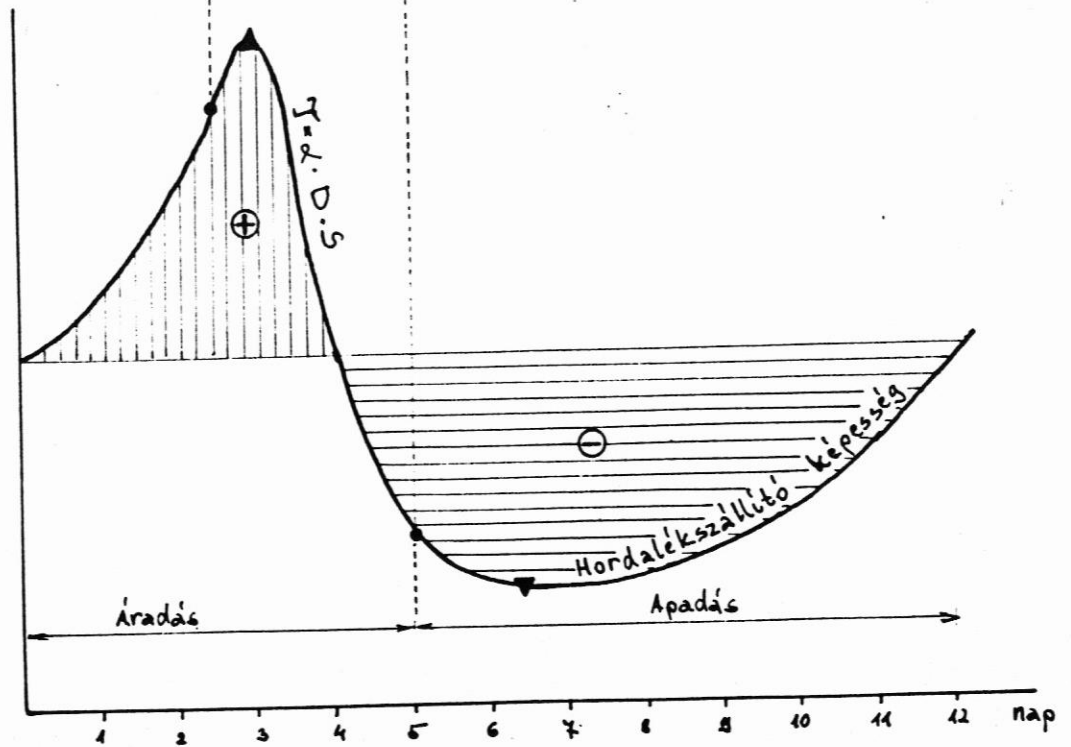
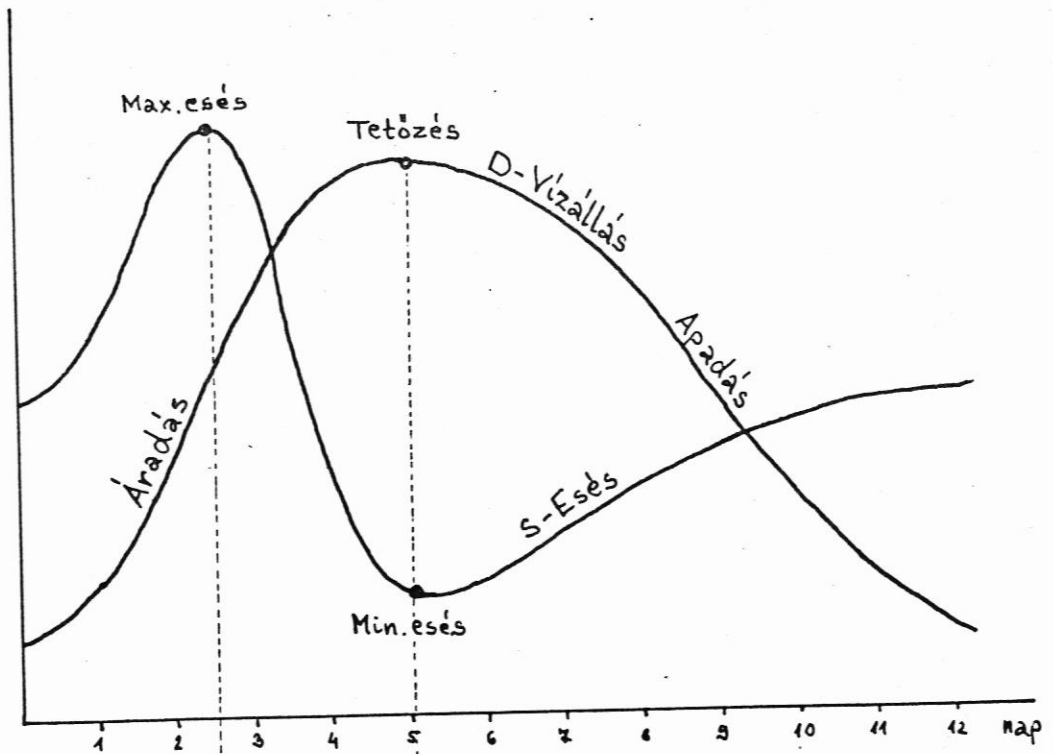
5. ábra A Rajka-Medve közötti Duna-szakasz évi átlagos görgetetthordalék-szállítása a pozsonyi vízállások szerinti bontásban (CSOMA JANOS 1965 alapján)

mennyiség a folyás mentén nagymértékben hullámzik, de felülről lefelé haladva általában csökken. Számos helyen a felső szelvény hordalékszállítása kisebbnek bizonyult az alsónál, azaz kimélyülés tapasztalható (5. ábra). A hordalékszállításnak a vízállás-gyakoriságok szerinti bontása azt is nyilvánvalóvá tette, hogy bár a rövid, gyorsan levonuló árhullámok rengeteg hordalékot mozgatnak, mégis a tartósabb középvizek végzik a görgetett hordalékszállítás közel 70%-át. Emiatt a szigetközi Duna-szakaszon a görgetett hordalék döntő többsége a párhuzamművek közötti középvízi mederben rakódik le.

A lerakódó kavics a főmederben zátonyokat, gázlóküszöböket épít, ezáltal nehezíti a hajózást. A feltöltődés miatt a párhuzamművek, sarkantyúk hatékonysága folyton csökken. Állandó magasításuk, a gázlókotrások igen sok pénzt emésztenek fel. A hordaléklerakódások következtében azonos vízhozamokhoz egyre magasabb vízállás tartozik. A Dunaremete-Szap közötti szakaszon az átlagos vízszintemelkedés 2,5-3,5 cm/év (KÁROLYI Z. 1957a)! A múlt századi szabályozás óta rohamosan gyorsuló feltöltődés okozza az áradások fokozódó veszélyességét - elegendő csak az ideai, 1991-es év újabb vízállás-rekordjaira utalnom a szigetközi szakaszon.

Fontos kitérni az árhullámok szerepére a szigetközi Duna-szakasz feltöltődésében. Egyes szerzők szerint (pl. PÉCSI M. in KÁDAR L. 1960) feltöltődő folyószakaszokon az árvi-zekkor érkező rengeteg hordalékot az apadó víz már nem képes elszállítani. Ezzel szemben pl. KÁROLYI Z. (1957a) számításokkal igazolja, hogy az árvíz nagy elragadó erejénél fogva inkább kimélyülést eredményez az egyébként feltöltődő szakaszon.

Tapasztalataim szerint a levonuló árhullám hordalék-mérlegét az áradás és apadás sebessége határozza meg. Az áradó víz hordalékszállító képessége jelentősen megnő, de az árhullám tetőzésekor - amikor az esés minimálissá válik - már csökkenő tendenciájú (6. ábra). A hordalékszállító képesség az apadás kezdetén éri el a legkisebb értéket, majd ismét növekszik. TÖRY K. (1956) a gázlófejlődés kapcsán írja le megfigyelését, miszerint az apadás kezdetén a mederben felhalmozódó hordalékot a további apadáskor a víz elszállítja.



6.ábra Az esés, vízmélység és hordalékszallító képesség kapcsolata árhullám idején (VERMES JANOS 1984 nyomán)

Azonos vízállások esetén a hirtelen áradás nagyobb hordalékmozgást idéz elő, mint a lassabb, hosszan elhúzódó. A fokozatos, tartós apadás meggátolja a jelentősebb hordalék-felhalmozódást, sőt, kimélyülést okozhat. A rövid, gyors apadás viszont nem képes elszállítani a frissen felhalmozódott hordalékot, így a feltöltődést segíti.

2. A görgetett hordalék mozgása

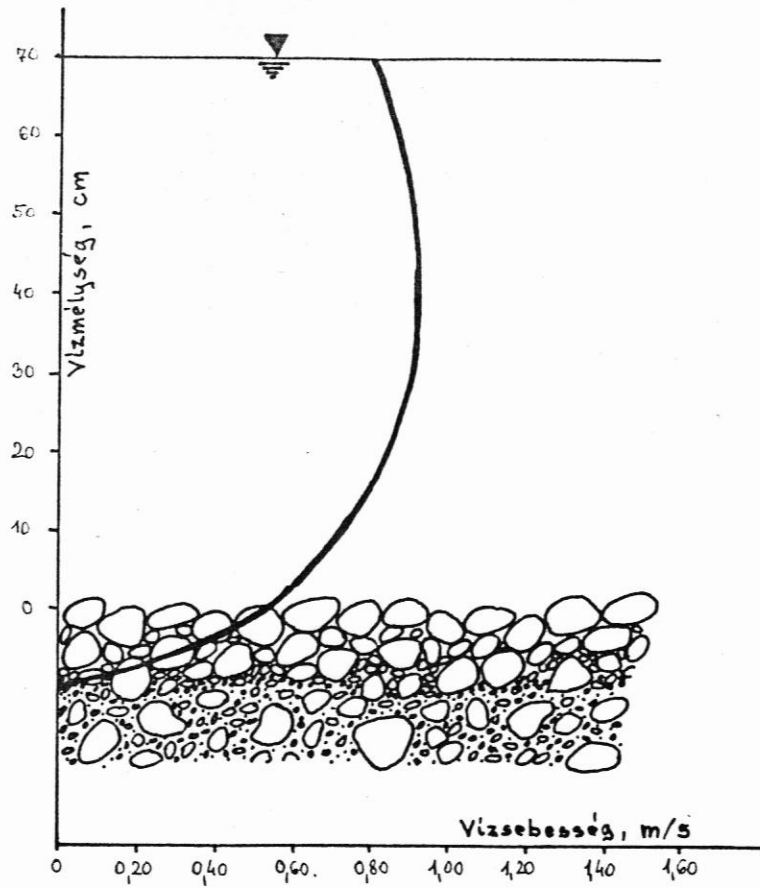
A görgetett hordalék mozgása elsősorban a hordalékszemcsék méretétől és a vízfolyás fenéksebességétől függ. A hordalékszemcse mozgás-nyugvás határát a kritikus fenéksebességgel szokták jellemezni.

STELCZER K. (1980) vizsgálatai megmutatták, hogy egy-egy kavics szem megindulása véletlen jelenség. Adott szem nagyságú hordalékban a vízsebesség növelésével a hordalékszemek megmoccannak, rezgésbe jönnek, majd egy bizonyos minimális fenéksebességnél egy-egy kavics mozgásba lendül. A vízsebesség további növekedésével egyre több görgetett hordalékszemcse kerül mozgásba, végül a kritikus fenéksebesség maximális értékénél kialakul a teljes hordalékmozgás. STELCZER K. mérései szerint a kritikus állapotot jellemző fenéksebesség tartomány a szigetközi Duna-szakaszon:

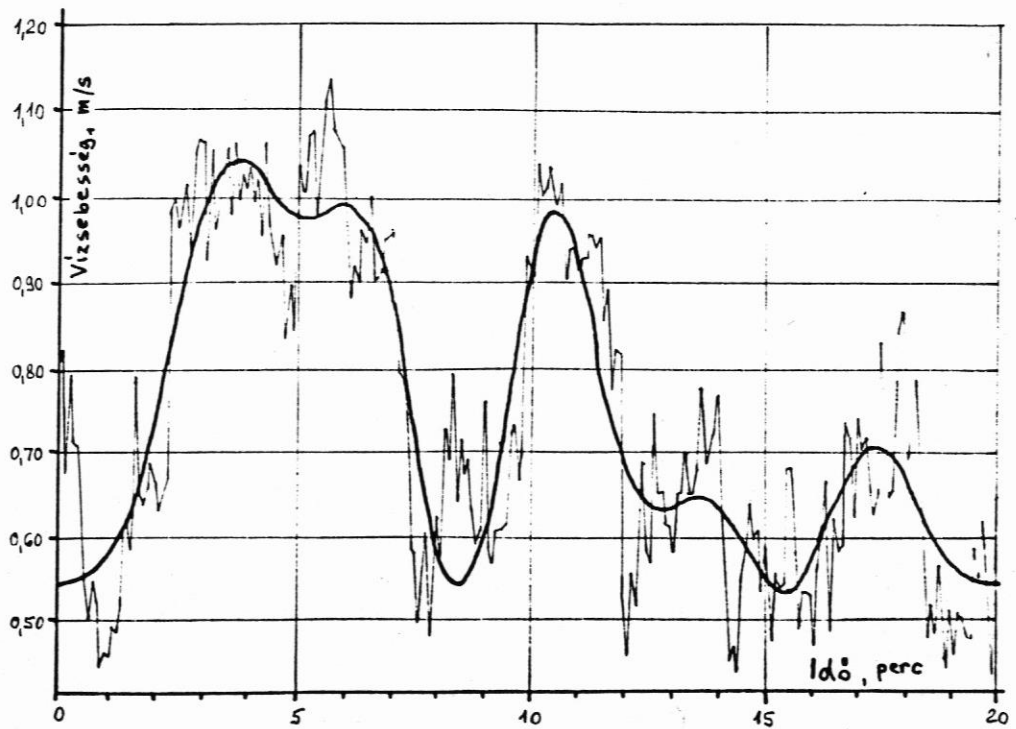
	jellemző szemcseméret D_{80} (mm)	kritikus fenéksebesség (m/s)		
		min.	max.	átl.
Rajka	31,38	0,56	0,83	0,70
Dunaremete	25,84	0,62	0,87	0,74
Nagybajcs	14,17	0,50	0,78	0,64

A vizsgált szakaszon a Duna görgetett hordaléka vegyes szemösszetételű: az apróhomoktól a durvakavicsig terjed. RÁKÓCZI L. (1975) kimutatta, hogy az ilyen hordalékban a finomabb szemcsék a kavicsok árnyékoló hatása miatt nehezebben kerülnek mozgásba, mint a csak finomabb szemcsékből álló anyag. Másrészt a durva kavicsok a környező homokszemcsék kimosódása miatt 10%-kal alacsonyabb fenéksebességnél indulnak meg, mint a csak kavicsokból álló hordalék. A vegyes szemcseösszetétel az átlagos és annál finomabb szemcsefrakciónál akadályozza, a durva kavics esetében viszont elősegíti a kritikus állapot kialakulását.

A vegyes szemösszetétel másik fontos következménye az ún. önburkolás, mederpáncélozódás kialakulása (KAROLYI Z. 1957b,



7.ábra A mederburkolat kialakulása



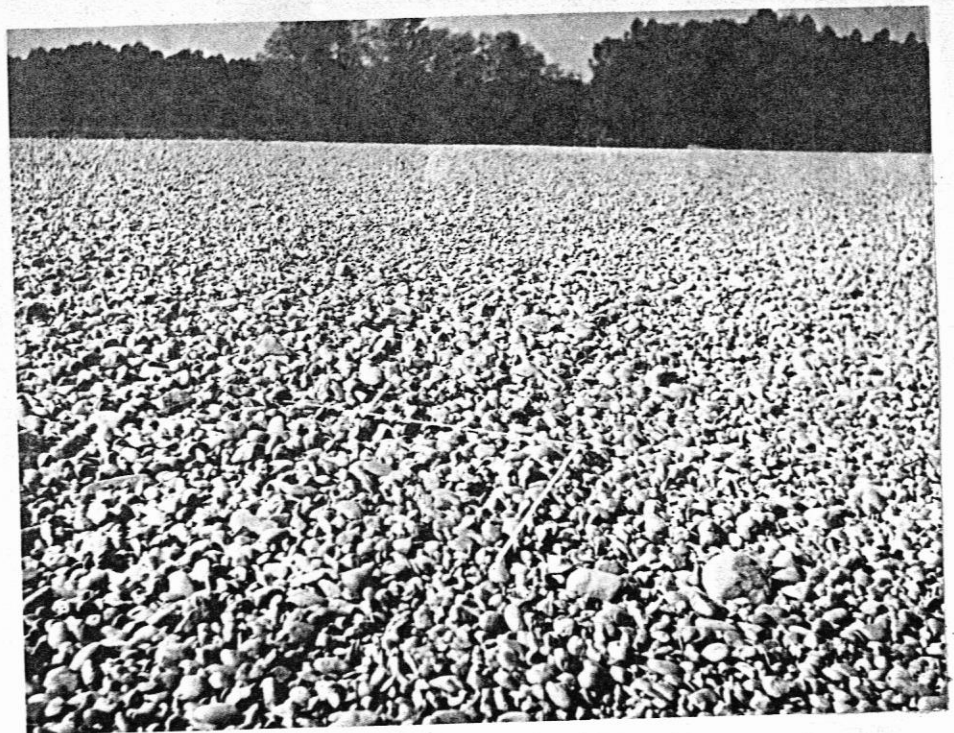
8.ábra A vízsebesség pillanatnyi értékének változása a Duna nagymarosi szelvényében 0,5m-rel a fenék felett (STELCZER KÁROLY 1980)

RÁKÓCZI L. 1981). A víz fenéksebessége a meder felszínénél még nem nulla, hanem a hordalék felső néhány centiméter vastag rétegében is áramlik a víz. Ezért a durvább kavicsok közül a finomabb szemcséket kimosva egy fölülről lefelé fokozatosan finomodó, meglehetősen ellenálló védőréteg képződik (7. ábra). Megfigyeléseim szerint a mederburkolat vastagsága a szigetközi Duna-szakaszon 3-10cm között változik (1.,2.kép)

Természetes vízfolyásokban a víz pillanatnyi sebességének ingadozása igen jelentős (8.ábra). A görgetett hordalék mozgása szempontjából ezek az ingadozások fontos szerepet játszanak. A BOGÁRDI J. (1971) által ismertetett kísérletek eredménye szerint minél nagyobbak a pillanatnyi vízsebesség változásai, annál kisebb - idő szerinti - középsebességnél következik be a kritikus állapot.

A pillanatnyi vízsebesség-ingadozások fő oka a turbulencia, vándorló vízörvények kialakulása a meder fenékközeli részében. Az áramlás turbulenciája a vízsebesség és vízmélység növekedésével fokozódik. A görgetett hordalék szállításában ezek az általános folyásirányban vándorló, fekvő víz-hengerek játsszák a fő szerepet. A hengerek alsó részében a fenéken erős, az általános folyásiránnyal ellentétes áramlás fejlődik ki (KEZ A. 1958), amely a durvább kavicsokat is képes mozgásba hozni. Ez a mozgás 10cm-nél is mélyebben képes beletámadni a mederanyagba, egész hordalékkötegeket szakít fel és vezet a henger felső részébe, ahol azután a hordalék az általános áramlás irányába hurcolódik.

Árhullámok levonulásakor az áradáshoz kapcsolódó fokozott turbulencia intenzív hordalékmozgást idéz elő. Az apadási időszakra jellemző egyenletesebb, lamináris jellegű áramlás pedig a mederpáncélozódás kialakulását segíti. A görgetett hordalék szállításában elsősorban nem a víz mennyiségének és fenéksebességének, hanem az áramlások változékonyságának van a legnagyobb szerepe. Ez okozza, hogy szélsőséges vízjárású folyók görgetetthordalék-szállítása jóval nagyobb, mint a kiegyenlítettéké, még akkor is, ha ez utóbbiak vízhozama jelentősebb. Ennek a ténynek a figyelembe vétele különösen fontos csúcsra járatott vízerőművek esetében.



1.,2.kép Mederburkoló kavicsanyag Lipótnál
(1824 fkm)

3. A lebegtetett hordalék mozgása

A szigetközi Duna-szakaszon a középvízhozamhoz tartozó lebegtetetthordalék-töménység $0,15\text{kg/m}^3$, a lebegtetett hordalék közepes szemnagysága pedig $0,03\text{-}0,08\text{mm}$. Az ilyen méretű lebegtetett hordalék számottevő lerakódása $0,15\text{m/s}$ középsebességnél indul meg, s ez alatt egyre növekvő üteművé válik (RÁKÓCZI L. 1989). Természetes állapotában a főmeder vízsebessége még kisvízkor is meghaladja ezt az értéket, így a mederben iszapos-finomhomokos hordalék nem ülepedik le. Áradások után azonban az árterek sűrű növényzete között lassan áramló, vagy a holtágakban, pocsolyákban visszamaradó pangó vizekből a lebegő anyag kiülepszik. KÁROLYI Z.(1957a) megfigyelése szerint a Felső-Duna árterein néhány év alatt akár méteres vastagságú iszapos-homokos lerakódások is képződhetnek. A friss öntéseken gyorsan megtelepszik a növényzet, így azt a következő árhullám már nem tudja továbbszállítani. A szétterülésében korlátozott Duna ártereinek gyors ütemű feltöltődése miatt - még a főmeder időszakonkénti kiüledése vagy kotrása ellenére is - folyamatosan növekedik az áradások szintje.

Áradások alkalmával a $0,2\text{-}0,5\text{mm}$ -es homokszemek is lebegtetve szállítódnak a főmederben, ám az árterekre jutva a vízsebesség csökkenésével azonnal kiülepednek. A főmedret több helyen kísérik ilyen, az áradások alkalmával a lebegtetett hordalékból képződő, viszonylag jól osztályozott homokos lerakódások.

4. A szigetközi Duna-szakasz mederformái

1986. októberében jártam be a szigetközi Duna-szakaszt, amikor Dunaremeténél tartósan 5% körüli medertelítettséget mértek, Gönyűnél pedig az eddigi észlelések történetének legalacsonyabb vízállásait jegyezték fel. A rendkívül alacsony vízszint kiváló lehetőséget biztosított a mederformák és üledékek tanulmányozásához.

A szigetközi Duna-szakasz legfontosabb mederformái a zátonyok, üstök és gázlók.

A múlt század végi szabályozások előtt a fonatos jellegű főmederben igen intenzív zátonyképződés folyt. A meder

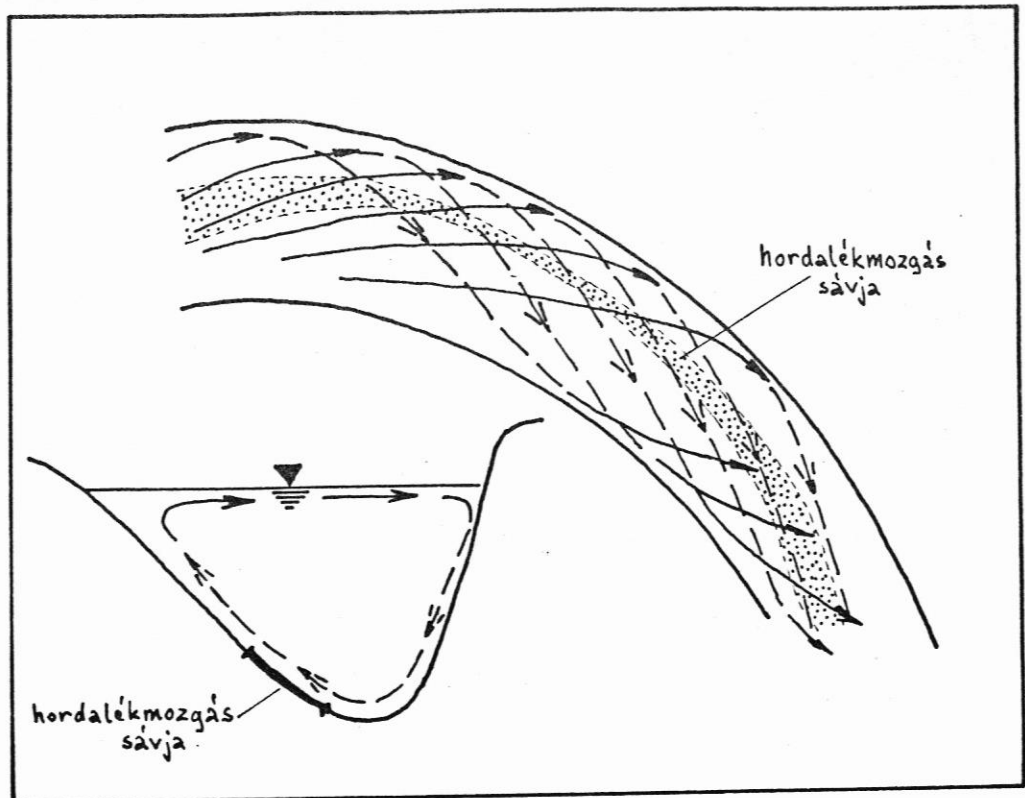
kiszélesedő részein, ahol a víz jobban szét tudott terülni, a meder közepén keletkeztek kavicsos lerakódások, amelyekből idővel szigetek, mederelágazások fejlődtek. Ezek a zátonyok a sodorvonal gyakori változásai miatt igen gyorsan és meglehetősen szabálytalanul vándoroltak, néhány év alatt teljesen megváltoztatva a mederágak elrendeződését. Ezek a szeszélyesen vándorló zátonyok biztosították a főmeder viszonylag egyenletes feltöltődését. A főág szabályozása ezt a folyamatot megszüntette. Magyarországon hasonló mechanizmusú zátonyképződést már csak a kavicsos hordalékú folyóinkon létesített duzzasztóművek alatt figyelhetünk meg (pl. a Fehér-Körösön Gyulánál, a Túrón Garbolcnál, a Rábán Ikervárnál és Nicknél).

Más jellegű a zátonyképződés a meanderező Mosoni-Dunán, illetve a főmeder egyes kanyargós mellékágaiban. Itt a zátonyok a kanyarulatokban, a domború part mentén képződnek. A kanyarban a víz csavarvonalú mozgást végez: a felszín közelében a homorú oldal felé tartva, majd ott a mélybe bukva a fenéken a domború oldal felé irányuló emelkedő mozgást végez (9. ábra). Ez eredményezi a homorú part tövében a kimosódást, az üst képződését, illetve a domború oldal épülését. A görgetett hordalék mozgása a zátony tövében a legnagyobb.

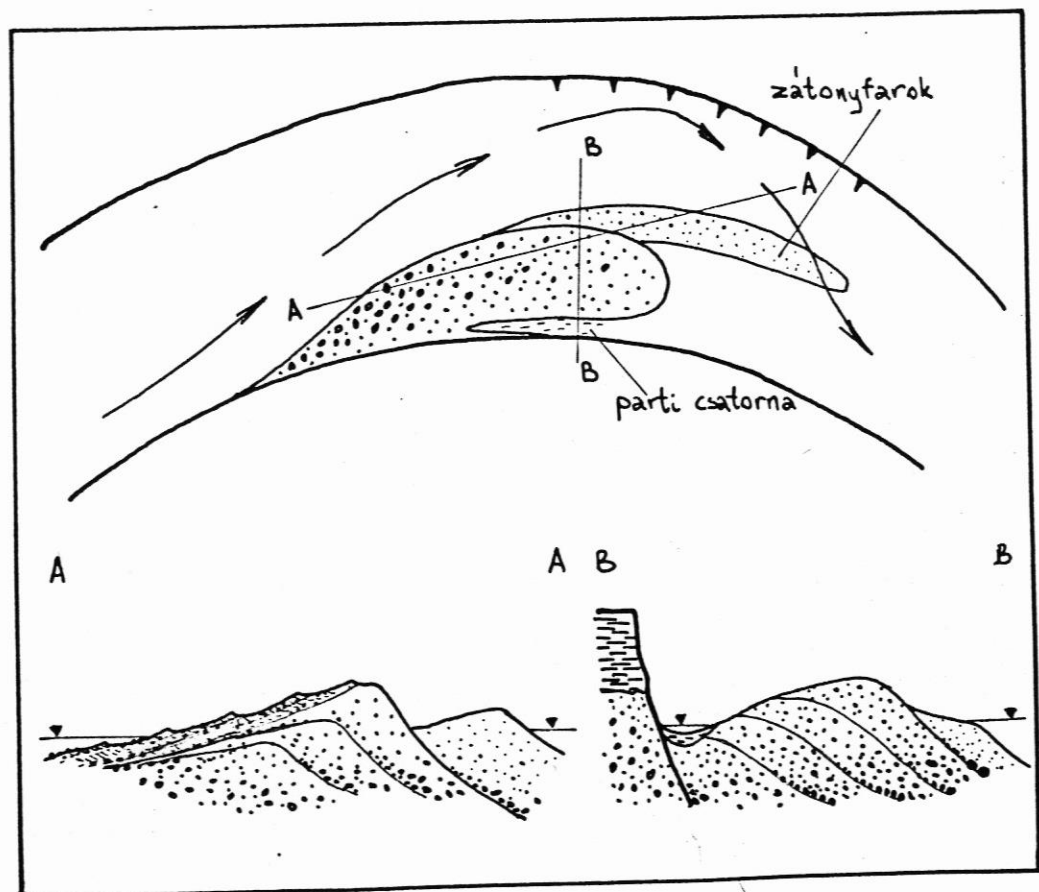
A zátony oldalán emelkedő vízmozgás a hordalékot is fölfelé hajtja. A nagyobb kavicsok azonban csak kisebb magasságig emelkedhetnek, így a hordalék szemcsemérete szerint függőleges irányban differenciálódik.

A zátony felső végénél laposan, fokozatosan emelkedik ki a kisvízi mederből, majd folyásirányban egyenletesen magasodva alsó végénél meredek lejtővel végződik (10. ábra). Magasabb vízállásnál, amikor a zátonyt ellepi a víz, a hordalék a zátony felszínén néhány centiméter vastagságú rétegben nyomul előre. A víz sebessége a zátony felső végénél nagyobb, ezért itt durvább hordalék rakódik le, mint a zátony magasabb helyzetű alsó végződésénél.

Kisvizek idején a zátony teteje szárazon marad, csak a zátony oldalán vándorol tovább a hordalék, fokozatosan meghosszabbítva a zátony alsó végét. Ez az ún. zátonyfarok mindig finomabb szemű hordalékból áll, mint maga a zátony (KÁROLYI Z. 1957b).



9. ábra A víz csavarvonalú mozgása kanyarulatban



10. ábra Kanyarulatban fejlődő szegélyzátony vázlatja

Magas vízálláskor a zátonyra felfutó víz részben a domború part felé terelődik, s a zátony végénél kialakult mély üstbe bukik. A zátony és a domború part között a hátravágódó erózió törvényei szerint fejlődő, folyásirányban mélyülő parti csatorna alakulhat ki.

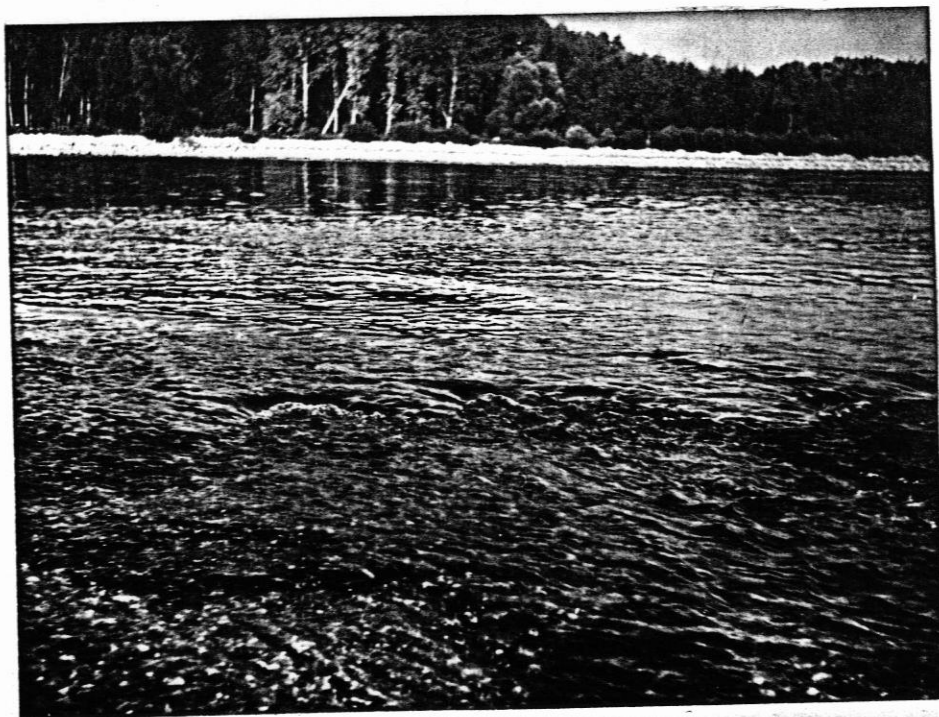
A kialakuló zátony a kisvízi medret egyre inkább a homorú partnak nyomja, ami a homorú part további pusztulásához vezet. A folyamat eredményeképpen a kanyarulat oldalirányban és a folyás szerint lefelé vándorol. A zátony pedig egyre szélesedik és magasodik.

Egy bizonyos magasság elérésekor a zátony az év nagyobb részében szárazon marad, s meg tud rajta telepedni a növényzet. Arhullámok idején a növényzet között lelassuló víz a lebegtetett hordalékát lerakja, így a kavicsos képződményekre hirtelen váltással iszapos-finomhomokos üledékek települnek. A domború part menti egykori szegélyzátony az ártér részévé válik, miközben az arrább vándorló kanyarban tovább folytatódik a zátony épülése. A meander fejlődése a felszín domborzatában és a légifotókon is jól látható karéjos szerkezetet, úgynevezett övzátonyt eredményez.

A zátonyképződés harmadik fajtája az ellenálló mederanyagú, vagy szabályozott partú folyókon jelentkezik, amilyen a jelenlegi főmeder (KÁROLYI Z. 1960). A középvízi meder a kisvíz számára túl széles, így a kisvízi sodorvonal enyhén kanyarogva halad benne. A sodorvonal szerinti homorú oldalon üst, vele szemben zátony képződik. A zátony szélesedése azonban nem léphet egy határon túl, mivel a biztosított homorú partot a folyó nem képes alámosni. Ehelyett a zátonyfarok épülése válik egyre intenzívebbé. Az egyre hosszabb zátonyfarok a sodorvonalat a folyás szerint következő túloldali zátony fölső végének tereli, így a víz abból sodor el anyagot és erősíti ugyanannak a zátonynak az alsó végét. Megkezdődik a zátonyok vándorlása, amely 2-3 év alatt az üstök és a zátonyok teljes "helycseréjét" eredményezheti. A vándorló zátonyok között pedig a zátonyfarok víz alatti meghosszabbításaként hosszirányú, kissé ferde gerinc - gázló képződik.



3.kép A zátonyfarok víz alatti folytatódása az 1823,5 fkm-nél



4.kép A gázlóban megbontott mederburkolat fölött bukik át a kisvíz a következő üstbe. (A fenti kép részlete)

Mabasabb vízállás esetén a vízszín esése a mederben viszonylag állandó. Kisvízkor azonban a kanyarulatok kimélyített üstjeiben alig van esés, a gázlókon ellenben nagy eséssel és sebességgel bukik át a víz a következő üstbe. Apadás-kor a zátony oldalán és a gázlóban kialakul az ellenálló mederburkolat, amelyen stabilitása miatt gyakran még vízínövények, algák is meg tudnak telepedni. Ezt a burkolatot a kisvíz szinte képtelen megbontani. Ahol mégis belekap, ott sellő, zúgó alakul ki (3.,4.kép).

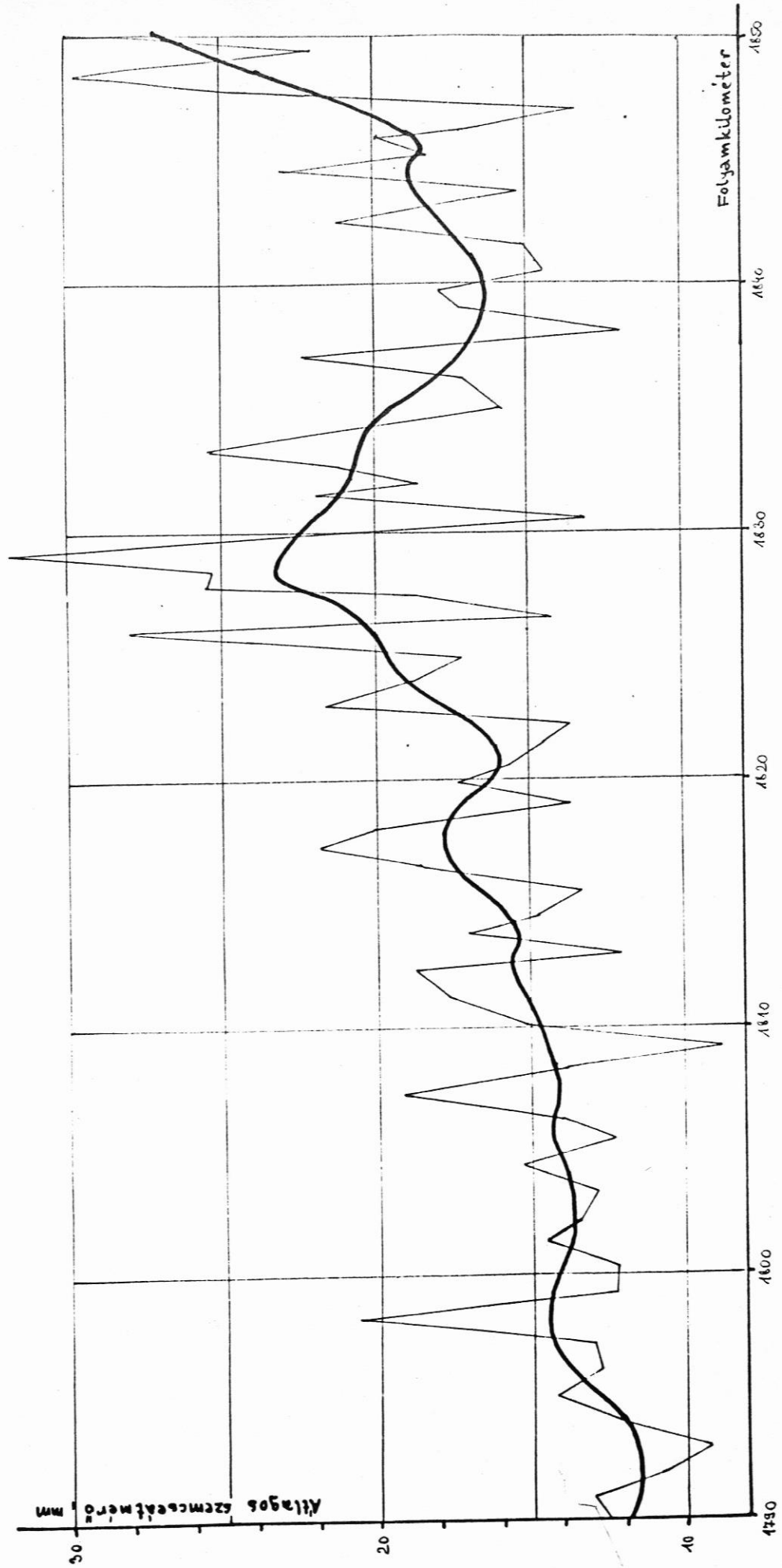
A szigetközi Duna-szakasz zátonyainak felszínét vizsgálva megfigyelhető, hogy Rajka-Dunakiliti térségében a lapos, lekerekített formák uralkodnak. Ezzel szemben Nagybajcs és Gönyű környékén a zátonyok felszíne sokkal változatosabb: hullámfodrok, dűnék, kimosódások, átfolyások tagolják. E jelenség oka a mederanyag átlagos szemátmérőjének fokozatos csökkenése Rajkától Gönyűig (11.ábra). A felső szakaszon a 2mm alatti szemcsefrakció aránya a mederüledékben 5-10%, ezért az apadó víz csak viszonylag kevés anyagot tud kimosni. Az alsó szakaszokon a homokfrakció aránya eléri vagy meghaladja a 20%-ot, így a kisvíz mederalakító, felszínformáló hatása is jobban érvényesülhet.

III. A szigetközi Duna-szakasz üledékei

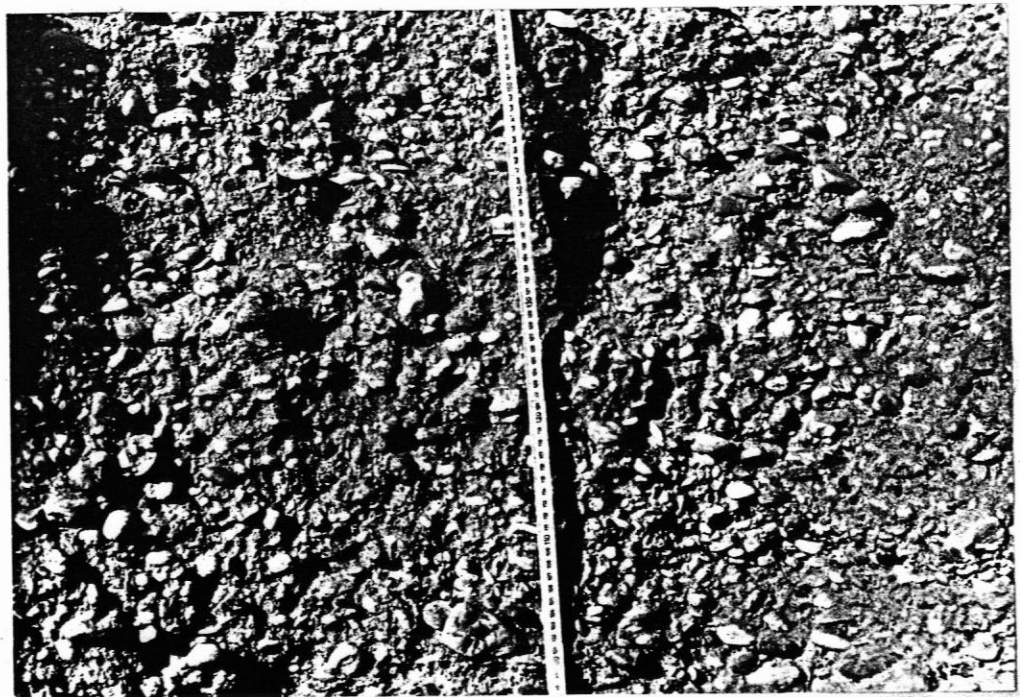
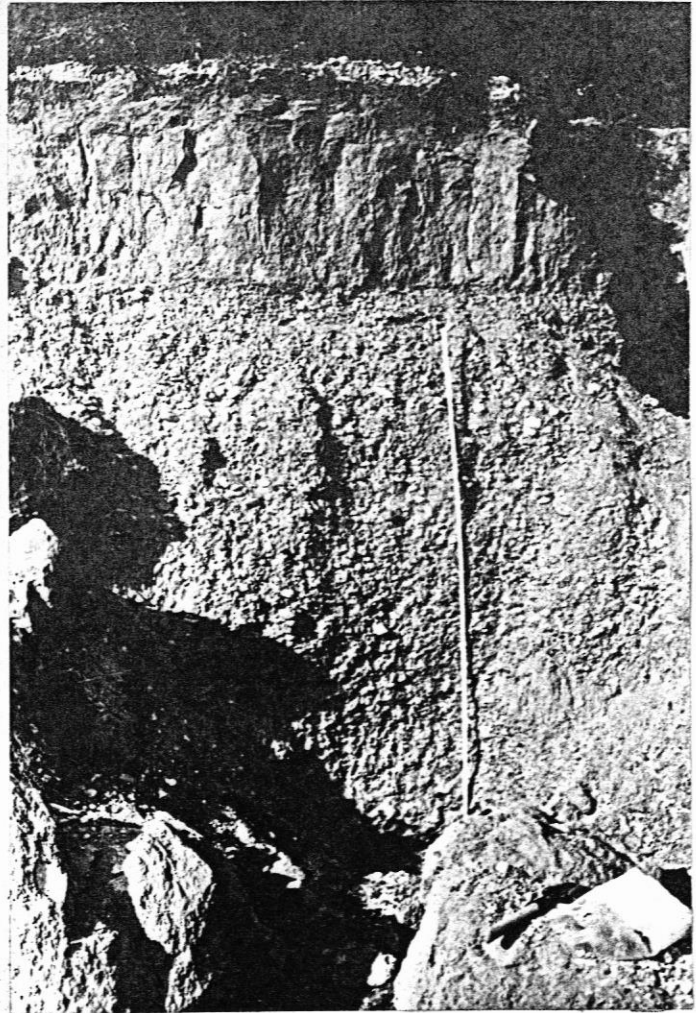
A hazai szakirodalomban a folyóvízi durvatörmelékes üledékek szöveti jellegzetességeit legrészletesebben VERMES J. (1982,1984) vizsgálta. Eredményeiből kiindulva a szigetközi Duna-szakasz üledékeit 6 csoportba sorolhatjuk, melyek térbeli elhelyezkedését, egymáshoz való viszonyát a 12.ábra szemlélteti.

1. Rosszul osztályozott, durva mederüledékek

E képződmények alkotják a kisvizek szintjében és az alatt a főág mederanyagát. Elsősorban árhullámok idején, közvetlenül a tetőzést követően rakódnak le, amikor a folyó hordalékszállító képessége rövid idő alatt drasztikusan lecsökken (6.ábra). Az árhullám által eddig mozgatott durva üledék



11. ábra A mederanyag átlagos szemcséátmérőjének változása Rajkától Gönyűig.
(A Vízrajzi Atlasz adatai alapján)



5.,6.kép Rosszul osztályozott mederüledékek feltárása Tejfaluszigeten, a Pásztorháznál. A kollapszitekban csak durva rétegzettség figyelhető meg.

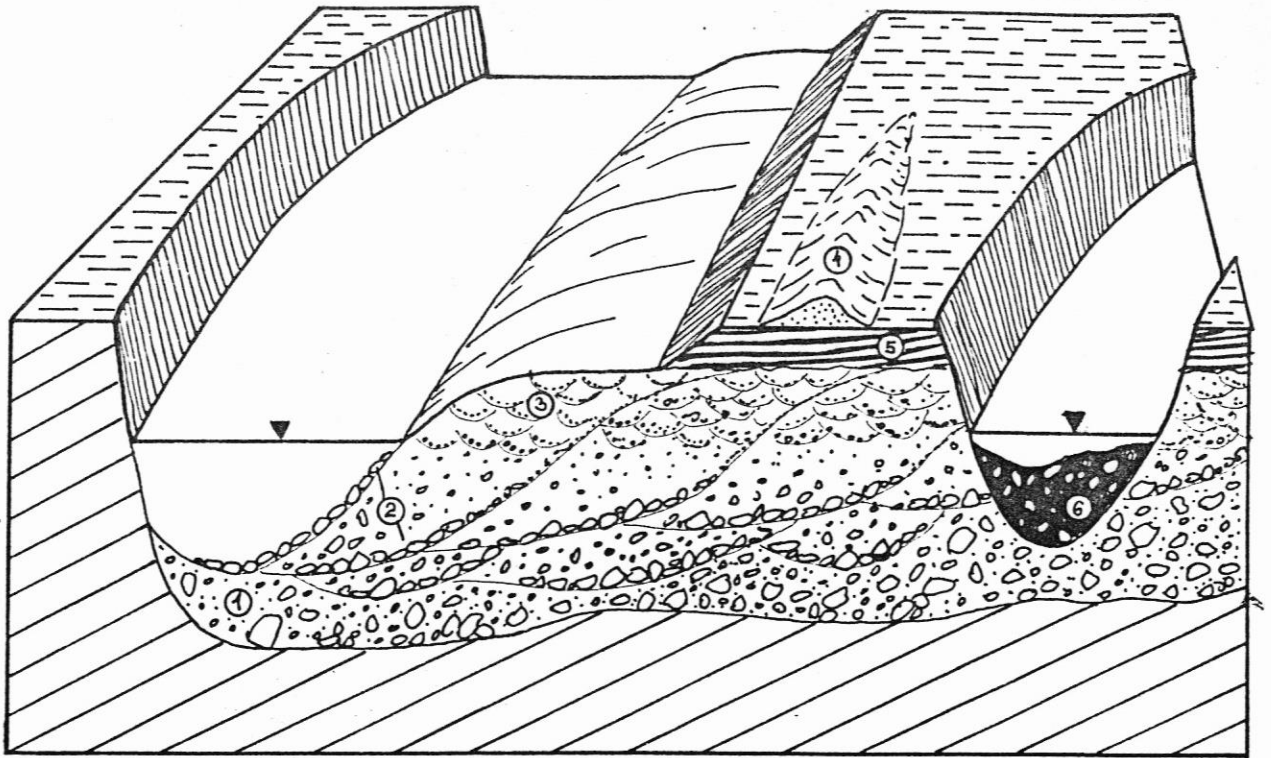
"felhője" ilyenkor összeomlás-szerűen hirtelen leülepszik. A folyamat alapján ezeket a képződményeket VERMES J. kollapszitoknak nevezte el.

A gyors, összeomlás-szerű lerakódás elég rosszul osztályozott, erősen tömörödött üledéket eredményez. A kollapszitokban együtt fordulnak elő a folyóvízi összlet legnagyobb méretű kavicsai, és a lebegtetett hordalék 0,05-0,1 mm-es szemcséi. Ez utóbbiak aránya azonban nem haladja meg az 1-2%-ot, mivel a tömörödés során a finom szemcsék túlnyomó része felúszik a leülepedett tömeg tetejére a kiáramló köztes vízzel együtt (13. ábra). A dunai kollapszitok másik jellegzetessége, hogy a 0,5-2mm közötti durvahomok szemcsék szinte teljesen hiányoznak az üledékből, ezért a kumulatív görbén ebben a mérettartományban közel vízszintes szakasz található. A görbe meglehetősen lapos, lépcsős lefutású.

Feltárásokban a mederüledékek többnyire szürke színű, eléggé tömött képződmények, amelyekben csak durva rétegzettség figyelhető meg (5. kép). A rétegek vastagsága 10-20cm-től 1,5-2m-ig terjed. Nincsenek éles határaik, egymástól döntően szöveti tulajdonságaikban különböznek: tömörebb vagy lazább térkitöltés, több-kevesebb homokfrakció, a kavicsok különböző fokú osztályozottsága, koptatottsága, durvasága - bár ezek a különbségek sem igazán jelentősek. (6. kép).

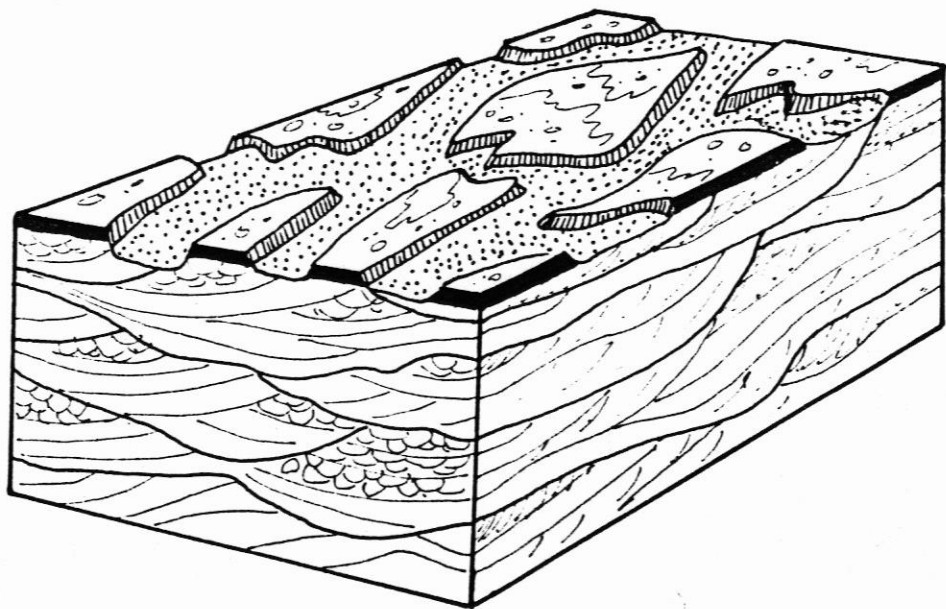
A Szigetköz felső részén legjellemzőbbek az olyan kollapszitok, amelyekben a szorosan illeszkedő kavicsok közét tölti ki teljesen a néhány százaléknyi homokfrakció. Nagybajcs környékén már gyakoribbak az olyan rétegek, amelyekben a kb. 20%-ot kitevő tömött homokos mátrixban "lebegnek" a durva kavicsok.

A kollapszitok vízvezető képessége közepes, a "lebegő" kavicsú változatoké valamivel kedvezőbb. Szerepük a tajvíz táplálásában óriási, hiszen a Duna-meder vízvesztése túlnyomórészt a kollapszitokon keresztül történik. (Egyébként CSOMA J. (1965) mérései szerint az elszivárgás miatti vízhozamvesztés a Duna főágában Rajkától Medvéig közel 14%!) A folyóvízi üledéksorozatokban a durva mederüledékek több kilométer hosszan húzódó egységes üledéktestet alkotnak, amelyek hosszirányú talajvízszállítása igen jelentős.



12.ábra A szigetközi Duna-szakasz üledékeinek települési viszonyai és egymáshoz való helyzetük.

1. Kollapszit 2. Szelektit 3. Zátónyüledék
4. Artéri homok 5. Artéri finomanyag 6. Kolmatit



14.ábra A fonatos meder hatása alatt kialakuló folyóvízi üledékösszlet ciklusos felépítése (ORI G. G. 1988)

2. A mederburkolat üledékei

Mint korábban írtam, a hordalékban gazdag árhullámot követő lamináris jellegű kisvízi áramlás alakítja ki a mederburkolatot a zátonyok oldalán és a gázlókban. Gyakran előfordul, hogy ezt az ellenálló fedőréteget a következő áradás sem képes megbontani, hanem betemeti újabb durva mederüledékekkel.

Mivel a mederburkolat képződése során a homokszemcsék kimosódnak, a homok és a kavics elkülönül, ezeket az üledékeket VERMES J. szelektiteknek nevezi. A szelektitek igen jól osztályozottak, nagyméretű durvakavicsok is előfordulnak bennük, a 2mm alatti frakció aránya viszont csupán 1-3%. A kumulatív görbe (13b. ábra) kb. 0,5mm-nél alulról korlátos, a kavicsstartományban pedig meredeken emelkedik.

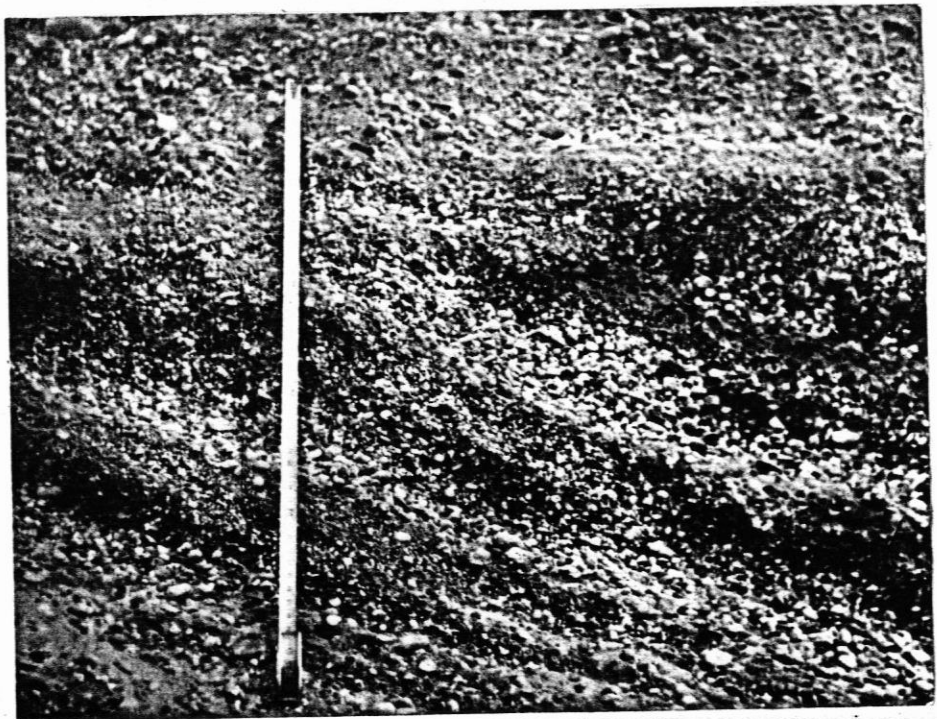
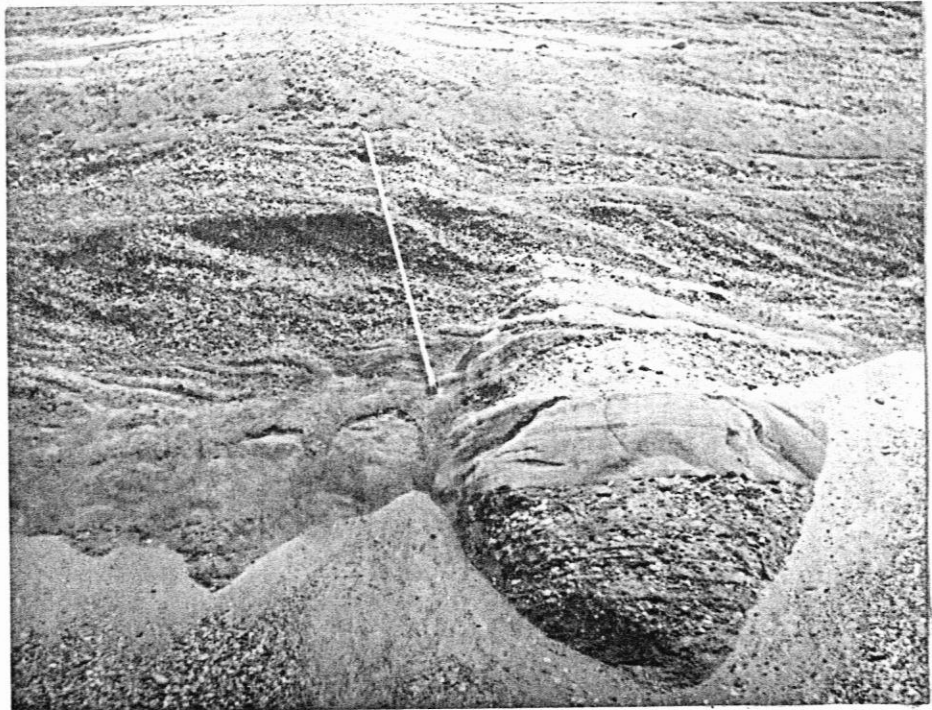
Feltárásokban a mederburkolat szelektitjei 5-20cm vastag lencsés betelepülésként jelentkeznek a kollapszitok között. Többnyire igen laza képződmények, kiperégnek a feltárás falából. Fő jellegzetességük a fordított gradáltság: a legdurvább kavicsok fölül helyezkednek el, alattuk egyre apróbbak következnek, majd a lencse alján durvahomok-darakavics települ a fekü kollapszit mosott felületére. A szelektitek sokszor azzal is felhívják magukra a figyelmet, hogy kavicsaik rozsdabarnára vagy feketére festődtek.

Habár a szelektitlencsék mérete nem túl nagy, vízföldtani jelentőségük óriási, mert hatalmas összefüggő pórusterrel rendelkeznek. Az összes földtani képződmény közül a szelektitek vízvezető képessége a legkiválóbb. Egy-egy szelektitlencse jelentős vastagságú kavicsos-homokos összletet képes megcsapolni.

3. Jól osztályozott, gradált zátonyüledékek

Az apadás végén egyre nagyobb hordalékszállító képességgel rendelkező áramlás (6. ábra) a kisvizek fölött, zömmel a középvizek magasságában leülepedett hordalékot újra meg újra áthalmozza. Mivel pedig az áramlás sebessége állandóan változik, az áthalmozás során az üledékek differenciálódnak: egyik helyen tiszta homok rakódik le, a másikon meg a kavics dúsul fel, a zátonyépülés folyamatának megfelelően.

Mint a 13c. ábrán látható, a zátonyüledékek szemcseössze-



7.,8.kép Tipikus zátonyüledékek feltárása Abdán,
a MEZOGÉP kavicsbányájában

tétele alulról és felülről is korlátos. A finom szemcsék a többszöri áthalmozódás következtében kiiszapolódnak, a durva kavicsok pedig még árhullámok idején sem emelkednek föl a középvizek magasságáig, így nem is kerülnek be a zátonyüledékekbe. Az eloszlási görbe jellegzetesen kétmaximumos, mivel a 0,5-2mm szemcsetartományban itt is relatív hiány mutatkozik. Ennek ellenére a durvahomok aránya a többi folyóvízi képződménnyel összevetve még mindig a zátonyüledékekben a legmagasabb.

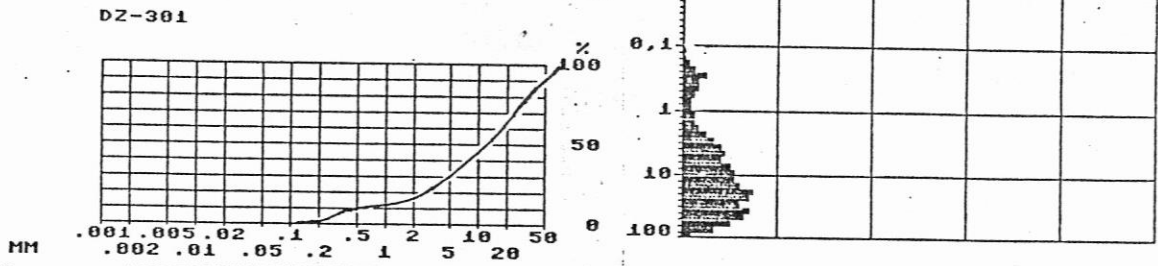
Feltárásokban a zátonyüledékek könnyen felismerhetők a differenciálódás következtében keletkezett gradált rétegzettségéről. A rétegek vastagsága 3-50cm között változik. Folyásirányban íves keresztarétegzettség, a folyásra merőleges szelvényben pedig íves, egymásba metsző mederrajzolatok láthatók. A vékony szelektit-szerű lencsék és a tiszta homokos rétegek többnyire ritmusosan váltakoznak (7.,8.kép). A zátonyüledékek leggyakrabban laza, sárga színű képződmények. Keletkezésüknek megfelelően a folyóvízi ciklus felső részében, a kollapszitok fölött, de az ártéri üledékek alatt helyezkednek el a rétegsorban.

A finom szemcsék kiiszapolódása miatt sok szabad pórustérrel rendelkeznek. A kollapszitoknál jobb vízvezetők, de a szelektitek vízátbocsátó képességével nem vetekszenek, mivel - a zátonyképződés folyamatából következően - nem alakulhattak ki több száz méter kiterjedésű egybefüggő rétegek.

4. Ártéri homokok

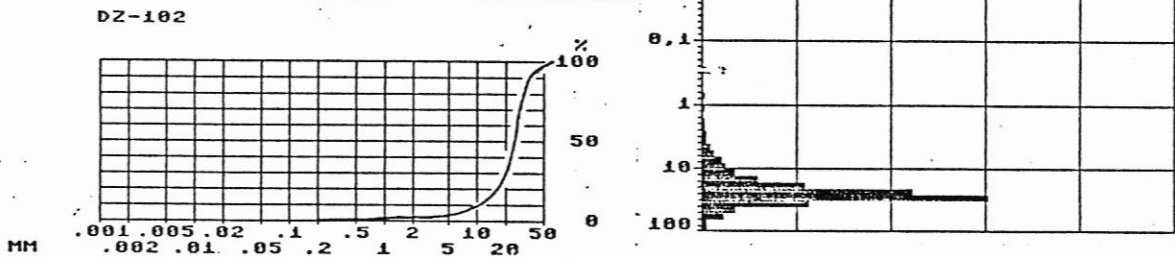
Az alacsony ártér szintjén a főmedret számos helyen kísérik turzás szerű homokvonulatok. Ezek a többnyire világos, fehér színű, viszonylag nagyméretű csillámlemezket is tartalmazó apró-középszemű homokok közvetlenül az árhullám tetőzésekor rakódnak le, és tulajdonképpen a kollapszitok ártéri megfelelői. A kollapszit-szerű ülepedés miatt eredetileg nagyobb tömegben, különösebb rétegzettség nélkül képződnek, azonban az apadó víz rendszerint többé-kevésbé áthalmozza őket. Emiatt a feltárásokban sokszor megfigyelhető, hogy az ártéri homokok 0,5-5cm vastag finoman keresztarétegzett sorozatokból állnak.

A/ KOLLAPSZIT



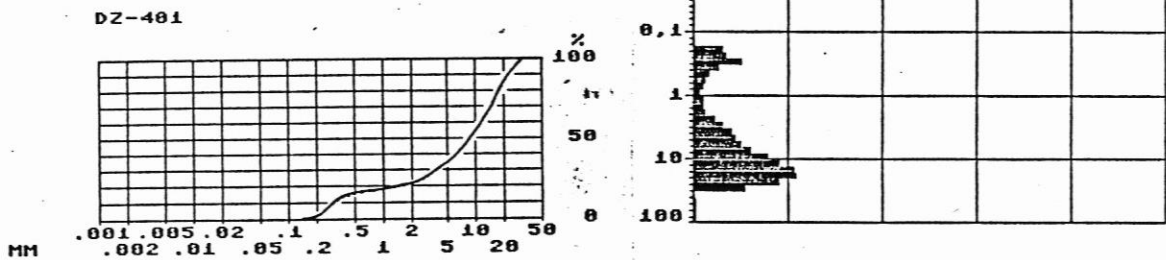
Rajka, főág, 1850 fkm

B/ SZELEKTIT



Lipót, főág, 1824 fkm

C/ ZATONYÜLEDEK

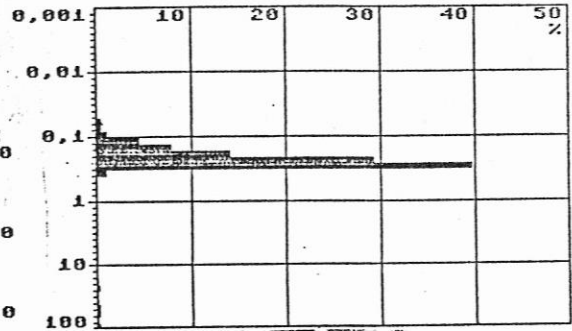
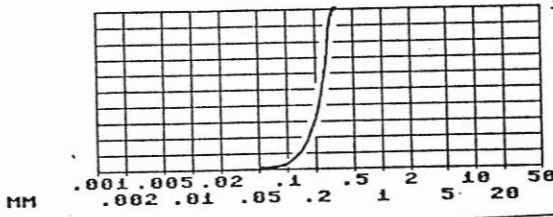


Nagybajcs, főág, 1802 fkm

13.ábra A folyóvízi üledékek fő típusainak jellemző szemcseeloszlási diagramjai

D/ ARTERI HOMOK

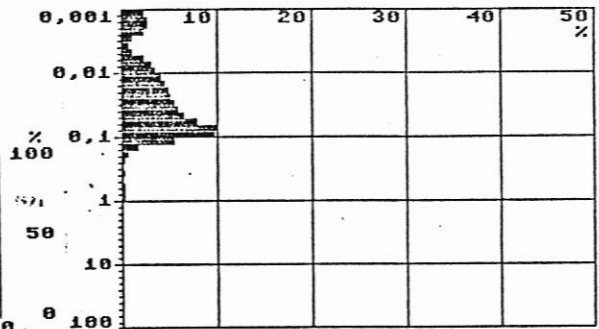
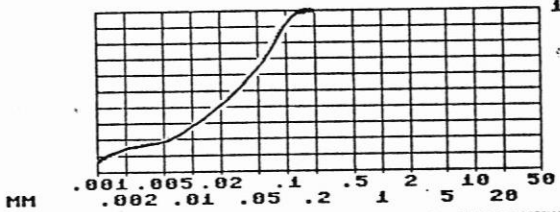
DZ-303



Rajka, főág, 1850 fkm

E/ ARTERI FINOMANYAG

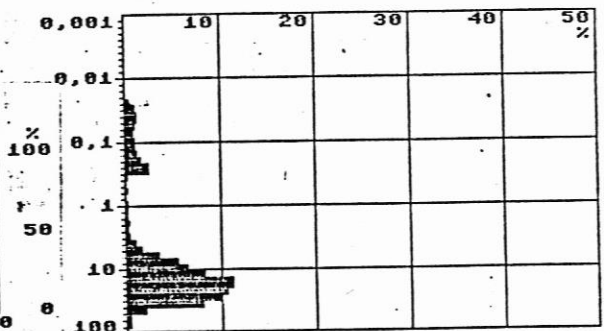
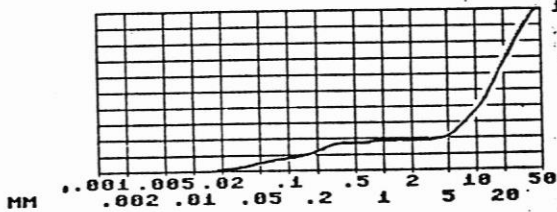
DZ-602



Tejfalusziget, pásztorház, kavicsgödör

F/ KOLMATIT

DZ-202



Szigeti-Duna, Ordög-sziget, főág 1847 fkm-rel szemben

13. ábra (folytatás)

A folyóvízi üledékek fő típusainak jellemző szemcseeloszlási diagramjai

A folyóvízi üledéktípusok közül az ártéri homokok a legjobban osztályozottak (13d.ábra). Gyakran anyaguk 90%-a egy-két tized milliméter szemcsetartományon belül található. A helyben maradó változatok finomanyag-tartalma valamivel magasabb, mint az áthalmozottaké, de még így is nagyon alacsony (1-3%). Ennek az a fő oka, hogy az áradmányos homokok lerakódása már az apadás kezdetén bekövetkezik, a finomabb lebegtetett hordalék viszont csak jóval később, az ártéri pangó vizekből kezd kiüledni.

Az ártéri homokok vízvezető képessége a kollapszítókéhoz hasonló, de magas helyzetük és lokális elterjedésük miatt a parti szűrés szempontjából jelentéktelenek. Nagyobb tömegű képződésüket az is gátolja, hogy - az öntésiszapoktól eltérően - a növényzet nehezen telepszik meg ezeken a homokokon, azt a szél, vagy a következő árhullám könnyen elhordja. Az áthalmozott ártéri homokok néhány centiméter vastagságú betelepülései gyakran megtalálhatók az ártéri finomanyag-sorozatokban.

5. Ártéri finomanyagok

Az ártéri finomanyagok az ártéri növényzet között lassan áramló, vagy az árhullám után visszamaradó pangó vizek, pocsolyák lebegtetett hordalékából képződnek. Az ármentesítések előtt az áradásokhoz kapcsolódó friss öntés nagy területeket borított el; a szabályozás óta az ártéri finomanyagok képződése csak a nagyvízi mederre korlátozódik.

Attól függően, hogy a kiüledés lassan áramló vagy pangó vízből történik-e, inkább finomhomokos-kőzetlisztes, illetve zömében agyagos képződmények keletkeznek. A kiüledés sorrendje minden apadási cikluson belül - a Stock-törvénynek megfelelően - a "durvább" szemcséktől az agyagok felé tart, így gradált rétegzés jön létre. Az egymást követő árhullámok igen finoman, párhuzamosan rétegzett ciklikus üledéksorozatot eredményeznek. Az egyes rétegek vastagsága csupán 1-2mm. A ciklusos szerkezetet sokszor az üledék színe is kihangsúlyozza: barnássárga csillámos kőzetliszt és sötétszürke, szerves anyagban gazdag agyag mikrorétegei váltakoznak.

~~A víz-leapadásával az ártéri finomanyagok keményre~~
száradnak, ellenálló fedőréteggként zárva le a kavicsos-homokos üledéksort. Az ártéri finomanyagok vízzáró üledékek, ezért áradások alkalmával is csak az élő, kavicsos medreken keresztül történik a talajvíz táplálása.

6. Holtágak kitöltései

Üledékképződési szempontból igen sajátosak a vizet és hordalékot csak árvizek alkalmával szállító, lefűződőben lévő holtágak. Az árhullámok durva hordaléka az apadás kezdetén a kollapszitoknál leírt módon egyszerre, hirtelen lerakódik. A további apadáskor azonban - a főmedertől eltérően - nem következik be a hordalékszállító képesség növekedése. Mivel a kisvíz már nem jut be a mellékágba, a lerakódás tovább folytatódik az álló, lassan áramló vizekből az ártéri finomanyag képződésénél leírt módon. A fokozatosan elpárolgó és elszivárgó vízből a homokos-kavicsos üledékek szemcséi közé agyagos kőzetliszt rakódik, amely teljesen eltömi a pórusokat. VERMES J.(1982) ezeknek a jellegzetes üledékeknek a kolmatit nevet adta. Ezek az agyagos cementálású kavicsok kiszáradáskor szinte beton keménységűvé válnak, s az újabb áradás szinte képtelen a kolmatitokat megbontani.

A kolmatitok a legrosszabban osztályozott folyóvízi üledékek (13e.ábra). Kummulatív görbájükön a pórusokat eltömő anyag hosszú "farokként" jelentkezik a finomabb szemcsetartományokban. A pórusok teljes eltöméséhez 5-10%-nyi kőzetliszt-agyag elegendő.

Feltárásokban a kolmatitok nagyon erősen kötött, szürke képződményként jelentkezik. A folyóvízi üledékösszetételben - a zátonyüledékeket részben helyettesítve - a kollapszitok és az ártéri finomanyagok között helyezkednek el.

Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a homokos-kavicsos üledékek eltömődése, kolmatációja az ártéri finomanyagok alatt is bekövetkezik, de mivel az ártereken nincs görgetett hordalék-lerakódás, így a pórusok eltömődése a vízzáró áradmányos fedőréteg alatt nem folytatódik. Az ilyen, átmeneti rétegnek is tekinthető kolmatit vastagsága csupán 10-50cm.

Az eddigiekből következik, hogy a kolmatitok vízzáró képződmények. A feltöltődött holtágak irányító-tagoló-szigetelő funkciót töltenek be az egyébként jó vízvezető képességű folyóvízi üledékösszletben.

A szigetközi Duna-szakaszra tervezett vízlépcső veszélyezteti a partiszűrés folyamatát. Az olyan üzemmód, amelynek során jelentős görgetetthordalék-szállítást előidéző vízhozamok váltakoznak erősen lelassult folyású, a lebegtetett hordalék kiülepedését lehetővé tevő időszakokkal, - a holtágakhoz hasonlóan - szükségszerűen bekövetkezik a kolmatitképződés. A medret lefedő, kolmatitos lerakódások pedig megakadályozzák a talajvíz utánpótlódását. A kolmatitok folyamatos kotrása pedig igen költséges, tekintve hogy magas finomanyag-tartalmuk miatt építőipari felhasználásra alkalmatlanok.

7. A Szigetköz folyóvízi üledékösszletének szerkezete

A Kisalföld süllyedése, valamint a vándorló, fonatos főmeder és a meanderező mellékágak feltöltő-elegyengető tevékenysége következtében a szigetközi folyóvízi üledékösszlet részben egymásba metsző, egymásra települő ciklusokból áll (14. ábra). Minden ciklus alsó része durvább mederüledékekből, felső része pedig zátonyüledékekből épül föl. A ciklust záró ártéri képződmények rendszerint hiányoznak, mivel az újabb ciklus kezdetekor többnyire letarolódnak. Csupán egy-egy vékonyabb ártéri üledék-fosztlány, illetve kolmatitos holtág-kitöltés marad meg.

Az üledékösszletnek ezt a ciklikus, szendvics-szerű szerkezetét a Mecsér és Győrzámoly térségében 1986-ban lemélyített sekélyfúrások is igazolták. Az elég sűrű hálóban telepített fúrások alapján azt tapasztaltam, hogy egy-egy ciklus vastagsága a Szigetközben 8-15m, és az egymás fölött lévő ciklusokban az egykori mederágak iránya teljesen eltérő is lehet. Voltak azonban olyan több ezer éves időszakok is, amelyekben a fonatos főmeder iránya lényegében változatlanul megőrződött. BERNÁTH Z.(1983) két ilyen egykori irányt mutatott ki a Szigetközben a kavicsfrakció aránya és a maxi-

mális kavicsméret alapján. Az egyik főmedernyom Dunakilititől húzódik Kimle felé, a másik pedig Ásványrárótól tart Győrújfalú irányába. Ezeknek a durva mederüledék-vonulatoknak kitüntetett szerepük van a szigetközi talajvíz áramlásában.

Összefoglalásként megállapítható, hogy a Szigetköz folyóvízi üledékösszletében nincsenek jelentős vízzáró képződmények. A kialakult talajvízrendszer fenntartásához az Öreg-Duna talajvíz-tápláló szerepét kell megőrizni. Meg kell akadályozni a partiszűrést gátló vízrekesztő képződmények lerakódását a főmederben.

IRODALOM

- BENDEFY L. 1964: Magyarország geokinetikai és kéregszerkezeti viszonyai a megismételt szabatos szintezések eredményei alapján. - Acta Geol. 8(1-4): 395-411.
- BERNÁTH Z. et al. 1983: Felsődunavölgyi kavicskataszter II. Győr-Rajka közötti terület. - Földt. Int. Adattár, kézirat.
- BETHLEN A. gróf 1893: A Felső-Duna szabályozása. - Vízügyi Közlem. 7: 134-158.
- BILLI P. 1988: Morfologie fluviali. - Giorn. di Geol. ser. 3a 50(1-2): 27-38.
- BOGÁRDI J. 1956: A mederállandóságra és a hordalékmozgásra vonatkozó vizsgálatok. - MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. 19(4): 361-375.
- BOGÁRDI J. 1971: Vízfolyások hordalékszállítására. - Akad. Kiadó, Budapest
- BOGNAR S. (szerk.) 1987: Computation of river flow and bed-load transport. - VITUKI Közl. 46.
- CSOMA J. 1964: A folyószabályozás új feladatai. - Vízügyi Közl. 46(3): 444-454.
- CSOMA J. 1965: A Felső-Dunára vonatkozó tanulmányok értékelése. Az egyseges főmeder kialakítását célzó vizsgálatok. - Beszámoló a VITUKI 1962. évi munk.: 172-184.
- CSOMA J. 1968a: A dunai vízerőműrendszer hatása a hordalékviszonyok alakulására. - Beszámoló a VITUKI 1966. évi munk.:
- CSOMA J. 1968b: A felső-dunai mellékágrendszer mederváltozása. - Földr. Ért. 17(3): 309-323.
- CSOMA J. (szerk.) 1971: Vízrajzi Atlasz Sorozat. 11. Duna. - VITUKI kiadv.
- ERDELYI M. 1979: A Kisalföld hidrogeológiája és hidrodinamikája. - Hidrol. Közl. 59(7): 290-301.
- FRANYÓ F. 1967: A negyedkori rétegek vastagsága a Kisalföldön. - Földt. Int. Évi Jel. 1965-ről: 443-458.
- JAKUCS L. et al. 1982: Jelentés a "Magyarország természeti erőforrásainak műholdas kutatása" c. téma 1981-es munkafázisának teljesítéséről. V. A Kis-Alföldről készült Landsat felvételek földtudományi értékelése. - Földt. Int. Adattár, kézirat.
- JASKO S. 1990: A Duna-völgy neotektonikájának építésföldtani és környezetvédelmi vonatkozásai. - Földt. Kut. 33(4): 45-59.
- JOÓ I. et al. 1979: Map of recent vertical crustal movements in the Carpatho-Balkan region. - Cartogr. Inst., Budapest.
- KÁDAR L. 1960: Hordalékmozgás és folyószakaszjelleg. Vita Dr. Kádár László elméletéről. - Földr. Ért. 9(3): 309-379.
- KÁROLYI Z. 1951: A felső-dunai hordalék tanulmányok eddigi eredményei. - Vízügyi Közl. 33(1):
- KÁROLYI Z. 1953: A folyami hordalék mennyiségi csökkenése kopás következtében. - Vízügyi Közl. 35(3):
- KÁROLYI Z. 1957a: A Felső-Duna feltöltődő szakaszán észlelhető kavicslerakódás mennyiségének meghatározása. - Vízügyi Közl. 39(3): 169-190.
- KÁROLYI Z. 1957b: A dunai hordalék vizsgálatok eredményeiből leszűrhető morfológiai következtetések. - Földr. Ért. 6(1): 11-27.
- KÁROLYI Z. 1960: Zátonyvándorlás és gázlőalakulás - különös tekintettel a magyar Felső-Dunára. - Hidrol. Közl. 40(5): 349-358.
- KEZ A. 1958: Hogyan mozog a kavics a vízfolyás medrében? - Földr. Ért. 7(3): 356-359.

- LANG S. 1945: Néhány példa a törmelékkúp keletkezésére. - Fölldr. Zsebkönyv. A Magy. Fölldr. Társ. kiadv.: 135-149.
- LEEDER M. R. 1982: Sedimentology. Process and Products. - London.
- MANGELSDORF J.-SCHEURMANN K.-WEIS F. H. 1990: River Morphology. - Springer-Verlag, Berlin.
- MISKOLCZI L. 1973: Kéregmozgások vizsgálata szabatos szintezésekkel. - Akad. Kiadó, Budapest.
- NAGY L.-REMEYI P. 1988: A bős-nagymarosi vízlépcsőrendszer környezeti hatástanulmánya. - Vízügyi Közl. 70(4): 490-513.
- NEMES K. (szerk.) 1972: Cartographia Hungarica. Magyarország térképei a XVI. és XVII. században faksimile kiadásban. - Cartographia, Magyar Helikon, Budapest.
- ORI G. G. 1988: Facies e geometrie deposizionali dei sedimenti fluviali. - Giorn. di Geol. ser. 3a 50(1-2): 39-67.
- PECSI M. 1959: A negyedkori tektonikus mozgások mértéke a Duna-völgy magyarországi szakaszán. - Geofiz. Közl. 8(1-2): 73-83.
- PUSPÓKI NAGY P. 1985: A Csallóköz vízrajzi képeinek története Strabón Geógraphikájától IV. Béla király koráig. - Uj Mindenes Gyűjtemény 4: 63-124. Madách Kiadó, Bratislava
- RÁKÓCZI L. 1975: Vegyes szemcseösszetételű hordalék kritikus sebességének meghatározása. I-II. Hidrol. Közl. 55(11): 481-486.
55(12): 542-550.
- RÁKÓCZI L. 1981: A mederpáncélozódás kutatása a folyószabályozás szolgálatában. - VITUKI Közl. 30: 12-14.
- RÁKÓCZI L. 1989: Vízlépcsők hatása a hordalék és mederviszonyokra. - Vízügyi Közl. 71(1): 5-24.
- RATÓTI B. 1964: Néhány adat a folyók medermenti természetes felmagasításáról. - Fölldr. Ert. 13(1): 109-112.
- RONAI A. 1960: Vízföldtani tanulmány a Kisalföldről. - Hidrol. Közl. 40(6): 470-484.
- RONAI A. 1973: A negyedkori kéregmozgások térképe Magyarországon. - Geonómia és Bányászat. MTA X. Oszt. Közl. 6(1-4): 241-243.
- RONAI A. 1986: A magyarországi kvarter képződmények kifejlődése és szerkezeti helyzete. - Földt. Közl. 116(1): 31-43.
- ROSSZINSZKI J. I.-KUZMIN I. A. 1956: A mederalakulás törvényszerűségei. - MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. 19(4): 339-350.
- SCHAREK P. et al. 1991: A Kisalföld földtani térképsorozata. Győr-Eszak, Mosonmagyaróvár. Magyarázó. - Földt. Int. kiadv.
- SOMOGYI S. 1961: Hazánk folyóhálózatának fejlődéstörténeti vázlata. - Fölldr. Közl. 85(1): 25-50.
- STELCZER K. 1966: Hordalékos folyók szabályozásának néhány kérdése. - Beszámoló a VITUKI 1964. évi munk.: 153-169.
- STELCZER K. 1980: A görgetett hordalék mozgása. I-II. - Vízügyi Közl. 62(1): 5-27., 62(2): 168-187.
- STRÖMPL G. 1945: Az Alföld vándorló folyói. - Fölldr. Zsebkönyv. A Magy. Fölldr. Társ. kiadv.: 86-95.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1938: Geologie der rumpfungarischen Kleinen Tiefebene. Soproni Bányamérnöki Kar Közl., Sopron.
- TOROK E. 1986: A Duna kisalföldi valamint középhegységi szakaszán felhalmozott durva üledékének műszaki kőzettani mutatói a földtani adottságok tükrében. Összefoglaló kutatási jel. - Földt. Int. Adattár, kézirat.
- TÖRY K. 1956: A magyar víziutak jégviszonyai és gázlói. - Vízügyi Közl. 38(3): 300-315.
- TRENKÓ Gy. 1910: A folyók elzárnyosodásának és kanyargásának Lóczy-féle törvényei. - Fölldr. Közl. 38(9): 389-392.
- VERMES J. 1982, 1984: Vízvezető porózus litofáciaseink vízföldtani jellemzőinek albumszerű összefoglalása. I-II. - Földt. Int. Adattár, kézirat.
- ZORKOCZY Z. 1969: A Felső-Duna szabályozása. - Vízügyi Közl. 51(1): 54-91.



TECTONIC AND SEISMOLOGICAL PROBLEMS
IN CONNECTION WITH THE CONSTRUCTION OF DAMS
ON THE DANUBE

The construction of the joint Czechoslovak-Hungarian dam system Gabčíkovo(Bős)-Nagymaros on the river Danube seems rather problematical from a tectonic point of view, especially on the Hungarian side at Nagymaros. The problems of the Nagymaros dam arise from the inadequacies of geological planning, namely:

- 1) Detailed geological and geophysical survey has not been made outside a restricted area of the dam site. No sufficiently deep boreholes have been drilled.
- 2) The Seismological Observatory of the Hungarian Academy of Sciences (only competent institution of the country in seismological questions) has not been requested to prepare his report on the earthquake risk of the area.

These insufficiencies would not raise worrying problems if the site were not a fractured, possibly tectonically active area.

- . -

A preliminary geological survey has been carried out by the State Institute of Geology in Hungary in 1980. This study demonstrated that the site and its surroundings are tectonically disturbed with extensive faulting. Image processing of spacecraft photos show large-scale extension of the faults. The summary of the final report of the study called attention to the necessity of further geological investigations in order to ensure the optimal choice of the site. The most important points should have been the detailed analysis of the fault system and geodetic work on recent crustal movements. There is no indication of such studies.

The further survey, made since 1980, has been only of engineering character, just to prepare the dam foundations. This survey has been coordinated by the Hydrological planning institute VIZITERV. The geological conclusions drawn by their reports are similar to those of the preliminary studies.

The close examination of the river bed, exposed by the dam construction at the beginning of this year, confirmed the earlier findings. The fractured blocks of the river bed exhibit all the main rock types of the surrounding mountainous area which has been uplifted since the upper miocene. The blocks have undergone different uplift, slipping with respect to each other on oblique fault planes. The statistics of the fault directions show that they scatter around four main orientations. Since only two of them may act at a time, this suggests that the present block structure is the result of long-lived movements. If this process has not yet come to an end, the continuing displacements, mainly those which are nearly horizontal, may be dangerous to the dam.

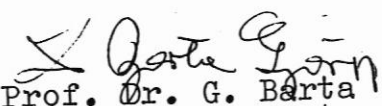
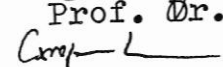
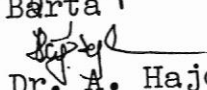
- . -

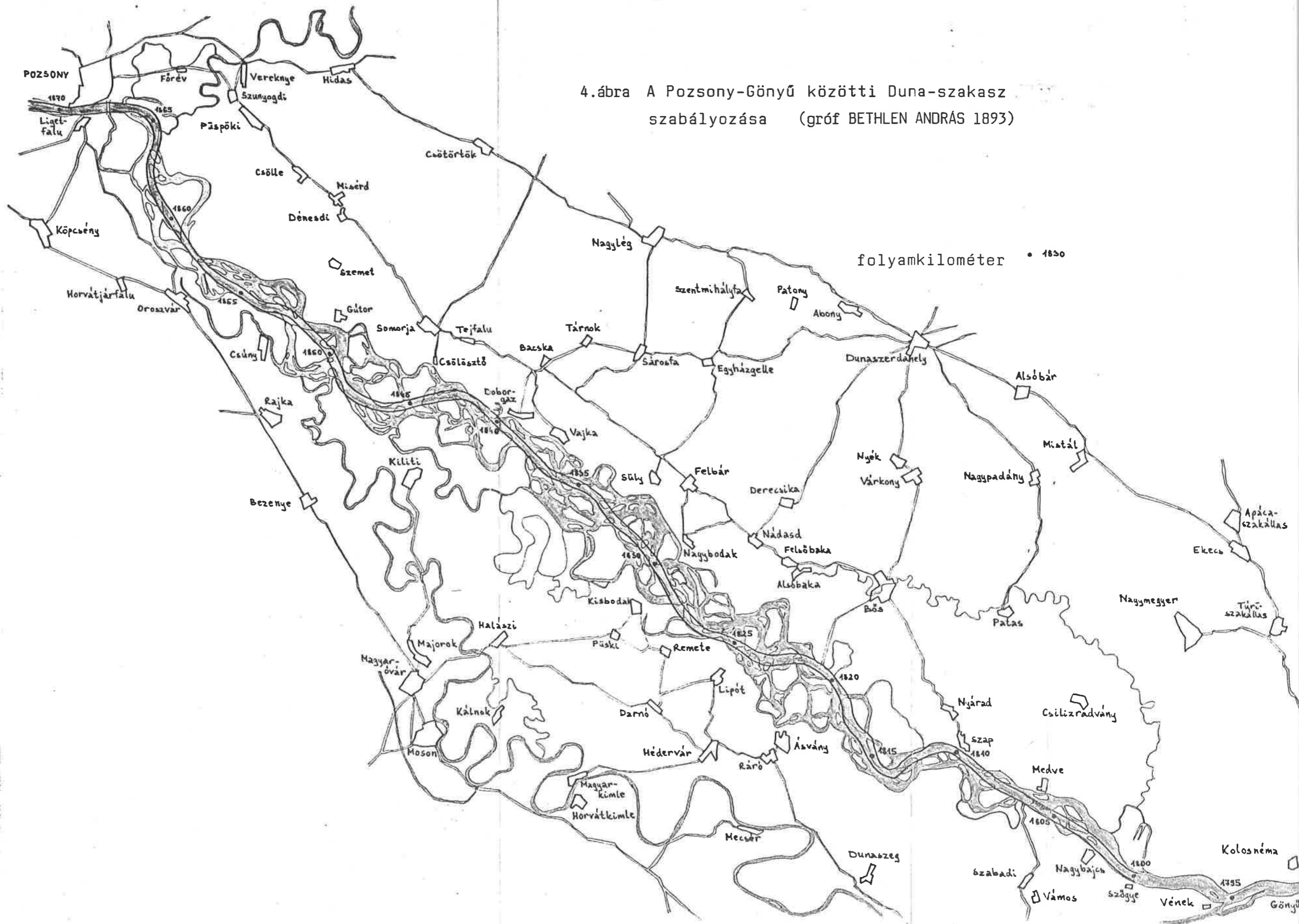
Tectonic movements are accompanied with more or less vigorous earthquake activity. So, together with the detailed analysis of the tectonic setting, it would be indispensable to have a reliable estimation of the earthquake risk of the area. The Hungarian Seismological Observatory was not invited to prepare his report on the seismic risk of the dam system. An engineering institute (the one mentioned above, VIZITERV) carried out calculations on the safety of the dams against earthquakes. Some of the results have been published in a Hungarian

periodical (Vízügyi Közlemények, vol. 69, 1987, pp. 184-205). This publication contains errors. The most serious one is that the safety measures are based on an out-dated table of earthquake intensities, and this table scales down the horizontal accelerations corresponding to most intensity levels by a factor of 4 or 5 (as compared to recent standards, e.g. Manual of seismological observatory practice, publ. by World Data Center A for Solid Earth Geophysics, 1979). This means that the VIZITERV publication takes into account much smaller earthquake shaking than it can be expected, and, consequently, the safety of the planned dams cannot be guaranteed at the stated level. On the other hand, an appropriate seismic risk evaluation and corresponding safety planning would require further, more elaborate methods than those presented in any available report. (It must not be forgotten that any serious damage to the Nagymaros dam threatens the most densely populated area of Hungary, including the capital.) It is not known for example, how the geological formations, rocks, faults etc. which serve as natural foundations of the dam, will react to the rise of the water level and to the load of the dam. These factors can possibly increase the seismic risk.

Summarizing: it seems to be a well-grounded suspicion, that the construction of the Nagymaros dam is more dangerous from the seismotectonic point of view than it has so far been declared, on the basis of insufficient investigations. Therefore the construction should be stopped at least temporarily until the worrying tectonic problems find their solutions. The possibility that this solution will demonstrate the instability of the Nagymaros site for dam construction can not be excluded.

Budapest, 5th May 1989


Prof. Dr. G. Barta

Dr. L. Cserepes

Dr. A. Hajósy



4. ábra A Pozsony-Gönyű közötti Duna-szakasz szabályozása (gróf BETHLEN ANDRÁS 1893)