

# ZHODNOTENIE REŽIMU PLAGENÍN NA SLOVENSKOM ÚSEKU TOKU DUNAJ

Ing. Mária Borodajkevyčová (SHMÚ)

V tomto článku sa budeme venovať spracovaniu a vyhodnoteniu suspendovaných látok na Dunaji za celé pozorovacie obdobie 1993 – 2014. SHMÚ vykonáva pravidelné denné odbery plavenín na Dunaji v troch vodomerných staniách – Bratislava, Medveďov a Komárno (1995-2014). Pri samotnom hodnotení mútnosti, odtoku a prietoku plavenín, nesmie sa zabúdať na hodnotenie zanášania vodných nádrží suspendovanými látkami. Ich ročné objemy predstavujú v podmienkach riečnej siete Slovenska 8 až 10 násobok ročného objemu splavenín (Kališ, Bačík, 1983). Výsledky tohto 22 ročného hodnoteného obdobia umožňujú hodnotiť transport a sedimentáciu plavenín v rámci určité úseku jedného toku - od Bratislavy až po Komárno.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: plaveniny, mútnosť, prietok plavenín, odtok plavenín

NADPIS V ANGLICKOM JAZYKU. Abstrakt v anglickom jazyku (9 pt Time New Roman, Regular, 5-10 riadkov) text

KEY WORDS: 3-5 slov

## Úvod

Povrchová voda, ktorá prichádza z povodia do recipientu, nesie so sebou v dôsledku kinetickej energie určité množstvo pohybujúceho sa dnového materiálu - splavenín a jemného rozptýleného suspendovaného materiálu – **plavenín**. Plaveniny sú produktom erózie nielen z povodia ale aj erózie vo vlastnom koryte. V čase malých vodností bezzrážkového obdobia pochádzajú plaveniny väčšinou len z vlastného riečišťa [1]. V zrážkovom období, alebo v čase topenia snehu, prebieha erózia v celom povodí. Ich množstvo je ovplyvnené nielen hydrologickými a hydraulickými podmienkami, ale aj hydrogeologickými a fyzickogeografickými pomermi povodí, čo predurčuje jeho vysokú neistotu a variabilitu.

**Plaveniny** sú jemnozrnné častice (zrná), tvorené anorganickými a organickými látkami, ktoré sú unášané v suspenzii turbulenciou prúdu, rozmiestnené v celom profile a pohybujú sa približne rovnakou rýchlosťou ako je rýchlosť vody. Sedimentácia plavenín nastáva pri určitom znížení rýchlosti ( $v < 0,3 \text{ ms}^{-1}$  – zjednodušujúci predpoklad), (manuál ASCE, 1977) [2].

Ku komplexnému zhodnoteniu povodia patrí aj **sedimentačný proces v oblasti vodných diel** t.j. miera zanášania nádrží a zmeny morfológie koryta toku.

V tomto článku sa budeme venovať analýze **režimu plavenín na Dunaji**, na základe spracovania a vyhodnotenia suspendovaných látok za celé pozorovacie obdobie 1993 – 2014, cez grafické spracovanie denných mútností, priemerných mesačných mútností, priemerných mesačných dlhodobých mútností, prietokov plavenín a odtokov. V ďalšej kapitole budeme venovať pozornosť **vplyvu povodní** (v roku 2002 a 2013) na presun a usadzovanie plavenín v toku a v nádrži.

## Metóda spracovania

Vzorky plavenín sú odoberané vo vodomerných staniách. Odbery plavenín vykonávajú dobrovoľní pozorovatelia v jednej zvolenej zvislici, spravidla pri brehu, 1 x denne, počas povodňovej situácie a v prípade mimoriadnych mútností aj viackrát za deň. Odber vzorky sa prevádza vzorkovačom, ktorý sa skladá z dvoch častí - z odberného zariadenia a vzorkovnice. Odberné zariadenie je tvorené hydrodynamickým nastavcom s prírodnou a odvzdušňovacou trubicou, ktorý sa našroubuje na hrdlo vzorkovnice a odberovým držiakom s rúčkou cca 2 m dlhou. Vzorkovnicou je PE fľaša so širokým hrdlom o objeme 1 liter, ktorá slúži aj na prepravu vzoriek.

Metodika spočíva v stanovení nerozpustných látok cez membránový filter (SYNPOR) s priemerom 50 mm typ- acetátcelulózový s hustotou 0,45  $\mu\text{m}$ .

Pri laboratórnom spracovaní sa používala norma ČSN 830 530 – časť 9, z roku 1978, neskôr bola nahradená normou ČSN- EN 872 (757349) z roku 1998: Jakost vod – Stanovení nerozpuštených látok.

## Plaveninový režim na Dunaji

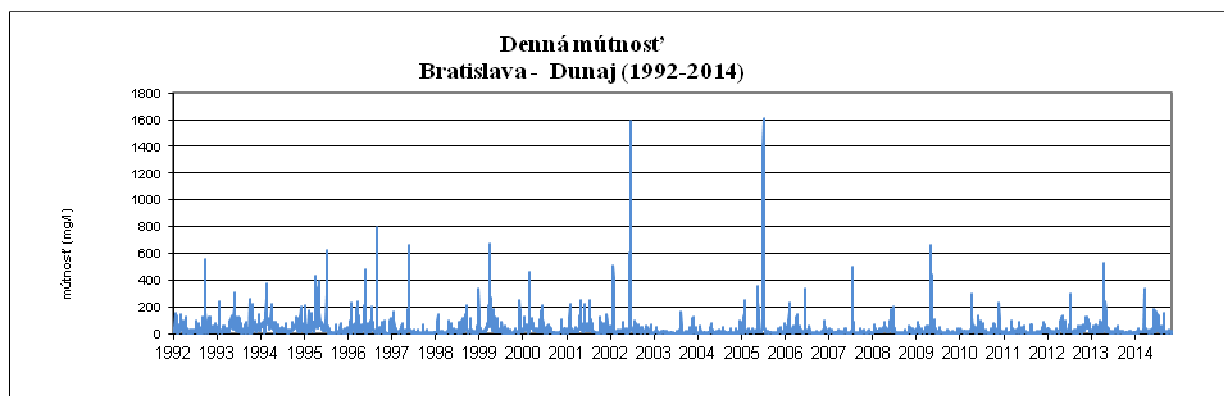
Transport sedimentov v koryte toku Dunaj je definovaný morfológiou povodia, hydrologickým režimom toku a rýchlostnými pomermi prúdenia v koryte. Odrazom týchto činností sú štrkové vrstvy v príbrežnej zóne toku, ktoré vypovedajú o intenzívnom sedimentačnom procese v toku a rozsiahlych morfológických zmenách v koryte.

SHMÚ vykonáva pravidelné odbery plavenín **na Dunaji** od roku 1992 v dvoch vodomerných staniách – Bratislava, Medveďov a od 1995 roku v Komárne. V tomto článku sa budeme venovať spracovaniu a vyhodnoteniu suspendovaných látok v týchto staniách od začiatku pozorovania až po rok 2014. Výsledky tohto 22 ročného hodnoteného obdobia umožňujú hodnotiť transport a sedimentáciu plavenín v rámci určitého úseku jedného toku – od Bratislavy až po Komárno.

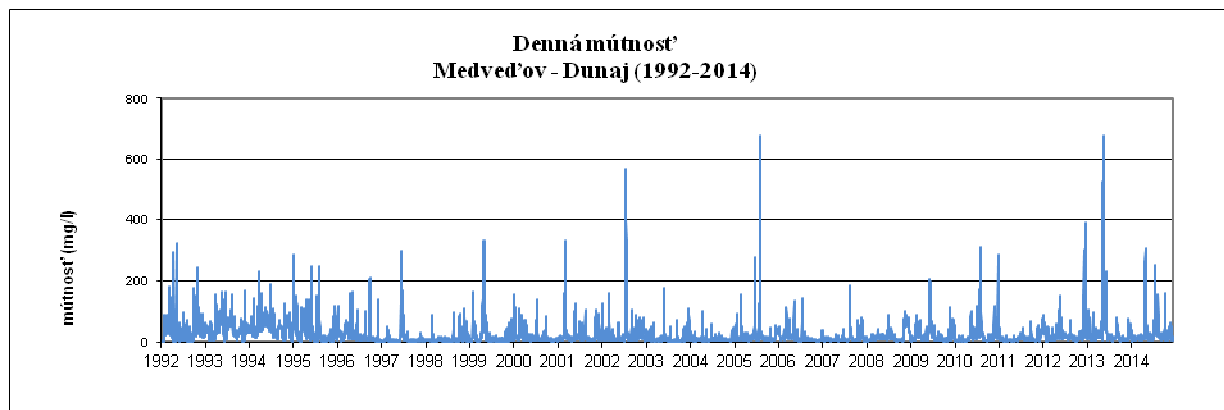
Výsledky odberov plavenín tvoria základ ďalších hydrologických spracovaní, ktorých konečným cieľom je dať odpoveď na otázky o režime plavenín na Dunaji a jeho prítokoch za rozličné časové obdobie.

### Denná mútnosť (koncentrácia plavenín) C ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) (obr.č.1-3)

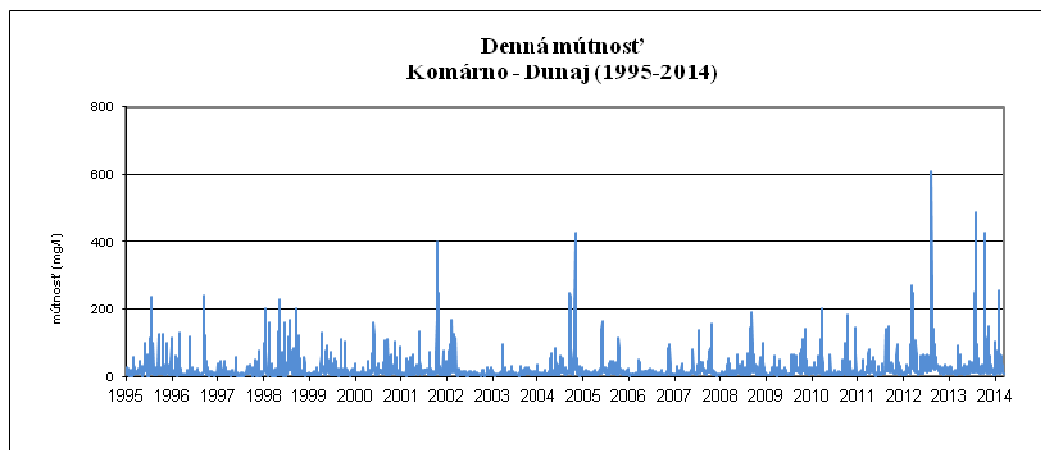
Kvantitatívnym vyjadrením zastúpenia plavenín v riečnej vode je **mútnosť**, t.j. hmotnosť nerozpustenej látky v objemovej jednotke zmesi vody a plavenín.



Obr.1



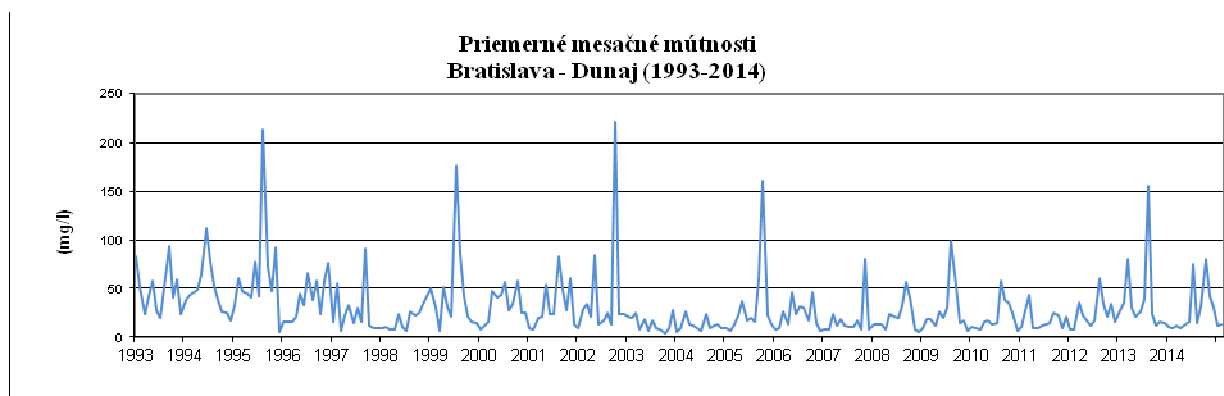
Obr.2



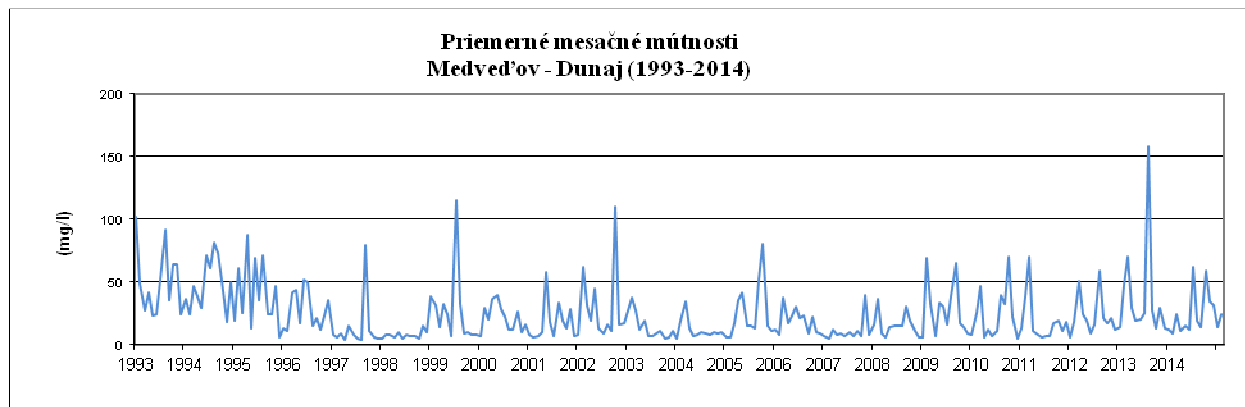
Obr.3

C denné.priem.BA = 30,82 ( mg .l <sup>-1</sup> )	C denné max.BA = 1614,0 ( mg .l <sup>-1</sup> )
C denné.priem.ME = 25,00 ( mg .l <sup>-1</sup> )	C denné max.ME = 680,0 ( mg .l <sup>-1</sup> )
C denné.priem.KO = 17,88 ( mg .l <sup>-1</sup> )	C denné max.KO = 608,5 ( mg .l <sup>-1</sup> )
C denné min.BA = 0,10 ( mg .l <sup>-1</sup> )	
C denné min.ME = 0,08 ( mg .l <sup>-1</sup> )	
C denné min.KO = 0,40 ( mg .l <sup>-1</sup> )	

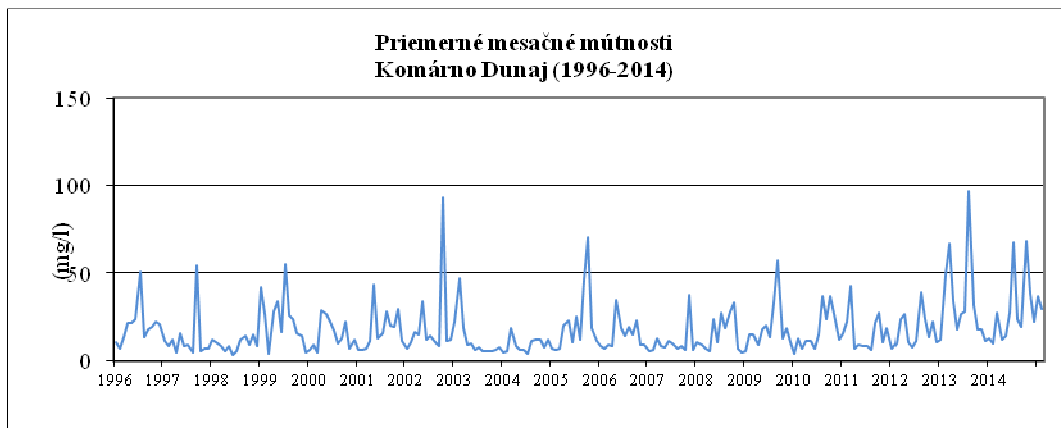
**Priemerná mesačná mútnosť Cmes. ( mg .l<sup>-1</sup>) (Obr.č.4-6)**



Obr.4



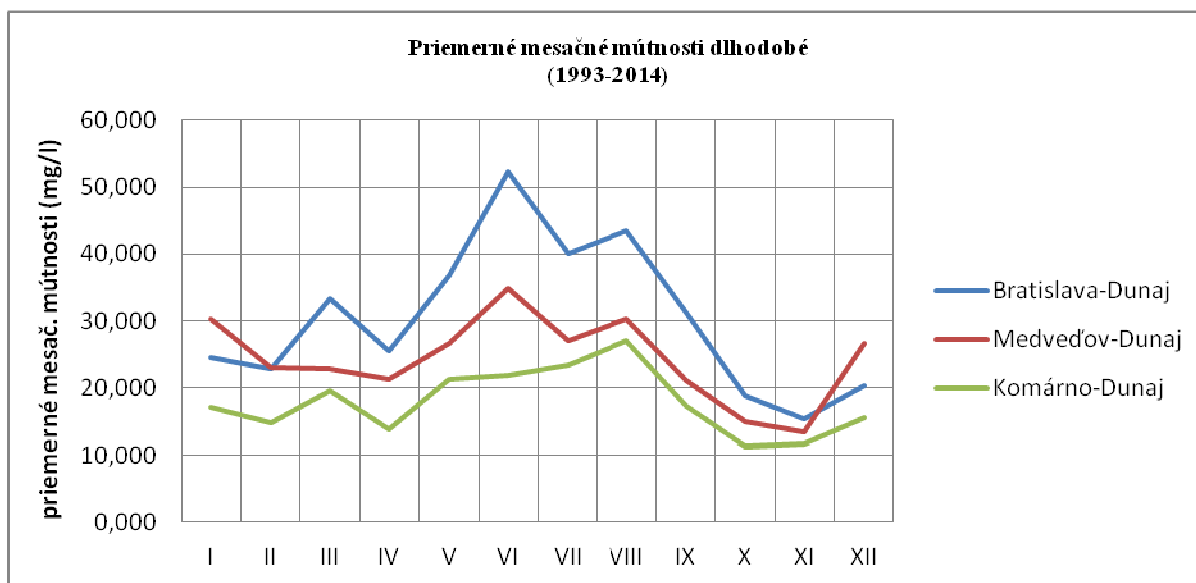
Obr.5



Obr.6

**Priemerná mesačná dlhodobá mútnosť (Obr.č.7)**

Z obrázku, kde je znázornené časové rozloženie ročného chodu priemerných mesačných hodnôt, možno vidieť, že maximálne priemerné mesačné dlhodobé hodnoty obsahu plavenín, za obdobie 1993–2014, boli v mesiacoch **jún a august**.



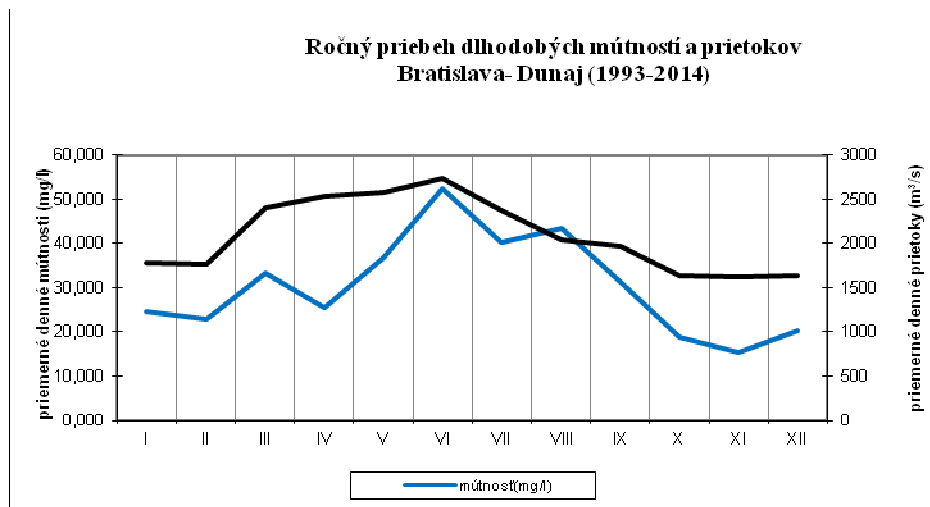
Obr.7

C priem.mes.dlh.max.BA = 52,3 mg .l<sup>-1</sup> (VI.)

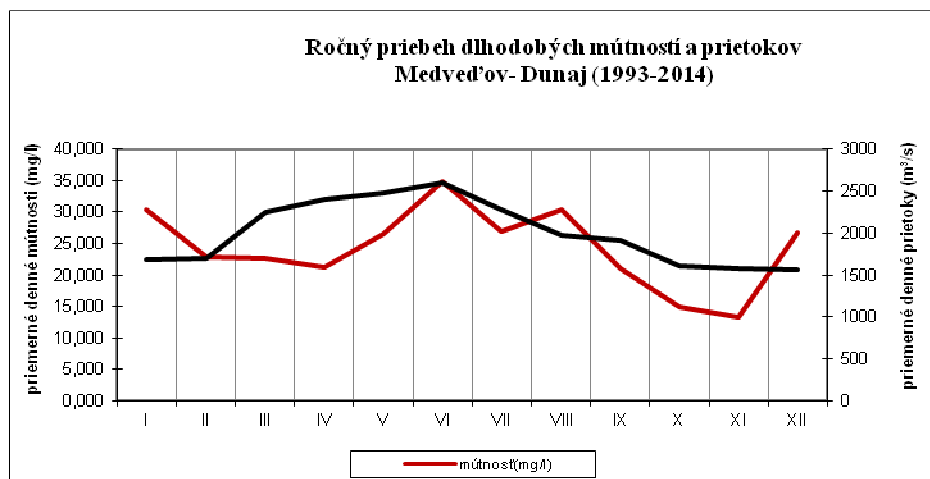
C priem.mes.dlh.max.ME = 34,8 mg .l<sup>-1</sup> (VI.)

C priem.mes.dlh.max.KO = 27,1 mg .l<sup>-1</sup> (VIII.) a 21,9 mg .l<sup>-1</sup> (VI.)

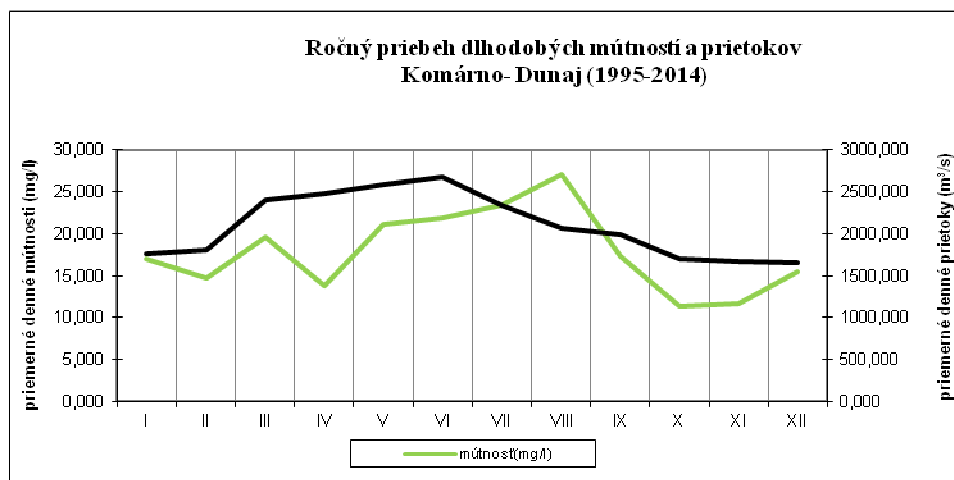
**Ročný priebeh dlhodobých mútností a prietokov vody (Obr.č.8-10)**



Obr.8



Obr.9



Obr.10

Na obr. č. 8-10, pozorujeme, že priebeh mútností s priebehom prietokom vody zhruba navzájom korešponduje, pričom maximálne hodnoty mútnosti v stanici Bratislava a Medveďov sa vyskytli práve pri maximálnych hodnotách prietokov vody (v júni). Pri poklese vody v toku dochádza zároveň i k postupnému poklesu mútnosti. V staniách situovaných pod VDG je vidieť posun maximálnych mútností oproti maximálnym prietokom.

### Denný prietok plavenín (Obr.č.11-13)

Prietok plavenín je veličina, ktorá informuje o pretečenom množstve plavenín daným profilom za zvolenú časovú jednotku. Je závislá od koncentrácie plavenín a prietoku vody.

Denný prietok plavenín:

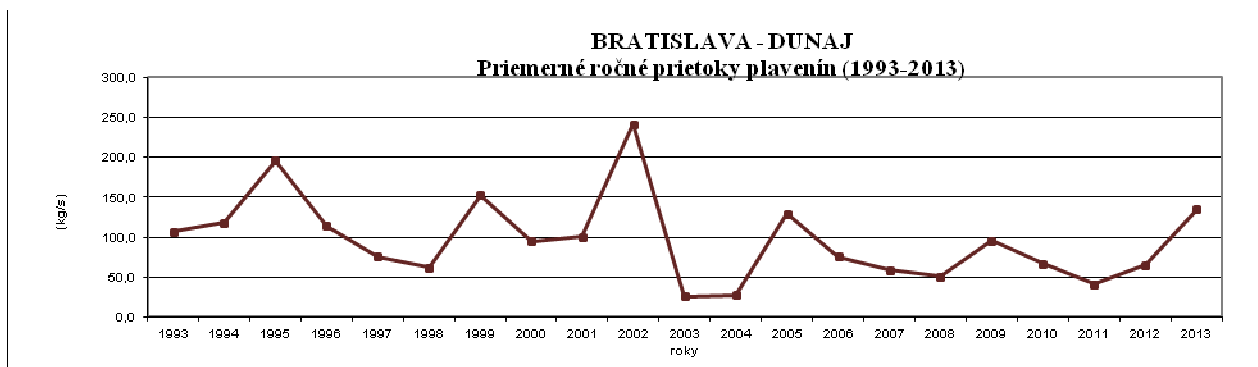
$$Q_{pl} \text{ (kg.s}^{-1}\text{)} = Q \cdot C \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

kde

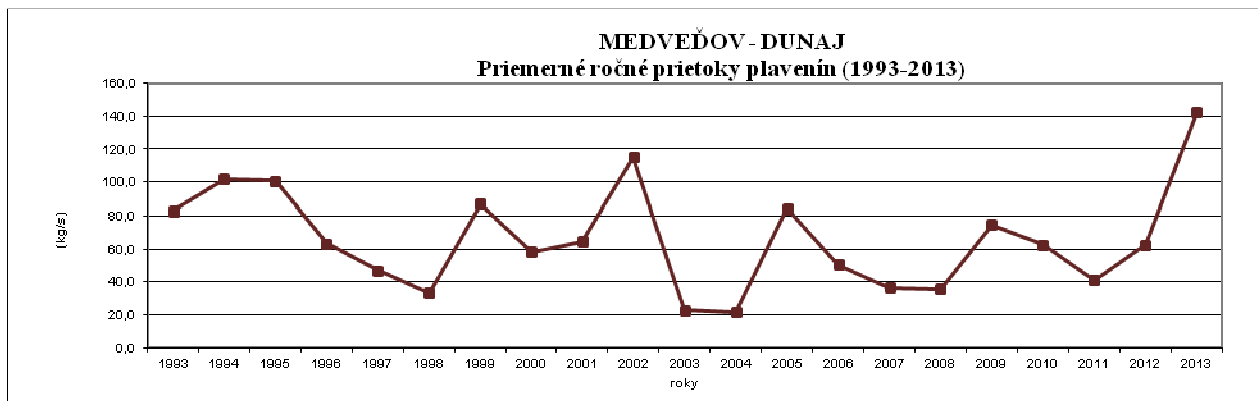
Q - priemerný denný prietok vody v  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

C - priemerná denná koncentrácia plavenín v  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$

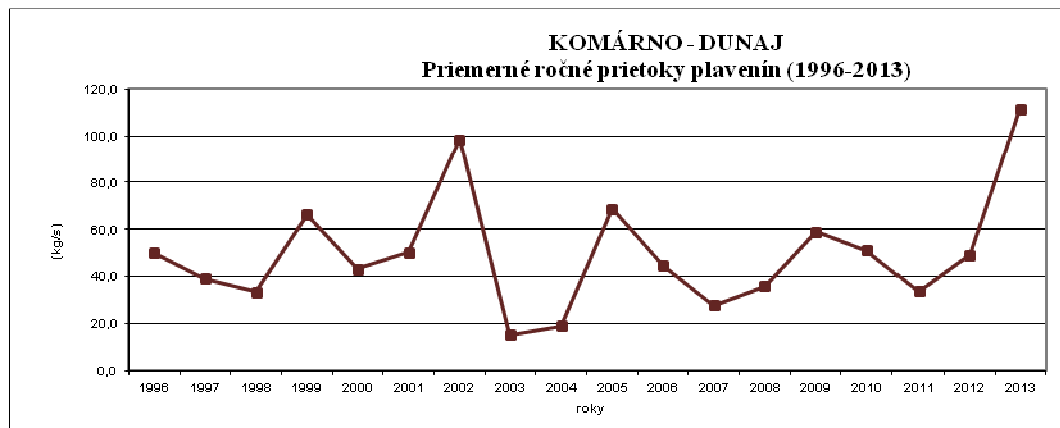
Pri riešení niektorých vodohospodárskych problémov sa požadujú priemerné mesačné prietoky plavenín, ktoré najlepšie vystihujú rozdelenie odtoku plavenín v roku.



Obr.11



Obr.12



Obr.13

Vyhodnotenie **priemerných ročných a mesačných hodnôt** je skreslené výskytom extrémnych hodnôt, ktorých výskyt nie je vždy závislý len na veľkosti prietoku vody, ale aj na rýchlosti zmeny prietoku, s čím súvisí aj zmena rýchlosti prúdenia vody [3].

Priemerné ročné hodnoty **prietoku plavenín** bývajú vo veľkej miere ovplyvnené množstvom a ročnou dobou, v ktorej sa vyskytujú povodňové vlny. Čo je však dôležité vedieť je, že so zvyšovaním prietokov vody sa zvyšuje aj koncentrácia plavenín, čo súvisí s uvedenými podmienkami tvorby plavenín.

#### Odtok plavenín (Obr.č.14-16)

Odtok plavenín je veličina, ktorá informuje o hmotnosti plavenín pretečených daným profilom za zvolenú časovú jednotku (deň, mesiac, rok). Je to veličina, ktorá najnázornejšie vypovedá o unášacích i sedimentačných procesoch prebiehajúcich v toku. Odtok plavenín je tiež funkciou odtečeného prietoku vody a koncentrácií plavenín (viď.vzorec č.1). Odtok plavenín rovnako ako obsah plavenín je veľmi variabilný [3].

Denný odtok plavenín:

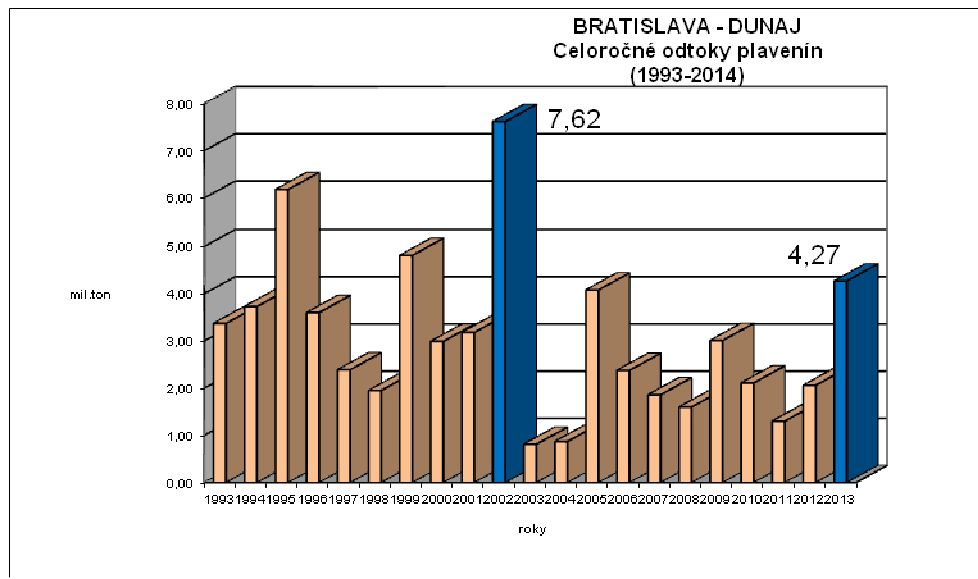
$$G_{pl}(t) = Q_{pl} \cdot 86,4 \quad (2)$$

kde

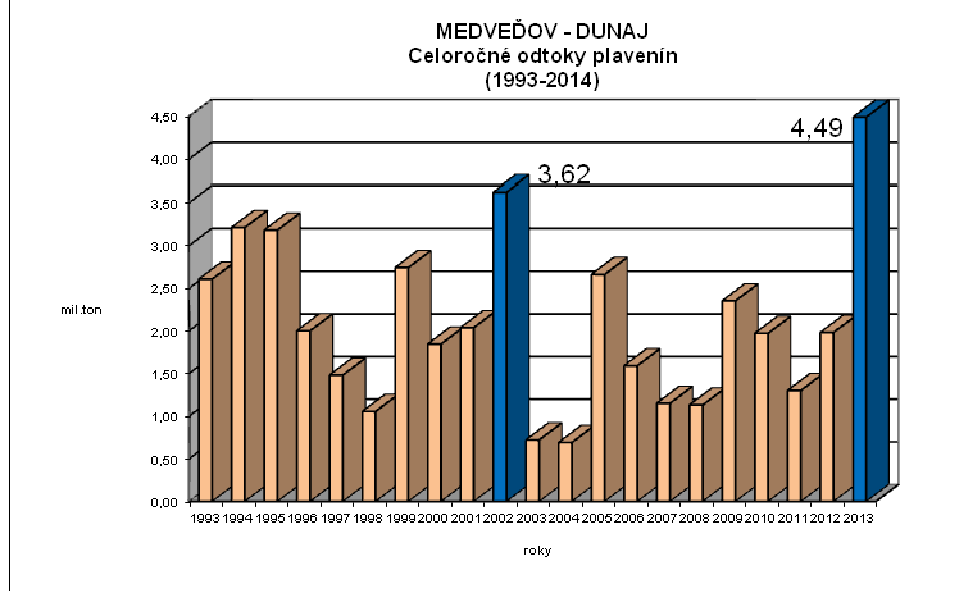
$Q_{pl}$  - prietok plavenín v  $kg \cdot s^{-1}$

Ročný odtok plavenín:

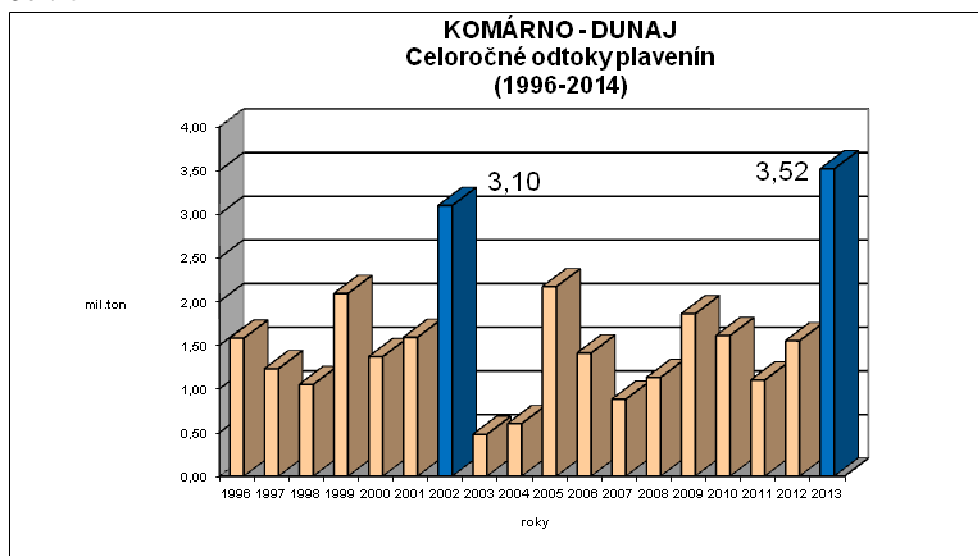
$$G_{proč.}(t) = \sum_{k=1}^{365} G_{pl} \quad (3)$$



Obr.14



Obr.15



Obr.16



Tabuľka.1

Stanica:	Bratislava-Dunaj	Medved'ov-Dunaj	Komárno-Dunaj
Ročný odtok plavenín v roku 2002 (mil. ton)	7,62	3,62	3,10
Ročný odtok plavenín v roku 2013 (mil. ton)	4,27	4,49	3,52

### Vplyv povodne na pohyb plavenín po toku. (povodne v roku 2002,2013, obr.č.17-22)

Pri samotnom hodnotení a spracovaní mútnosti, odtoku a prietoku plavenín, (v každoročných ročenkách „Plaveniny“ nesmie sa zabúdať na hodnotenie zanášania vodných nádrží suspendovanými látkami. Ich ročné objemy predstavujú v podmienkach riečnej siete Slovenska 8 až 10 násobok ročného objemu splavenín (Kališ, Bačík,1983).

Veľké vody, ktoré majú rozhodujúci vplyv na režim plavenín, nemôžeme však porovnávať podľa mesačných priemerov, rozhodujúce sú **prietoky**, na ktorých možno sledovať tak **priebeh a trvanie povodne**, ako aj jej **vrchol**. Vlastnú kulmináciu povodne nie je možné stanoviť s dostatočnou presnosťou na základe priemerných denných prietokov. Na hodnotenie povodňovej vlny, jej kulminácie a priebehu sa ako vstupné údaje používajú hodinové prietoky, pričom samotná kulminácia je presne zachytená z 15-minútových intervalov a priradená k najbližšej celej hodine. Túto možnosť nám poskytujú automatické stanice s digitálnym záznamom, ktorými sú vybavené všetky vodomerné stanice štátnej hydrologickej siete. Veľké vody sú charakteristické kulminačným prietokom, časovým opakovaním a výskytom počas roka, v zimnom a vegetačnom období.

Povodne v letnom období sa na tokoch obvykle náhle dostavujú aj rýchle klesajú. V prípade veľkého toku, akým je Dunaj je priebeh (aj letných) povodní pozvoľnejší, ale napriek tomu majú veľký, ba priam rozhodujúci vplyv na režim plavenín v toku, lebo odnesú väčšie percento celoročného odtoku plavenín. Tento poznatok najlepšie potvrdzujú údaje z povodne, ktorá bola v roku 2002 a 2013.

Keď porovnáваме hodnoty celoročne odtečeného množstva plavenín v staniách Bratislava, Medved'ov a Komárno, možno pozorovať, že dochádza k postupnému znižovaniu hodnôt prietoku i odtoku plavenín po toku. Tento jav je spôsobený vybudovaním vodného diela Gabčíkovo. Vodné diela obecné ovplyvňujú a často podstatne menia prirodzený plaveninový režim, a to najmä pod väčšími nádržami, v ktorých dochádza k intenzívnemu usadzovaniu plavenín, nastáva vyrovnanie odtokov plavenín a značný pokles maximálnych hodnôt mútností.

Z grafického znázornenia je vidieť, že hlavne za povodne v roku 2002 sa značné množstvo plavenín usadilo v nádrži - takmer polovica množstva, ktoré odtieklo z profilu Bratislava.

K potvrdeniu tejto skutočnosti nám poslúžia aj namerané hodnoty max.mútností v oboch profiloch za uvedených povodní. V roku 2002 bola nameraná max. denná mútnosť:

- Bratislava 1588,00 mg .l<sup>-1</sup>
- Medved'ov 568,50 mg .l<sup>-1</sup>
- Komárno 400,00 mg .l<sup>-1</sup>

V roku 2013 bola nameraná max. denná mútnosť:

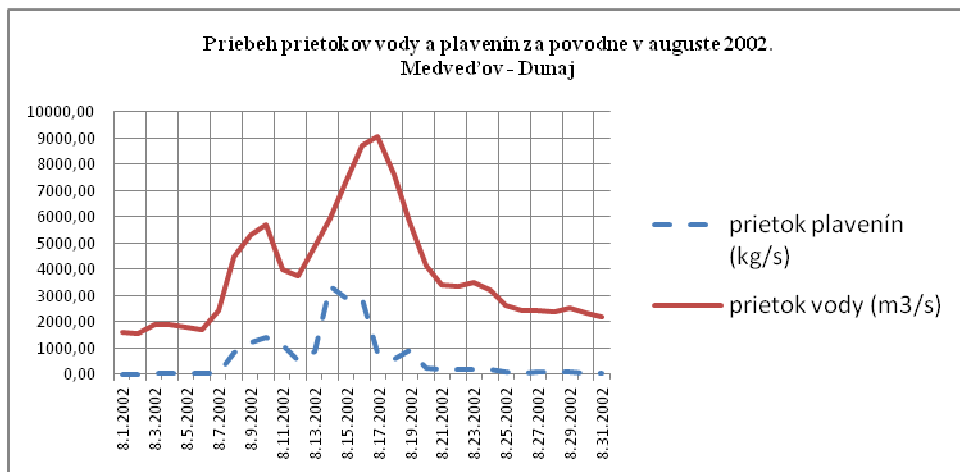
- Bratislava 533,00 mg .l<sup>-1</sup>
- Medved'ov 680,00 mg .l<sup>-1</sup>
- Komárno 608,50 mg .l<sup>-1</sup>

Zaujímavý je fakt, že v roku 2013 boli oproti roku 2012 v profile Bratislava výrazne menšie hodnoty maximálnych mútností vody, napriek tomu, že kulminačný prietok vody bol porovnateľný. Dôvodom môže byť

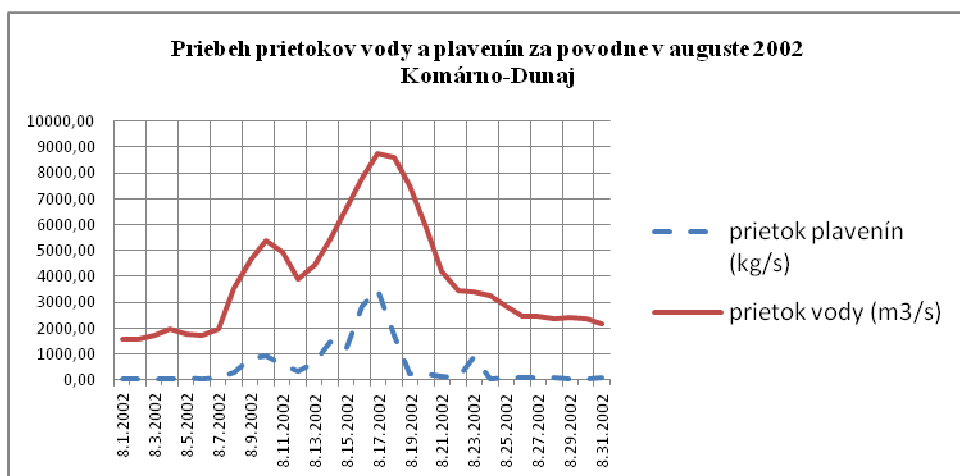
pomalší nástup povodne v roku 2013, spôsobený dlhotrvajúcimi zrážkami, prípadne aj vybrežením a rozliatím vody na viacerých miestach v Nemecku a Rakúsku. Určite by sa táto anomália a jej príčiny mali ešte podrobnejšie analyzovať.



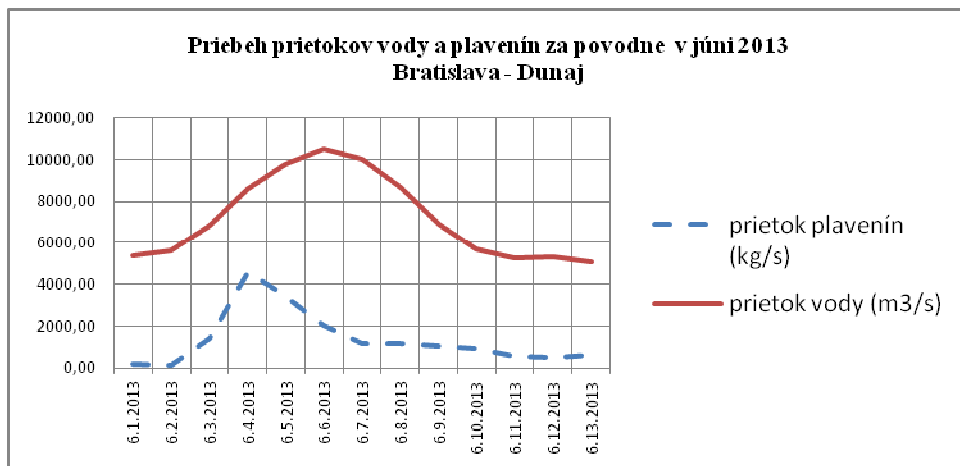
Obr.17



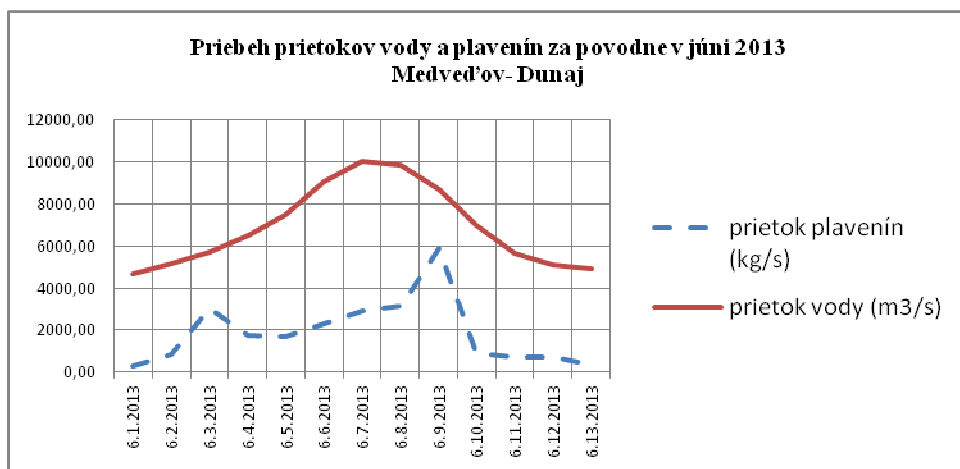
Obr.18



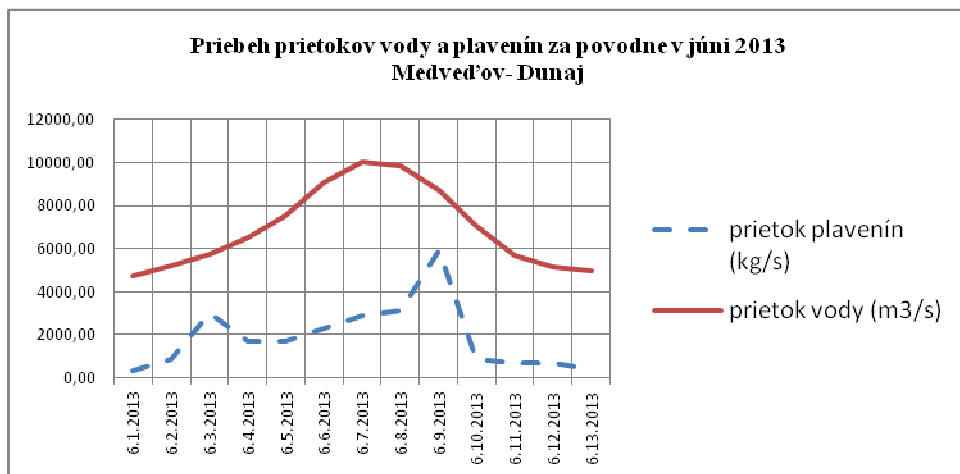
Obr.19



Obr.20



Obr.21



Obr.22

V prípade zanášania nádrží plaveninami nedochádza k úplnému vylúčeniu pohybu plavenín, pretože tieto sa dostávajú cez celú nádrž, buď cez prepady, dnové výpusty, alebo aj cez turbíny do dolného toku. Podstatným činiteľom sú však opäť povodňové vlny, ktoré nesú väčšie množstvo hrubšieho materiálu, ktorý sa v nádržnom priestore podstatne rýchlejšie usadí, ako materiál jemný.

## Záver

Za takmer polstoročie sa podstatne zmenili podmienky pre vznik a vývoj erózne – sedimentačných procesov a transportu splavenín a plavenín v Nemecko – Rakúskom povodí, ako aj v samotnom koryte Dunaja.

Rakúske vodné diela riečeho charakteru nemajú akumulčný priestor a väčšie prietoky pri vyhradených hatiach uvedú časť usadenín v zdržiach opäť do pohybu. Tieto materiály znamenajú spolu s prirodzeným prísunom erózných produktov potenciálne nebezpečenstvo pre zanášanie vzdutej riečnej a nádržnej časti zdrže Hrušov (vzniká tým nebezpečie zníženia miery povodňovej ochrany Bratislavy).

Nevenuje sa i dostatočne pozornosť dopadu plavenín na životnosť vodných diel, hoci výsledky z horných vážskych kanálov nasvedčujú ich významnému vplyvu [4].

V USA pri návrhu priehrad sa požaduje sústavné sledovanie plaveninového režimu minimálne počas 10 rokov, normálne až 30 rokov, vzhľadom na charakter variability erózných procesov a odtokov plavenín [5]. Pri dimenzovaní niektorých vodohospodárskych zariadení je potrebná znalosť maximálnej koncentrácie sedimentov, ktoré sa vyskytli v jednotlivých mesiacoch pozorovacieho obdobia.

Poznatky o transporte sedimentov súvisia tiež s otázkami povodňovej ochrany Bratislavy, ochrany vodohospodárskych objektov, morfológického vývoja koryta Dunaja a plavebných podmienok [6], čo súvisí s bezpečnosťou pri kulmináciách povodňových vln.

Doterajšie pozorovania dokazujú, že najväčší podiel na prietoku plavenín majú povodňové prietoky vyskytujúce sa v jarných až letných mesiacoch. Aj vodnosť Dunaja je v týchto mesiacoch najväčšia. Je to čas letných povodní. Oproti tomu zimné mesiace sú čo do prietoku plavenín najslabšie.

Pri samotnom hodnotení mútnosti, odtoku a prietoku plavenín sa nesmie zabúdať aj na hodnotenie zanášania vodných nádrží suspendovanými látkami. Ich ročné objemy predstavujú v podmienkach riečnej siete Slovenska 8 až 10 násobok ročného objemu splavenín (Kališ, Bačík, 1983).

Výsledky 22 ročného hodnoteného obdobia je, myslím si, dostačujúce na vyslovenie obecne platných bilančných záverov. Umožňuje však prvýkrát hodnotiť transport a sedimentáciu plavenín v rámci určitého úseku jedného toku.

Dlhšie pozorovania zreteľnejšie objasňujú zmeny v povodí, ktoré majú za následok zmeny morfológie dna nádrží a odtokového procesu, ktorý je dnes nestabilný.

Môžeme konštatovať, že povodne, ktoré dávajú do pohybu značnú masu plavenín, ktorá je unášaná dolu tokom, prechádzajúca cez hate a nádrže, prináša so sebou neočakávaný rast výdavkov, potrebných na čistenie vodohospodárskych zariadení, koryt riek a širokého okolia riečnych nív. Projektovanie a budovanie vodných diel vyžaduje nevyhnutne podklady o režime plavenín, aby bolo možné určiť očakávateľné zmeny a škody nimi vyvolané a zmenšiť ich na najmenšiu možnú mieru vhodnými ochrannými opatreniami.

## Literatúra

- [1] Petrujová, T. – Dostál, I., - 1991: Režim plavenín na šesti vodomerných profilech jihomoravského kraje v letech 1985 – 1987, Sborník prací ČHMÚ (svazek 39)
- [2] Holubová, K., - 2001: K problematike zanášania vodných nádrží, Vodohospodársky spravodajca č. 7-8/2001, Veda,technika
- [3] Petrujová, T. – Dostál, I., - 1994: Plaveniny v povodí Moravy, Práce a štúdie (sešit 23) ČHMÚ
- [4] Szolgay, J. – 1960: Hydrologický výskum plavenín na Slovenských riekach. Práce a štúdie 9, VÚVH, Bratislava
- [5] Holubová, K. a kolektív – 1996: Výskum režimu plavenín a splavenín Dunaja v oblasti hlavného mesta v pozmenených odtokových podmienkach (VTP, č.95/5145/662) VÚVH
- [6] Lukáč, M. – 1998: Kvantitatívna bilancia odtoku plavenín na Dunaji v závislosti na hydrologických pomeroch (VTP č.95/5145/622) VÚVH

*Informácie o autoroch:*

Mária Borodajkevyčová, Ing.

SHMÚ, Jeseniová 17, Bratislava

Tel.:+ 4 21 2/ 59415 426

Fax:

E-mail: [maria.borodajkevyc@shmu.sk](mailto:maria.borodajkevyc@shmu.sk)