

INTERAKCIE FOSFORU MEDZI VODOU A SEDIMENTMI VO VODÁRENSKÝCH NÁDRŽIACH

Ing. Pavel Hucko, CSc.

Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava
Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava 1, Slovenská republika
Telefón/fax: 00421259343424/00421254411941
E-mail: hucko@vuvh.sk

ÚVOD

Dnové sedimenty tvoria významnú zložku ekosystému vodných nádrží. Negatívne vplývajú nie len na využiteľný objem ale môžu negatívne ovplyvňovať kvalitu akumulovanej vody či už v čase normálnej prevádzky (priemerných prietokov), ale aj počas povodní, kedy sa dostávajú zvýšením prietokov do vznosu. Sedimenty akumulované vo vodárenských nádržiach môžu byť potenciálnym zdrojom živín, ktoré sú v nich akumulované. Do nádrží sa dostávajú jednak ľudskou činnosťou v povodí, jednak vplyvom atmosférických depozitov (kvapalných alebo tuhých).

VÚVH Bratislava riešil viacero úloh, zameraných na kvalitu sedimentov, v ktorých sa sledoval obsah živín. Medzi riešené nádrže patrili vodárenské nádrže Klenovec, Starina a Bukovec [1,2,3,4]. V príspevku sa venujem hodnoteniu obsahu fosforu v sedimentoch uvedených vodárenských nádrží a jeho dostupnosťou pre vodné organizmy. V rámci hodnotenia dostupnosti fosforu v sedimentoch sa vychádzalo z výsledkov frakcionácie fosforu.

METODIKA RIEŠENIA

Vzorky sedimentov z vodárenských nádrží sme odoberali v pozdĺžnom profile nádrže, resp. v zátokách, v troch (prípadne štyroch) odberových miestach. Pre odber sedimentov sme použili jadrový odberák firmy UWITEC, Rakúsko. Výsledná vzorka bola vytvorená zmiešaním viacerých jadrových vzoriek odobratých v jednom odberovom mieste.

Pre stanovenie dostupnosti fosforu v sedimentoch príslušnej vodárenskej nádrže sme použili metódu frakcionácie fosforu modifikovaným postupom podľa Psenera a Pucsko (Hejzlar a kol. [5], Psener, Pucsko, Sager [6]). Postup pozostáva z 5-tich extrakčných stupňov. V získaných extraktoch sa stanovoval rozpustený reaktívny fosfor (SRP) vo forme fosforečnanov, dostupný pre fytoplanktón a nereaktívny fosfor (NRP), ktorý sa vypočítal ako rozdiel celkového a fosforečnanového fosforu.

Modifikovaný extrakčný postup pozostával z nasledujúcich stupňov:

1. Extrakcia s destilovanou vodou pri laboratórnej teplote (20 °C),
2. Extrakcia s 0,1 M roztokom hydrogenuhličitanu-ditioničnanu (bicarbonate-dithionite BD) pri teplote 40 °C,
3. Extrakcia s 1 M NaOH pri laboratórnej teplote (20 °C),
4. Extrakcia s 0,5 M HCl pri laboratórnej teplote (20 °C),
5. Extrakcia s 1 M NaOH pri teplote 85 °C.

1. stupeň extrakcie reprezentuje bezprostredne dostupný reaktívny fosfor z pórovej vody, ktorý sa uvoľňuje pri zvrátení sedimentov. 2. stupeň reprezentuje redoxne citlivý reaktívny fosfor viazaný hlavne na hydroxidy Fe a zlúčeniny Mn, nereaktívny fosfor je viazaný v organickej hmote. 3. stupeň predstavuje reaktívny fosfor viazaný na oxidy kovov, hlavne Al a Fe, ktorý je vymeniteľný OH⁻ iónmi a anorganické zlúčeniny fosforu rozpustné v zásadách. Nereaktívny fosfor uvoľnený v tomto kroku reprezentuje fosfor viazaný v mikroorganizmoch, v detrite a v humínových látkach. 4. stupeň reprezentuje reaktívny fosfor viazaný na karbonátoch a fosfor v apatite, stopy hydrolyzovaného organického fosforu. V kyseline rozpustný organický fosfor bol stanovený ako nereaktívny fosfor. 5. Stupeň reprezentuje zostávajúci fosfor po predchádzajúcich stupňoch extrakcie.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsahy fosforu a dusíka v sedimentoch vodárenských nádrží (VN) sú uvedené v tabuľke č. 1. Vo VN **Klenovec** sa celkový fosfor vyskytoval v rozsahu od 964 do 1 484 mg/kg s priemernou hodnotou 1 177 mg/kg, pričom najvyššia hodnota bola stanovená v odberovom mieste A pri odbernej veži. V sedimentoch VN **Bukovec** sa celkový fosfor vyskytoval v rozsahu od 944 do 1 200 mg/kg s priemernou hodnotou 1046 mg/kg, najvyššia hodnota bola stanovená tiež v odberovom mieste A pri odbernej veži. Vo VN **Starina** sa koncentrácie celkového fosforu v sedimente pohybovali v rozsahu od 770 do 1 058 mg/kg s priemernou hodnotou 929,3 mg/kg. Najväčšie množstvo fosforu bolo stanovené v strede nádrže oproti zátoke Dara - B.

Tabuľka 1. Kvalitatívne zloženie sedimentov vo vodárenských nádržiach (vybrané odberové miesta, z ktorých bola vykonaná frakcionácia fosforu)

Vodárenská nádrž	Jednotka	Klenovec A	Klenovec B	Klenovec D	Bukovec A	Bukovec B	Bukovec C	Starina A	Starina B	Starina C
P _{celk}	mg/kg	1 484	1 266	994	1 200	994	944	960	1 058	770
N _{celk}	sušiny	5 553	5 586	6 858	2 474	2 541	3 545	5 490	5 380	3 460

Odberové miesta v jednotlivých vodárenských nádržiach:

VN **Klenovec** (A – pri odbernej veži, B – prítok Klenovskej Rimavy, D – zátoka potoka Brezovan)

VN **Bukovec** (A – pri odbernej veži, B – stred, C – prítok Idy)

VN **Starina** (A – pri odbernej veži, B – stred vodárenskej nádrže oproti zátoke Dara, C – prítok Čirochy)

Výsledky **extrakcií fosforu** stanoveného ako rozpustený reaktívny fosfor (SRP) a nereaktívny fosfor (NRP) v sedimentoch vodárenských nádrží Klenovec, Bukovec a Starina sú uvedené na obrázkoch 1 – 4 a tabuľke č. 2.

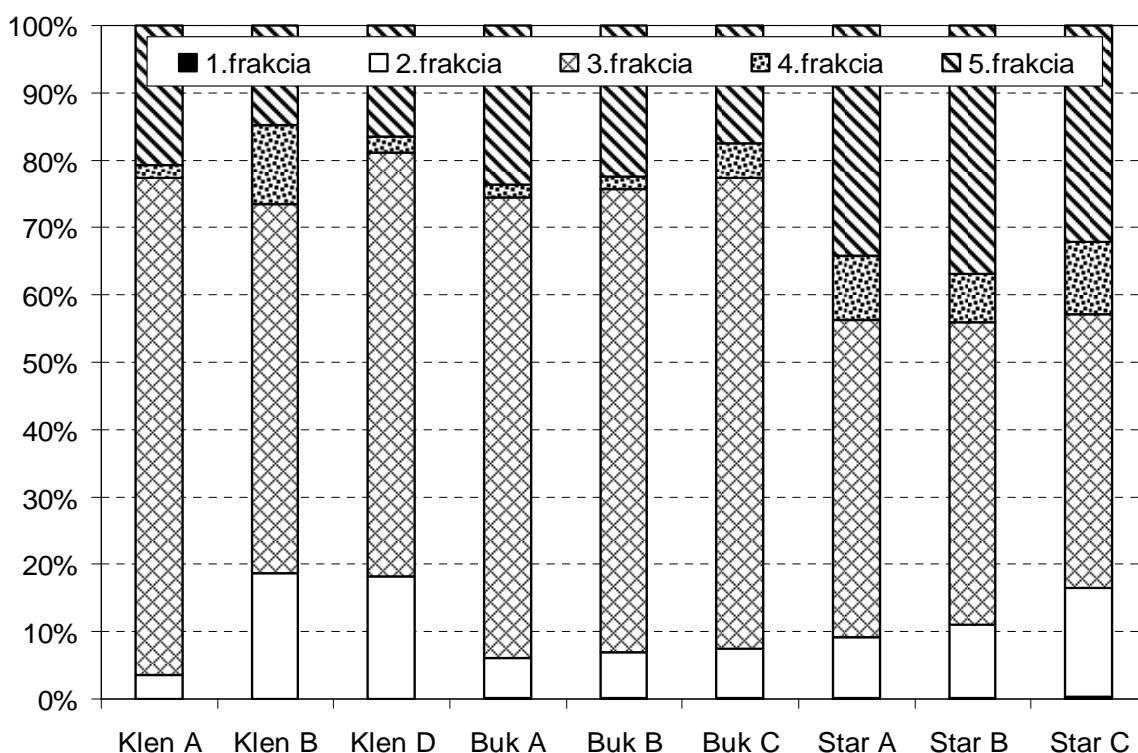
Pri **extrakcii fosforu** zo sedimentov vodárenskej nádrže **Klenovec** (označenie na obrázkoch **Klen**) bolo najväčšie množstvo fosforu zo všetkých odberových miest extrahované v 3. stupni pri použití 1 M NaOH - (NaOH-P) pri laboratórnej teplote, priemerne 34,9 % z celkového množstva P v sedimente. Fosfor bol extrahovaný hlavne ako SRP. V odberovom mieste pri odbernej veži (A) sa vyextrahovalo najviac NaOH-P v porovnaní s ostatnými odberovými miestami v nádrži. Smerom k odtoku rastie množstvo NaOH-P. Vo 4. stupni extrakcie sa nevyextrahoval žiaden NRP, čiže sa

v nádrži nenachádza viazaný v detrite, mikroorganizmoch, alebo v humínových kyselinách.

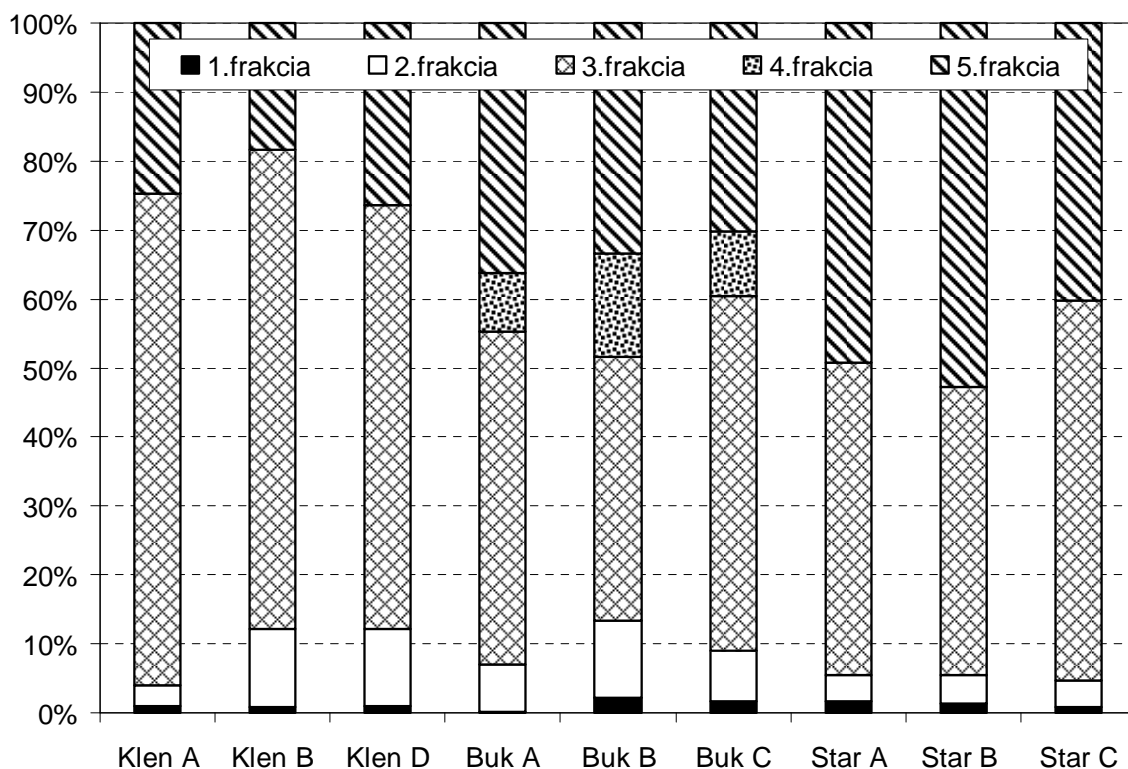
Na základe vykonaných experimentov sa preukázalo, že fosfor sa zo sedimentov **VN Klenovec** v rozpustenej, fytoplanktónu prístupnej forme (1. – 4. frakcia), uvoľňuje priemerne v 30,15 %. Uvoľňovanie fosforu do vodného prostredia závisí od teploty, čím je nižšia tým menej fosforu sa uvoľní. Namerané hodnoty teplôt vody nad sedimentom boli v nádrži počas letnej stagnácie rozsahu 7 - 13 °C. Nasýtenie vody kyslíkom nad sedimentom tiež ovplyvňuje rozpúšťanie fosforu, ak je voda nasýtená, tak sa fosfor uvoľňuje veľmi pomaly. V prípade VN Klenovec bola voda pri dne nasýtená kyslíkom priemerne na 63 %.

Vo vodárenskej nádrži **Bukovec** (označenie na obrázkoch **Buk**) sa rovnako ako u VN Klenovec vyextrahovalo najväčšie množstvo fosforu v 3. stupni, priemerne 41,4 % z celkového množstva P. Väčšina fosforu bola stanovená ako SRP. V porovnaní s VN Klenovec sa celkovo o 42,9 % znížilo množstvo P vyextrahovaného v 2. stupni. V 4. stupni extrakcie prevažoval NRP nad SRP. Bol viditeľný nárast koncentrácie HCl-P na prítoku Idy do nádrže – odberové miesto C v porovnaní s ostatnými miestami odberu sedimentov. Z celkového množstva P sa 32,4 % uvoľňovalo ako reaktívny P.

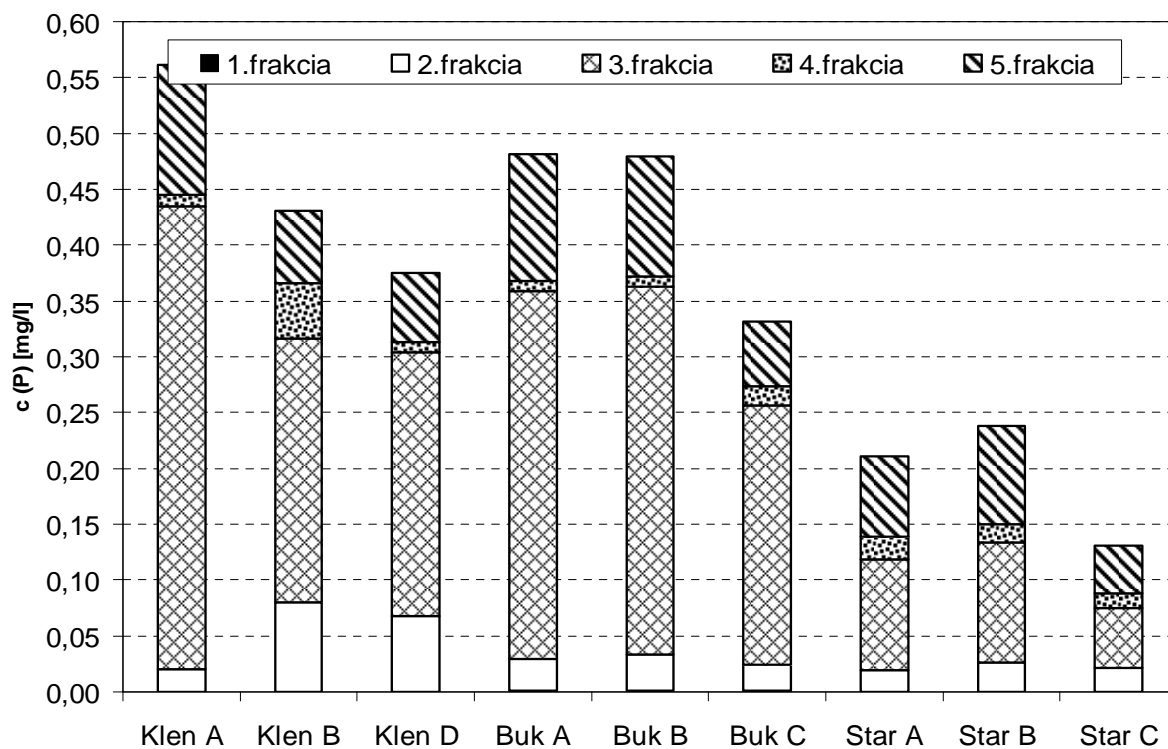
Aj vo **VN Starina** (označenie na obrázkoch **Star**) bolo najväčšie množstvo fosforu vyextrahované v 3. stupni, 16,4 % z celkového množstva P. V 4. stupni sa podobne ako u VN Klenovec nevyextrahoval žiadny NRP. Z celkového množstva P sa uvoľnilo 13,7 % ako SRP. V porovnaní s VN Klenovec a VN Bukovec boli vo VN Starina v priemere hodnoty extrahovaného reaktívneho fosforu na úrovni 39,4 % zistených hodnôt vo VN Klenovec a 32,7 % hodnôt zistených vo VN Bukovec. Uvoľnený fosfor v tejto vodárenskej nádrži predstavoval 45,1 % z priemerných hodnôt zistených vo VN Klenovec a 49,1 % vo VN Bukovec.



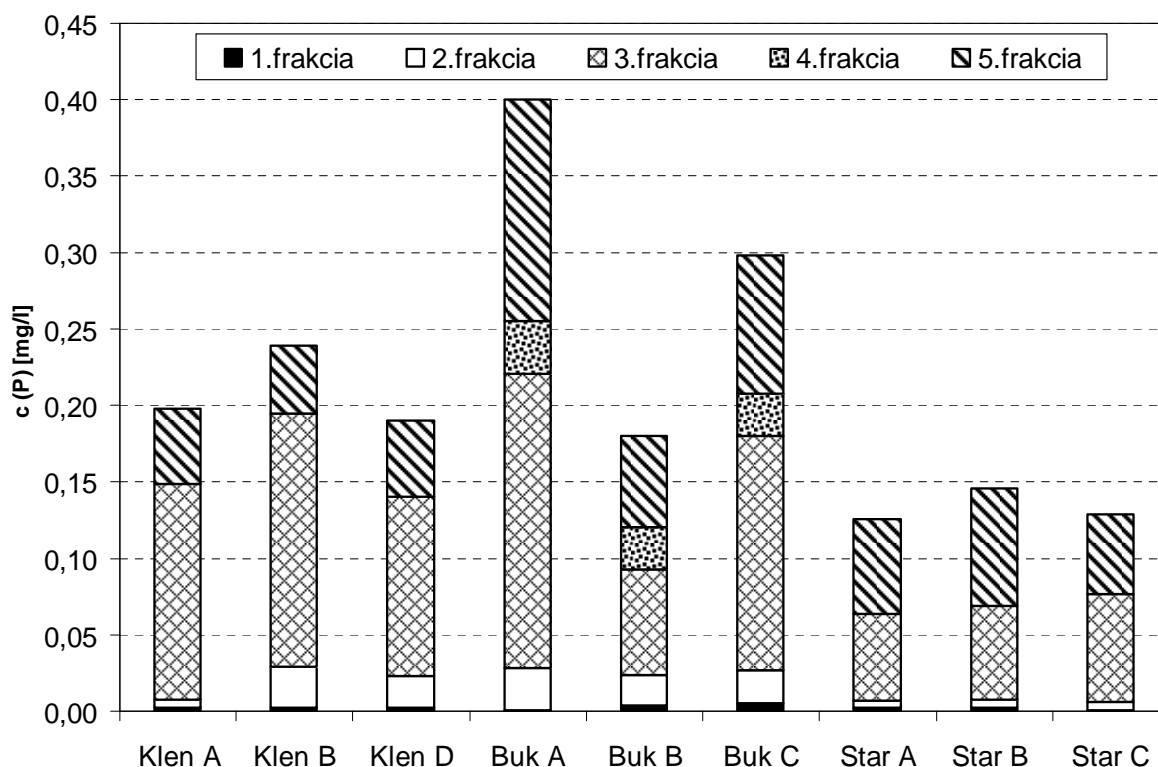
Obr. 1. Percentuálne zastúpenie rozpusteného reaktívneho fosforu extrahovaného zo sedimentov vodárenských nádrží v jednotlivých frakciách



Obr. 2. Percentuálne zastúpenie nerozpusteného fosforu extrahovaného zo sedimentov vodárenských nádrží v jednotlivých frakciách



Obr. 3. Rozpustený reaktívny fosfor extrahovaný zo sedimentov vodárenských nádrží



Obr. 4. Nerozpustený fosfor extrahovaný zo sedimentov vodárenských nádrží

ZÁVERY

Obsah živín v sedimentoch vodárenských nádrží predstavuje potenciálne riziko, ktoré je spojené s možnosťou ich postupného uvoľňovania do vodného prostredia. Tým sa môžu vytvárať priaznivé podmienky pre rozvoj eutrofizačných procesov.

Porovnanie obsahu živín (fosforu a dusíka) v sedimentoch vodárenských nádrží Klenovec, Bukovec a Starina ukazuje, že najvyššie hodnoty dusíka boli stanovené v sedimentoch VN Klenovec a najvyššie hodnoty obsahu fosforu v sedimentoch boli zistené vo VN Klenovec. Naopak najmenšie hodnoty dusíka boli zistené vo VN Bukovec a fosforu vo VN Starina.

Z výsledkov frakcionácie vyplýva, že najvyššie množstvo rozpusteného reaktívneho fosforu (SRP) sa uvoľňovalo do 3. frakcie extrakcie. Najvyššia priemerná hodnota SRP bola stanovená v tejto frakcii v sedimentoch VN Bukovec, naopak najnižšia v sedimentoch VN Starina.

Z prvých troch frakcií bolo v 3. stanovené najvyššie množstvo SRP v sedimentoch VN Bukovec. Hodnoty v tejto frakcii boli o jeden poriadok vyššie než v predchádzajúcej 2. frakcii.

Experimentmi sa preukázalo, že fosfor sa v rozpustenej, fytoplanktónu prípustnej forme – SRP (1. – 4. frakcia), uvoľňuje vo **VN Klenovec** priemerne 30,15 %, vo **VN Bukovec** priemerne 32,33 % a vo **VN Starina** 13,65 % z celkového množstva fosforu v sedimente.

Tabuľka 2. Výsledky frakcionácie fosforu v sedimentoch vodárenských nádrží

Vodárenská nádrž/frakcia		Jednotka	Klenovec A	Klenovec B	Klenovec D	Bukovec A	Bukovec B	Bukovec C	Starina A	Starina B	Starina C
1. frakcia	SRP	mg/l	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0005	0,0003	0,0005
		%	0,020	0,024	0,030	0,058	0,070	0,074	0,052	0,030	0,065
	NRP	mg/l	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,005	0,002	0,002	0,001
		%	0,135	0,158	0,201	0,083	0,402	0,529	0,208	0,200	0,130
2. frakcia	SRP	mg/l	0,020	0,080	0,068	0,029	0,033	0,024	0,019	0,026	0,021
		%	1,349	6,314	6,836	2,416	3,320	2,541	1,979	2,600	2,728
	NRP	mg/l	0,006	0,027	0,021	0,027	0,020	0,022	0,005	0,006	0,005
		%	0,405	2,131	2,111	2,249	2,012	2,329	0,521	0,600	0,649
3. frakcia	SRP	mg/l	0,414	0,236	0,236	0,329	0,329	0,232	0,099	0,107	0,053
		%	27,93	18,63	23,73	27,40	33,10	24,56	10,31	10,70	6,88
	NRP	mg/l	0,141	0,166	0,117	0,193	0,069	0,153	0,057	0,061	0,071
		%	9,511	13,101	11,762	16,076	6,942	16,199	5,937	6,100	9,222
4. frakcia	SRP	mg/l	0,011	0,050	0,009	0,009	0,009	0,017	0,020	0,017	0,014
		%	0,742	3,946	0,905	0,750	0,905	1,800	2,083	1,700	1,818
	NRP	mg/l	0,000	0,000	0,000	0,034	0,027	0,028	0,000	0,000	0,000
		%	0,000	0,000	0,000	2,832	2,716	2,964	0,000	0,000	0,000
5. frakcia	SRP	mg/l	0,116	0,064	0,062	0,114	0,108	0,058	0,072	0,088	0,042
		%	7,825	5,051	6,233	9,496	10,865	6,141	7,499	8,800	5,455
	NRP	mg/l	0,049	0,044	0,050	0,145	0,060	0,090	0,062	0,077	0,052
		%	3,305	3,473	5,027	12,078	6,036	9,529	6,458	7,700	6,754
Uvoľnený fosfor		mg/l	0,759	0,669	0,566	0,886	0,660	0,630	0,337	0,384	0,260
		%	51,20	52,80	56,90	73,80	66,40	66,70	35,10	38,40	33,77

Poznámky:

SRP – rozpustený reaktívny fosfor, NRP – nereaktívny fosfor

Označenie vzoriek sedimentov: vid' tabuľku č. 1

LITERATÚRA

- Hucko, P., Pišoft, O. (2000): Odbery a rozbery sedimentov z vodárenskej nádrže Starina. Záverečná správa VÚVH Bratislava.
- Hucko, P., Pišoft, O. (2001): Sledovanie ťažkých kovov v sedimentoch a vo vodách lokality vodárenskej nádrže Bukovec. Záverečná správa VÚVH Bratislava.
- Matok, P., Hucko, P. (2001): Eróznio-sedimentačné procesy na VN Klenovec. Časť C Kvalitatívne zloženie sedimentov so zameraním na obsah látok podmieňujúcich eutrofizáciu. Záverečná správa VÚVH Bratislava.
- Hucko, P., Luther, S., Weigeltová, S., Hudec, I. (2003): Vodárenské nádrže – návrh a opatrenia na zachovanie kvality vody. Záverečná správa, VÚVH Bratislava.
- Hejzlar, J., Borovec, J., Porcal, P., Dušek, D. (1999): Nádrž Jordán: Současný stav eutrofizace a návrh revitalizačních opatření, s. 113-118. In: Zborník z konferencie „Pitná voda 1999“.
- Psener, R., Pucsko, R., Sager, M. (1984): Die Fractionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten. Versuch einer Definition ökologisch wichtiger Fraktionen. Arch. Hydrobiol. Suppl. 70: 115-155.