



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Návrh potlačení masového rozvoje řas a sinic v nádrži Jordán

Miroslav Lutovský, Robert Pospíšil

Táborské soukromé gymnázium
Zavadilská 2472, Tábor

Prohlášení

Prohlašuji, že jsme předloženou práci vypracovali samostatně, pod odborným vedením Ing. Jana Komzáka s použitím informací a literárních pramenů, které uvádíme v příloženém Seznamu použité literatury a zdrojů.

V Táboře, květen 2014

Miroslav Lutovský, Robert Pospíšil

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Ing. Janu Komzákovi za jeho věcné připomínky a neskutečné množství času strávené nad touto prací, za jeho impuls k vytvoření této práce a za jeho trpělivou pomoc, kterou jsme často vyhledávali. Dále bychom chtěli poděkovat panu Ing. Petru Šímovi, který nás ochotně provedl prostorami vodárny, panu Mgr. Jaroslavu Dvořákovi za poskytnutí studijních materiálů a v neposlední řadě Mgr. Marku Švadlenovi za jeho pomoc při fotodokumentaci.

Anotace

Naše práce se skládá ze dvou oddílů. První oddíl popisuje a přibližuje vodní nádrž Jordán v Táboře z technického a historického hlediska, kdy jsme zpracovali také probíhající rekultivaci nádrže se všemi jejími aspekty, včetně protržení dělicí hrázky. Druhý oddíl se týká samotného návrhu na potlačení populace sinic v nádrži. Naše řešení spočívá v tom, že budeme dávkovat do nádrže teoretickou dávku síranu železitého, čímž dojde k vysrážení fosforu, který je výsledkem eutrofizace, a tím i ke snížení růstu sinic.

Klíčová slova: Nádrž, eutrofizace, sinice, fosfor, síran železitý.

Abstract

Our work consists of two parts. The first part technically and historically describes the dam Jordán. We also wrote about the restoration which is taking place with all of its aspects including a rupture of dividing dike. The second part relates the very proposal for reduction of population of cyanobacteria in the dam. Our solution consist in the dosing of theoretical dose of iron(III) sulfate and that cause precipitation of phosphorus, which is the result of eutrophication and also reduction of cyanobacteria growing.

Keywords: Dam, eutrophication, cyanobacteria, phosphorus, iron(III) sulfate.

1. Úvod

Vodní nádrž Jordán byla vybudována v roce 1492 za účelem akumulace vody pro město Tábor. Tato funkce nádrže přetrvala až do konce 20. století. Nádrž se též používala pro rekreační účely do doby, než se v ní vyskytly sinice, které znemožnily toto její další využívání.

Sinice jsou bakterie, vyskytující se v povrchové vodě. Produkují látky, které jsou toxické pro lidský organizmus. Pobyt ve vodě se sinicemi může vést k závažným zdravotním problémům, jako jsou těžké alergie, vyrážky, zarudlé oči, rýma, lehká akutní otrava, která se projevuje střevními a žaludečními potížemi, nebo bolesti hlavy, ale i jaterní problémy.

Sinice se vyskytují v malém množství ve vodním ekosystému zcela přirozeně, ale antropologickou činností dochází k tvorbě vodního květu, např. při nadměrném vypouštění volného fosforu, vzniklého použitím pracích a mycích přípravků. Též velký vliv na povodí má absence čističek odpadních vod s inaktivací fosforu.

Vybudování čističek v malých obcích na povodí Jordánu je velmi nákladné, proto jsme zvolili mnohem levnější, ale přesto efektivní metodu inaktivování fosforu pomocí síranu železitého či hlinitého. Tato metoda je velmi šetrná k životnímu prostředí, protože teoretická dávka se odvozuje od rozpuštěného fosforu na přítocích do Jordánu. Hrozí ovšem znovu aktivování nerozpustného fosforu. Tomuto procesu by měla zabránit aerační fontána umístěná v sedimentační části nádrže. Aerační fontána též plní estetickou funkci, což obohacuje rekreační využití nádrže.

1. 1. Cíle práce

Cílem této práce je přiblížení historického vývoje vodní nádrže Jordán od jejího vzniku až po dnešní stav rekultivace, který je aktuálním a často diskutovaným tématem. Dalším cílem této práce je zpracovat a přiblížit některé historické informace o nádrži a zobecnit je pro širší veřejnost. Nejdůležitějším cílem této práce je návrh na potlačení masového rozvoje sinic v nádrži Jordán, který omezuje jeho používání v letních měsících jako rekreační oblast a umožňuje využívat nádrž Jordán pouze jako retenční nádrž v období povodní.

1. 2. Metody zpracování

Práce byla zpracována za pomoci následujících metod: Rozbor regionální a odborné literatury, práce s doplňkovou literaturou, vlastní laboratorní rozbory, terénní průzkum a pořízení fotodokumentace.

2. Vodní nádrž Jordán

2. 1. Základní informace

Vodní nádrž Jordán je velmi pozoruhodné vodohospodářské dílo. Nachází se ve městě Tábor v Jižních Čechách a zaujímá zde poměrně významnou úlohu. Vzniklo roku 1492 přehrazením Košínského potoka a jde o nejstarší vodní nádrž v České republice. Dříve bylo využíváno k zásobování města pitnou vodou pro obyvatele města a užitkovou vodou pro řemesla ve městě. Nádrž se využívala i k chovu ryb, ale později, kvůli špatným podmínkám, byl Jordán využíván jen ke sportovnímu rybolovu. Jeho dominantou je sypaná hráze, která tvoří důležitý dopravní uzel. Jeho dalším nepřehlédnutelným prvkem je harfový most, který čítá 26 ramen a je 212 m dlouhý. Svůj název dostal podle vzhledu, kdy dvě jeho ramena jsou do sebe zabudována tak, že tvoří iluzi harfy. Těsně před Jordánem je vybudována ještě jedna malá nádrž s názvem Malý Jordán. Pod Jordánem se také nachází 18 m vysoký přepad.



Obr. 1: Vodní nádrž Jordán v noci, **Zdroj:** Mgr. Marek Švadlena

2. 2. Technické specifikace

Parametry nádrže:

Typ	přehrada
Rok	1492
Rozloha	51,77 ha
Objem	3 mil. m ³
Max. hloubka	12,5 m

Parametry hráze:

Hráz:	sypaná
Délka:	284 m
Šířka:	15 m
Výška:	20 m



Obr. 2: Přepad od Jordána, Tismenický potok, **Zdroj:** autor

3. Mikroorganismy

3. 1. Sinice

Sinice jsou obecně známé mikroorganismy, jež se vyskytují v našich vodách. Nejčastěji je můžeme vidět ve stojatých vodách rybníků nebo nádrží s malým průtokem. Jsou to experti na přežití v extrémních podmínkách a byly pravděpodobně důvodem vzniku života na této planetě. Dnes se však vodní plochy potýkají s jejich přemnožením, které může být i životu nebezpečné. Hlavním důvodem přemnožení sinic je eutrofizace, neboli nadměrný přísun živin do vody.

Sinice jsou gramnegativní bakterie s prokaryotickým typem buňky. Jejich stélka je buď jednobuněčná nebo vláknitá. Na rozdíl od bakterií nemají bičík. Jejich buňka neobsahuje jádro (pouze nukleoid), chloroplasty ani mitochondrie. Obsahují chlorofyl **a** a většina z nich obsahuje také barviva jako fykobiliny a karotenoidy. Probíhá u nich fotosyntéza, při které uvolňují O₂ a využívají sluneční záření. Rozmnožují se pomocí dělení buněk, klíčením artrospor nebo hormogonií.

Dělíme je na:

- 1) **Cyanobakterie** - obsahují chlorofyl **a** a fykobiliny. Z fykobilin jsou nejdůležitější fykocyanin a alofykocyanin, což jsou modrá barviva. Vyskytují se zde také karotenoidy, jako např. beta-karoten, zeaxantin nebo echinenon.
- 2) **Prochlorofyta** – bakterie obsahující chlorofyl **a** a chlorofyl **b**. Neobsahují však fykobiliny.

Cyanobakterie jsou bakterie fotoautotrofního typu, přičemž jejich fotosyntéza je oxygenního typu. Některé bakterie však dokážou fotosyntézu anoxygenního typu, kdy za přítomnosti sulfidu je potlačen fotosystém II a tím i oxygenní fotosyntéza. Fotosyntézou produkují zejména zásobní látku glykogen (sinicový škrob), který se následně zpracovává pro potřebu sinic.

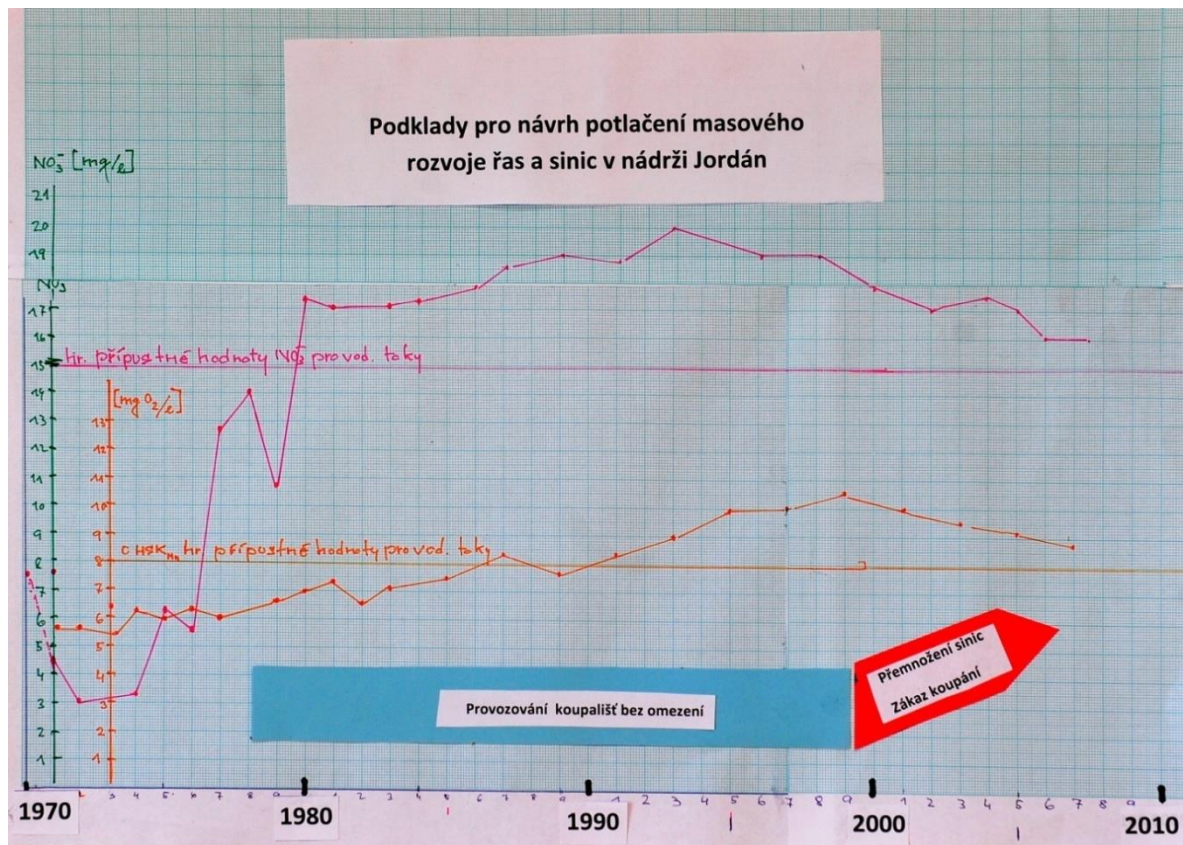
4. Návrhy řešení

4. 1. Návrh „A“

Odstranění sedimentu – odbahnění Jordánu a vybudování společné výpusti je technickým opatřením, které ovlivní a bude jistě využito v manipulačním řádu nádrže.

Od začátku (zadání projektu) však bylo zřejmé, že tímto opatřením nebude v zásadě ovlivněna kvalita vody v Jordánu a ani účel této stavby nebyl veden tímto směrem.

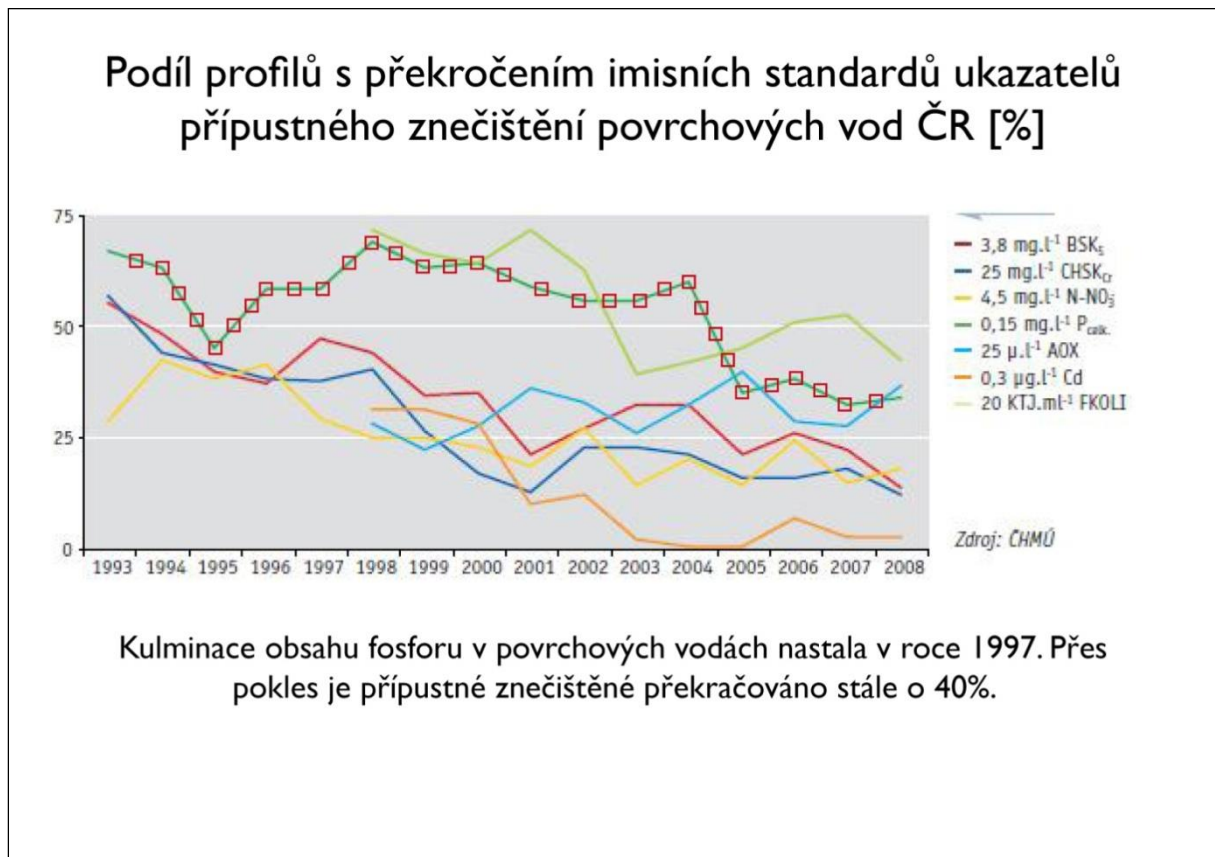
Nás však zaujala jiná věc! Jak je možné, že těsně před rokem 2000 při nápadném poklesu eutrofizačních vlivů došlo k nárůstu a přemnožení sinic (viz. graf č. 1).



Graf 1: Podklady pro návrh potlačení masového rozvoje řas a sinic v Jordáně, **Zdroj:** autor

Tento jev a paradox se pak opakoval každoročně, až odstavil provoz plováren na Jordáně a ztížil rekreační využití. Dali jsme si za úkol tento paradox vysvětlit a navrhnout opatření. Provedli jsme celou řadu labor. měření (mineralizace) na přítocích do Jordánu. Zhodnocovali výsledky a rozdílly ve vzorcích. Šetřili vlivy potenciálních producentů znečištění. Hodnotili

jsme i překročení imisních ukazatelů /celostátní statistika/ a jejich vztah ke znečištění Jordánu (viz. graf č. 2).



Graf 2: Podíl profilů s překročením imisních standardů, **Zdroj:** autor

Výsledek: Jedinou výraznou změnou je snížení výkonu tábořské vodárny v roce 1994 na 20 litrů/sec z původních 100 litrů/sec., její následné odstavení a provedení rekonstrukce v roce 2005.



Obr. 11 & 12: Vodárna Tábor, **Zdroj:** Marek Švadlena

Od té doby není vodárna v provozu a pouze občasně se provede její zkušební najetí.

Termín odstavení vodárny se nápadně shoduje s přemnožováním sinic v nádrži! Pracovala od roku 1936 obvyklým technologickým systémem: číření, filtrace, zdravotní zabezpečení pitné vody. Produkty z ní jsou: pitná voda a technologický vodárenský kal.



Obr. 13: Vodárna Tábor, **Zdroj:** Marek Švadlena

Vodárenský kal obsahuje „zbytkový koagulant“, kterým je síran železitý obsahující železité ionty Fe^{3+} , které jsou aktivní. Je obvyklé, že při zpracování vodárenského kalu (koncentrováním) se dostává do recipientu (do Jordánu) 3 – 5 % zbytkového koagulantu.

Co to způsobí - Ionty železa Fe^{3+} začnou reagovat s přítomným rozpustným fosforem podle rovnice: $\text{Fe}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} = \text{FePO}_4$

Vzniklý fosforečnan železitý je látka velmi málo rozpustná a dochází k inaktivaci fosforu. Fosfor je totiž hlavní látkou potřebnou pro růst a množení sinic. Je to organismus fotosyntetizující. Bez fosforu sinice hynou. Přítomnost 1 kg rozpustného fosforu může podpořit až 1700 kg sinic. Fosfor se do vody dostává splachem hnojiv z polí, odpadní vodou obsahující zbytky pracích a mycích prostředků. Tímto mechanismem/zbytkový koagulant v jordánské vodě/ byl po dobu 64 let Jordán pod ochranou aktivních iontů ze zbytkového koagulantu nejdříve Al^{3+} , později Fe^{3+} .

Je skoro úsměvné, že zůstalo nepovšimnuto, že v okolí rybníky a nádrže „kvetou“, ale Jordán nikoliv (do roku 2000). Docházelo k inaktivaci fosforu železitými solemi! Jak pracovala tato ochrana do roku 2000? Ověřili jsme, že při výkonu vodárny 100 l/sec. a obvyklé spotřebě koagulantu (5150 kg/ měsíc) se do Jordánu dostávalo pravidelně 300 kg/ měsíc zbytkového koagulantu, který obsahoval aktivní ionty železa. To stačilo, aby Jordán byl dostatečně chráněn.

Návrh opatření:

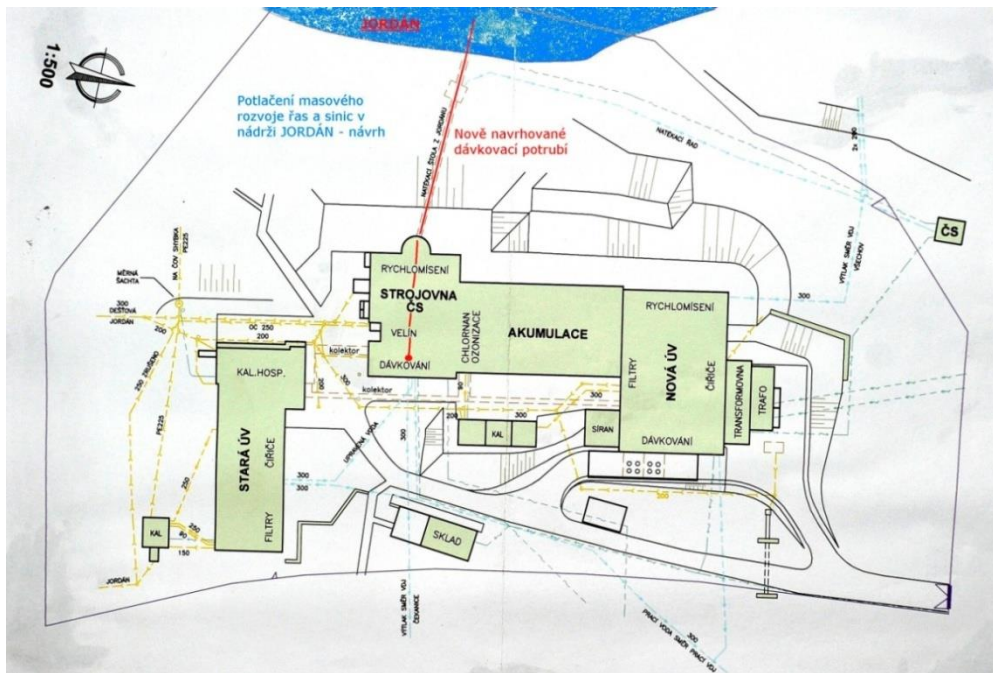
Vycházíme z předpokladů, že

- vodárna zůstane v záložním stavu a nebude zatím produkovat pitnou vodu
- je iluzí se domnívat, že dojde k výrazným technologickým změnám u vnějších zdrojů, které produkují znečišťující živiny
- vyplavování fosforu a dusíku (um. hnojiva) ze zemědělských ploch potrvá i nadále
- prací a mycí prostředky s obsahem rozpustného fosforu budou používány nadále
- žádná výstavba lokálních čistíren (CHÚV) eliminujících fosfor není plánována

Vlastní návrh:

Je třeba obnovit systém, kdy opět pomůže vodárna, a to dávkováním, na které byl Jordán zvyklý:

- a) Navrhujeme napojit na současný dávkovací systém síranu železitého ve vodárně potrubím, které by bylo vedeno nátokovým kanálem a mělo vyústění v Jordánské nádrži (viz. obrázek č. 14). Tímto zařízením a potrubím by se přiváděl roztok síranu železitého do jordánské nádrže v množství, které by odpovídalo přítomnosti rozpustného fosforu ve vodě.
- b) Velikost dávky je přibližně 300 kg $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ /měsíc. Dávkování by mělo být formou 10% roztoku (případně 5% roztoku).
- c) Systém by pracoval od poloviny května do září. Je to proto, že rychlost proudu vody v dávkovacím profilu je 45m/den. Samotný průtok v nádrži je pak 0,4 m³/s. Tak by se ionty Fe^{3+} dostaly až k hrázi ještě před sezónou sinic.



Obr. 14: Vodárna Tábor, **Zdroj:** Vodárna Tábor, upraveno autorem

Zdůrazňujeme (pro vodárenské odborníky), že se jedná o srážecí dávku, nikoliv o dávku koagulační, i když flokulační proces bude také probíhat. Nedojde k narušení ekosystému a biodiverzity Jordánu. Dávkovací systém ve vodárně je v perfektním stavu (membránová čerpadla, zásobní nádrže – viz. obrázek č. 15 a č. 16). Výhodou toho návrhu a způsobu je i to, že by byl pod kvalifikovaným a zkušeným dohledem. Návrh je autorským majetkem předkladatelů.



Obr. 15 & 16: Vodárna Tábor, **Zdroj:** Marek Švadlena

4. 2. Návrh „B“

V návrhu „A“ je řešena eliminace rozpustného fosforu, který podporuje vznik sinic. Je třeba se také zabývat parametry, charakterizujícími vodní nádrž. Jordánské povodí má 80 km² a ročně do něj přiteče 16 mil. m³ vody. Plocha vodní nádrže je 513 tis. m². Tuto plochu také můžeme rozdělit na plochu se zvýšenou rychlostí průtoku a plochu sedimentační. Obě plochy jsou stejné rozlohy, také jinak po 250 tis. m². Spodní sedimentační plocha má hloubku, která dosahuje skoro 13 metrů. Na této sedimentační části je také umístěna výpusť, která umožňuje řízené vypouštění. Spodní část nádrže je více ohrožena anaerobními podmínkami. Řízené vypouštění sedimentu tak napomůže tomu, aby nedocházelo k zpětnému uvolňování fosforu do nádrže.

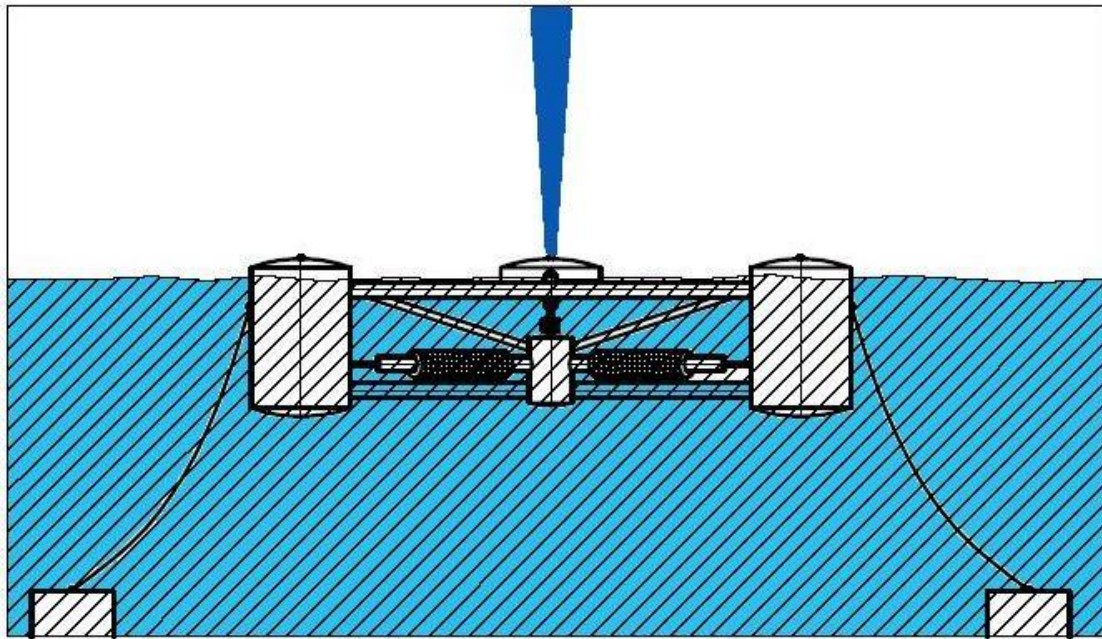


Potlačení anaerobních podmínek může pomoci areace v prostoru sedimentační části jordánské nádrže.

Návrh opatření:

Návrh spočívá v instalaci ukotvené plovoucí fontány, která by byla umístěna na plovoucím pontonu. Vzniklý vodní sloupec/10-15m/ při styku se vzduchem a i jeho pádový efekt umožňují zvýšit obsah kyslíku v nádrži. Ukotvení by bylo relativně volné a může se přizpůsobovat různým hladinám vody. Snadná instalace umožňuje pro Jordán a jeho kvalitu vody udělat něco již dnes. Zvýšení samočisticí schopnosti vody prostřednictvím vnosu vzdušného kyslíku je přirozený proces. Areační fontána by mohla být umístěna v rozšiřující se části nádrže/sedimentační/.

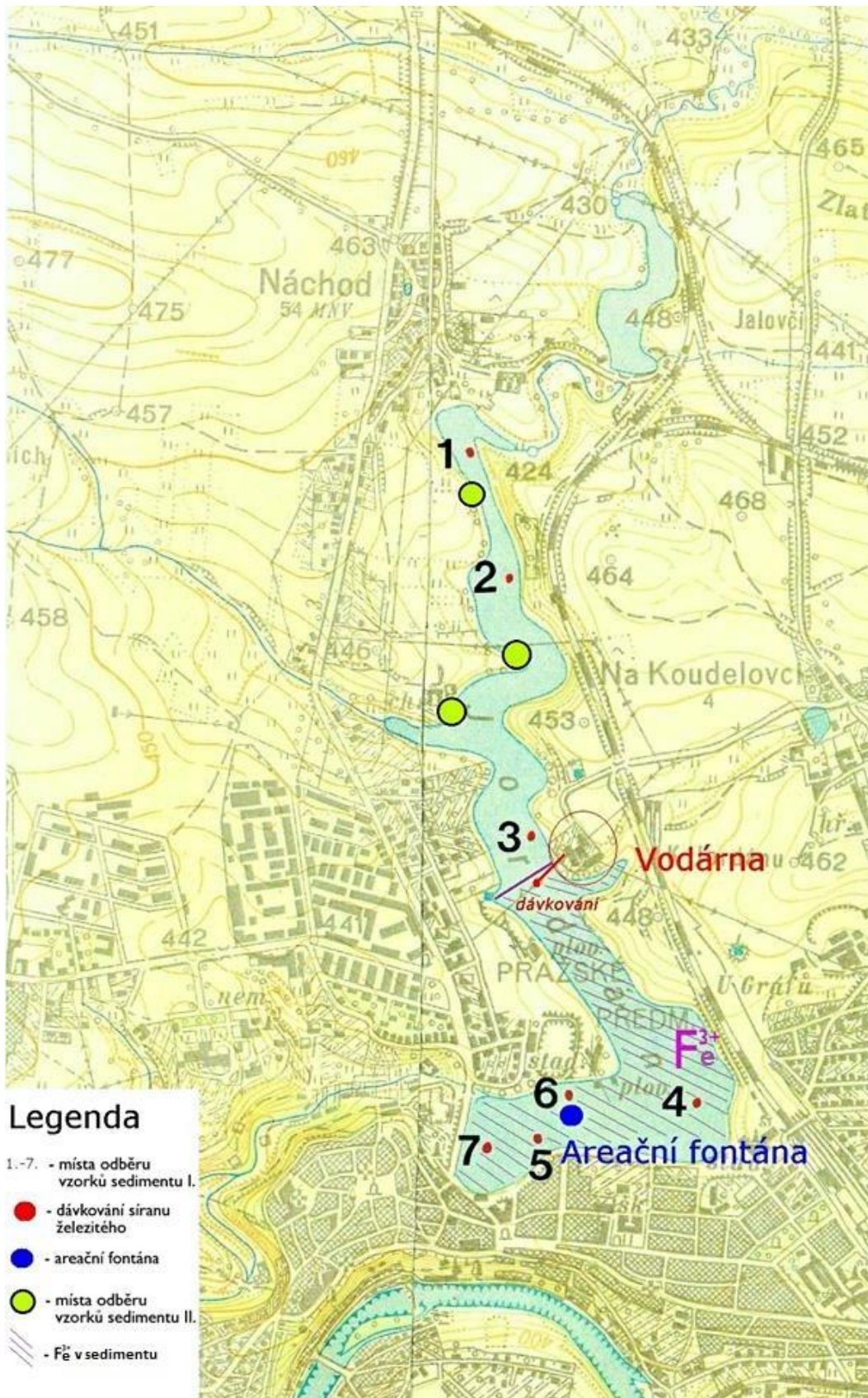
Je zřejmý i její estetický účín, který může být doplněn osvětlením vodního sloupce. Takováto instalace nebrání žádným předpokládaným zásahům do režimu nádrže. Nenarušuje chov ryb a sportovní aktivity. Před zámrazem se plovák vyjme a po skončení období mrazů se opět jednoduše instaluje. Je možné nainstalovat také zařízení, které je schopno regulovat výšku sloupce fontány v závislosti na rychlosti větru.



Obr. 17: Plovoucí ukotvená fontána, **Zdroj:** autor



Obr. 18: Plovoucí ukotvená fontána, **Zdroj:** autor



Obr. 19: Mapa/schéma nádrže Jordána, Zdroj: autor

5. Závěr

Naše práce měla za úkol přiblížit toto významné vodohospodářské dílo nejen z pohledu jeho historie, ale také pro jeho využití jak v minulosti, tak i v současné době. Samotný proces odbahňování považujeme za velmi dobrý krok, neboť zahrnuje řešení hned několika závažných problémů. Naše práce a návrhy řešení rozhodně nejsou kritikou účelu probíhajících prací v nádrži Jordán, pouze jsme chtěli poukázat i na související problém, týkající se kvality vody v nádrži a masivního rozvoje sinic v letních měsících, kdy je nádrž jako neodmyslitelná dominanta města Tábora využívána místními občany i mnohými turisty k rekreačním účelům

Máme za to, že námi nabízené řešení má hned několik výhod. Především je nepochybně šetrné k životnímu prostředí. Je přizpůsobeno přímo pro nádrž Jordán. A v neposlední řadě je oproti ostatním řešením relativně finančně nenáročným. Domníváme se rovněž, že pokud by byl realizován i náš návrh „B“, tedy umístění plovoucí fontány na hladinu nádrže, šlo by o řešení velice vhodné i atraktivní pro naše město. Byl by tak jednak okysličován vodní sloupec, čímž by bylo zabráněno redukci fosforu zpět do rozpustného stavu, navíc by fontána plnila i svou estetickou funkci. Za velkou výhodu případné realizace našeho návrhu pak považujeme i možnost regulace fungování systému podle potřeby, a to nadávkováním přesného množství síranu železitého nebo síranu hlinitého, či úplným vypnutím systému. Výše uvedené závěry a návrhy opíráme i o laboratorní analýzy, které jsme ve věci provedli, a které jsou popsány v protokolech č. 1-7, tvořících přílohu této práce .

6. Zdroje práce

6. 1. Publikace a knižní zdroje

1. ČŮTA, F. *Návody pro cvičení ve speciálních metodách analytických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha 1963 ISBN nevedeno .
2. DRÁB, Z. *Úvod do systémového inženýrství*. Praha: STNL 1973 ISBN nevedeno
- 3 HOFMAN, V. a spol *Technická příručka pro pracovníky oboru úpravy průmyslových vod*. Praha: ČKD DUKLA N.P. 1973. ISBN nevedeno
4. KASTNER, F. a spol *Příručka pro enrgetické chemiky*. Pardubice: Dům techniky ČVTS v Pardubicích 1970 ISBN nevedeno
5. KOMZÁK, J. *Optimalizační metody ve vodárenství*. Praha: ČVUT PGS - fakulta strojní 1975 ISBN nevedeno.
6. KOMZÁK, J. *Využití novodobých fukulantů při úpravě vody čířením*. Praha: ČVUT, 1975. ISBN nevedeno.
7. KOTYK, J. a spol *Vodní hospodářství obcí měst a závodů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury 1963 ISBN nevedeno.
8. NEČAS, O. a spol *Obecná biologie*. Praha: AVICENUM zdravotnické nakladatelství 1975. ISBN nevedeno.
9. PITTER, P. a spol *Návody ke cvičením z technologie vody* Praha: SNTL 1972 ISBN nevedeno.
10. VOTRUBA, L a spol *Vodárenská nádrž Jordán*. Tábor: Městský národní výbor v Táboře 1988 ISBN nevedeno.

6. 2. Elektronické zdroje

1. Akademie věd České republiky Mikrobiologický ústav [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 22. 01. 2010]. Dostupné z: <<http://www.alga.cz/cs/sinice-a-rasy.html>>
2. Brožura „Vodní hospodářství jaderných energetických zařízení“ [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 30. 09. 2013]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/files/vhjae_06_uprava_vody_ionexy_aplikace_web.pdf>.
3. Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 22.02.2010]. Dostupné z: <<http://www.sinice.cz/>>..
4. Fytoplankton [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 22.02.2014]. Dostupné z: <http://www.fytoplankton.cz/doc/Vodni_kvety.pdf>.
5. Krajská hygienická stanice Jihočeského kraje [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 30. 09. 2013]. Dostupné z: <<http://www.khscb.cz/>>.
6. Masarykova Univerzita [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 02. 10. 2013]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/49862/prif_b/uvod_a_struktura_databaze-k_tisku.txt>.
7. Město Tábor [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 19. 02. 2013]. Dostupné z: <http://www.taborcz.eu/vismo/zobraz_dok.asp?id_org=16470&id_ktg=1384>.
8. Přejdi Jordán [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 07. 02. 2013]. Dostupné z: <<http://prejdijordan.webnode.cz/>>
9. Sinice a řasy [online]. Poslední aktualizace neuváděna. [cit. 17. 01. 2014]. Dostupné z: <<http://www.sinicearasy.cz/>>.