



## Středoškolská technika 2017

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

# Problém anoxických vrstev v nádrži Jordán a jejich posouzení

Václav Hron

Eliška Krůčková

Kristýna Mašková

Táborské soukromé gymnázium a Základní škola, s. r. o.

Zavadilská 2742

390 02, Tábor

## 1. Úvod

Je důležité se podívat do novodobé historie vodní nádrže Jordán, ta měla vždy význam jako zdroj pitné vody pro město Tábor, později i jako místo rekreace a sportovního rybolovu. Převzali jsme od minulých generací Jordán jako vodní dílo dokonale začleněné do krajiny a tvořící s městem Tábor neoddělitelný krajinný a architektonický celek se zdravou ekologickou rovnováhou. V poslední době se však ani Jordán, jako bohužel mnoho jiných nádrží u nás i ve světě, nevyhnul nepříznivému vlivu intenzivní činnosti člověka s nepříznivými důsledky na životní prostředí. Jako zdroj pitné vody trubní rozvod města Tábora sloužil Jordán ve 20. letech, ovšem bez zdravotního zabezpečení.

Teprve v roce 1932 byla použita jako prostředek chlorace. Dne 17. května 1933 byly zaslány vzorky filtrované vody z Jordánu do výzkumné stanice pro bakteriologii v Praze. Po rozbořech bylo uznáno, že pro další potřebu pitné vody pro město bude možno používat upravenou vodu z Jordánu. Na základě soustavného měření teploty jordánské vody v různých hloubkách, byl jako nejvýhodnější místo vodárenského odběru vybrán severovýchodní břeh nádrže, kde byla vybudována úprava vody „U Rytíře“. Z tohoto období je i mapa Jordánu zhotovená prof. dr. R. M. Bouškem.

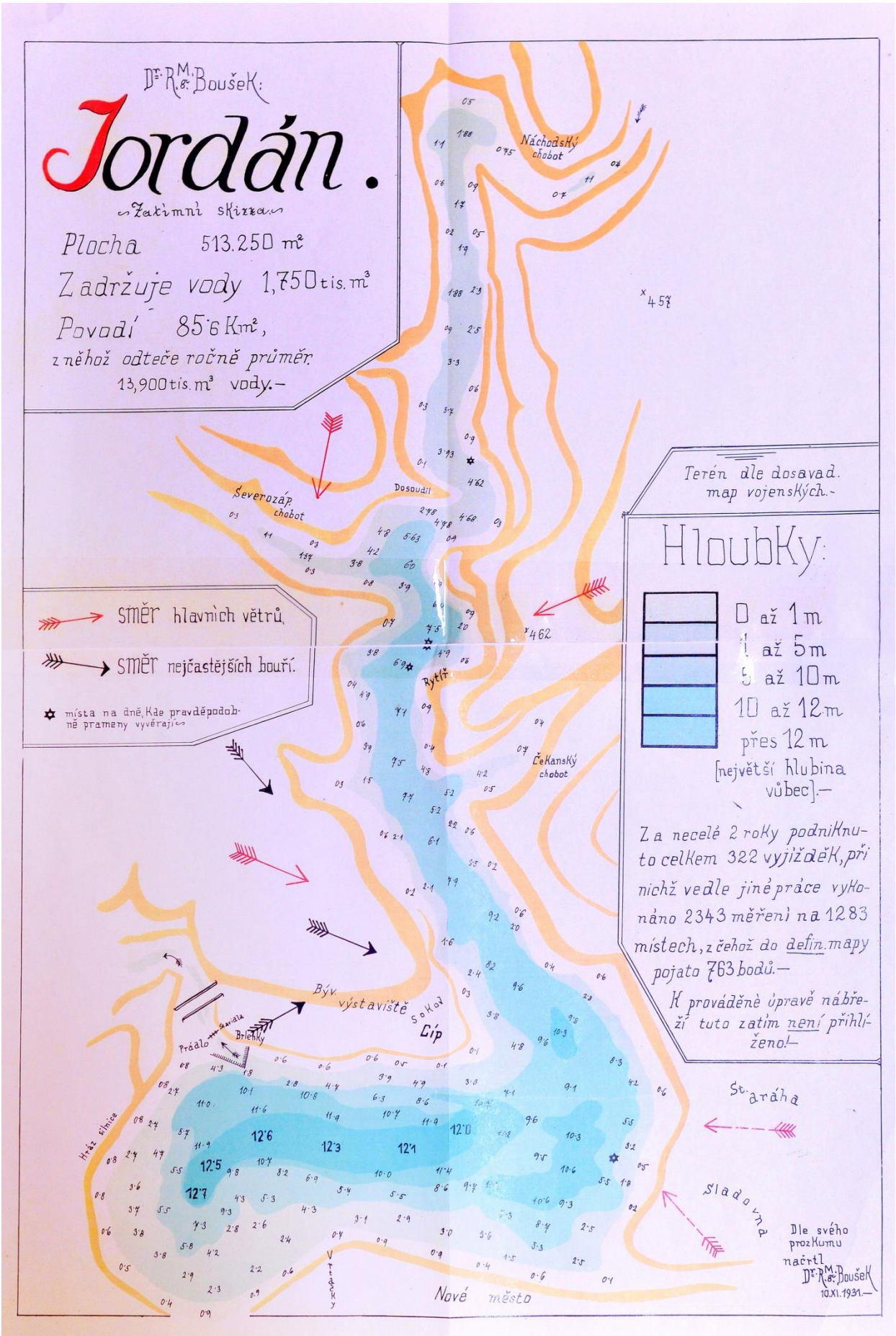
Z měření v letech 1981-82. vyplynulo, že nádrž Jordán s Košínem a Malým Jordánem lze řadit mezi silně eutrofní. Průměrné hodnoty obsahu dusičnanů překročili přípustné stupně znečištění. Přípustné hodnoty pro vodárenské toky byly 15mg/l dusičnanů a totéž se týkalo CHSK, kde byla hranice 8 mg O<sub>2</sub>/l. Upravená voda byla v těchto letech pachově závadná, což následně vedlo k vyřazení úpravní U Rytíře z provozu a do potrubního zařízení byla zavedena voda z Římovy. Zároveň bylo poškozeno i rekreační využití. V následujících letech

byl Jordán odbahněn s cílovým rokem 2014. Byly upraveny břehové partie a vybudována spodní výpusť. Tato nákladná a obří investice je jednou z cest, jak dále zvyšovat úroveň vlastního života, aniž by bylo znehodnocováno prostředí, v němž žijeme. Hlavním úkolem je udržet čistou vodu, v níž by probíhaly zdravé biologické procesy a která by se snadno dala upravit na kvalitní pitnou vodu a zároveň by byla využita i na rekreační účely. Velmi důležitým elementem je znovuzřízení spodní výpusti, čímž by se po více než sto padesáti letech z rybníka opět vytvořila nádrž se základním funkčním vybavením.

## **1.1. Cíl práce**

Abychom získali informace o aktuálním stavu anoxických vrstev a jejich poloze, byl námi realizován vlastní monitoring. Naší hlavním cílem bylo sledovat obsah a reakci látek ve vodním sloupci ve spodní části nádrže během roku 2016. Pozorovali jsme tyto aspekty: obsah kyslíku, hodnotu pH, vodivost, průhlednost vody, obsah nerozpuštěných látek, průtok vody za nádrží (odtok). Výsledky našeho měření jsme porovnávali s podobnými měřeními, která byla v režii města Tábora či Povodí Vltavy. Naším hlavním cílem bylo posoudit velikost a stav anoxických vrstev a sedimentu v nádrži, neboť vrstvy sedimentů mají také zásadní vliv na kvalitu vody, která v případě nádrže Jordán slouží k rekreaci, rybaření, ale i jako záložní zdroj pitné vody. Dále jsme se zaměřili na vliv mnoho diskutované spodní výpusti, s níž je spojena i údajná instalace malé vodní elektrárny v souvislosti se zařízením ESOX. Mimo jiné jsme se věnovali i proudění vody v nádrži a manipulačnímu řádu celé soustavy tzn. Košínský rybník, Malý Jordán, Velký Jordán, protože pro kvalitu vody je důležitý i kvalitní stav celého 85 km<sup>2</sup> velkého povodí.

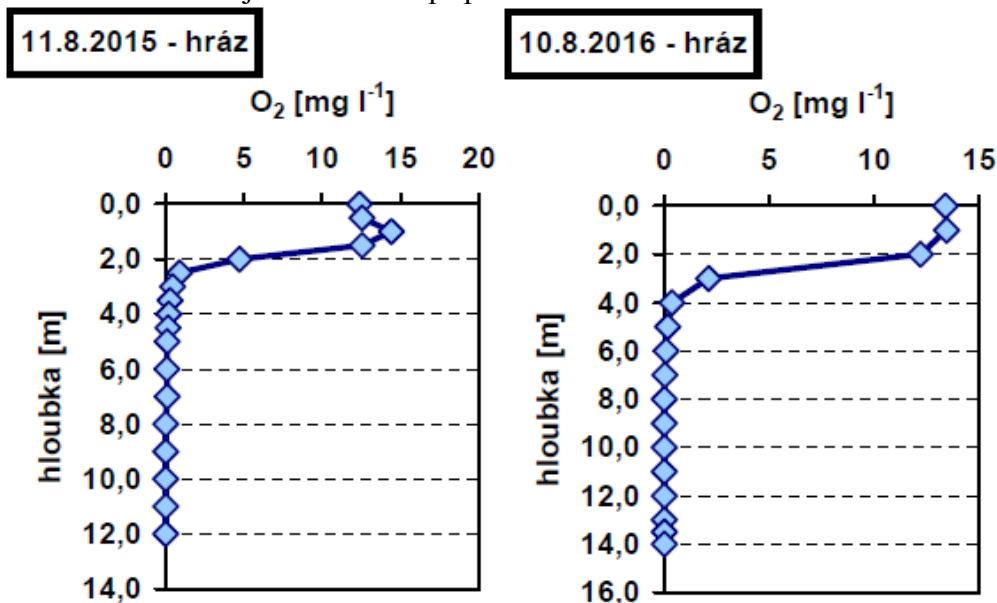
Mapa hloubek, zhotovena prof. dr. R. M. Bouškem



## 2. Sledování obsahu a reakcí látek ve vodním sloupci ve spodní části nádrže během roku 2016 a srovnání s rokem 2015

### 2.1. Obsah kyslíku u hráze

Meziroční srovnání obsahu kyslík, v uvedených obdobích nejsou patrné větší změny. Dobře provzdušněná voda dosahuje 4 m v obou případech.



Vývoj obsahu kyslíku u hráze za rok 2016

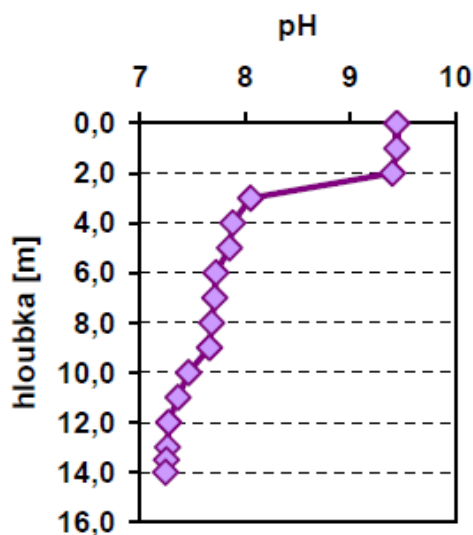
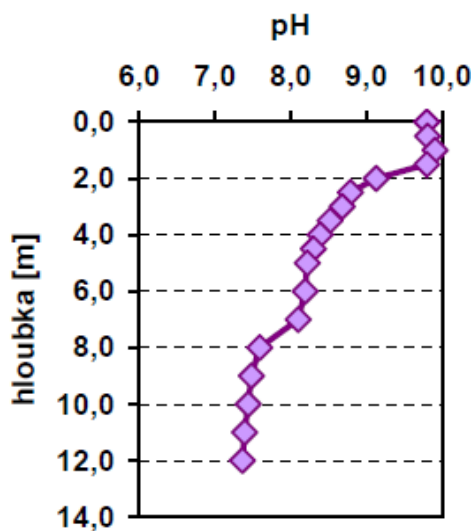
Datum odběru	2 metry	4 metry	6 metrů	8 metrů	10 metrů	12 metrů	14 metrů
6.4.2016	16 mg/l	14 mg/l	13 mg/l	11 mg/l	11 mg/l	10 mg/l	
27.4.2016	12 mg/l	9 mg/l	8 mg/l	9 mg/l	6 mg/l	4 mg/l	2 mg/l
18.5.2016	9 mg/l	7 mg/l	4 mg/l	5 mg/l	3 mg/l	1 mg/l	
9.6.2016	12 mg/l	7,5 mg/l	2 mg/l	3 mg/l	1 mg/l	0,5 mg/l	
22.6.2016	10 mg/l	7 mg/l	1 mg/l	1 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
12.7.2016	13 mg/l	3 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
28.7.2016	11 mg/l	0,5 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
10.8.2016	13 mg/l	0,5 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
24.8.2016	11 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
8.9.2016	11 mg/l	1 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l

## 2.2. Hodnota pH

Srovnání mezi roky 2015 a 2016 ukazuje, že v roce 2015 se pH pohybovalo ve vyšších řádech. Za což může zřejmě snížení hladiny v návaznosti na rekonstrukci Sokolské plovárny.

11.8.2015 - hráz

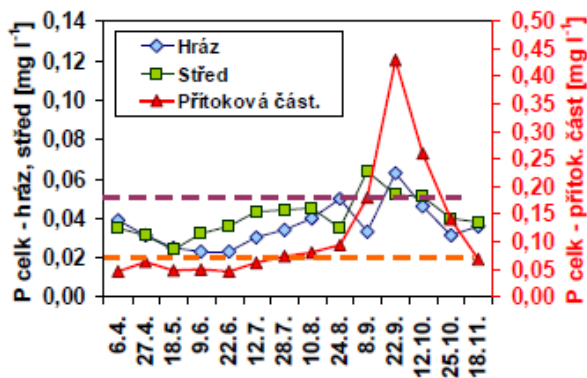
10.8.2016 - hráz



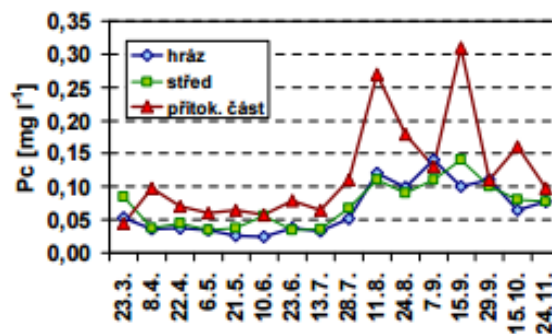
Přehled stavu pH během roku 2016

Datum odběru	2 metry	4 metry	6 metrů	8 metrů	10 metrů	12 metrů	14 metrů
6.4.2016	9	8,3	8	7,9	7,8	7,6	
27.4.2016	9	8	7,8	7,7	7,5	7,4	7,3
18.5.2016	7,9	7,5	7,2	7,2	7,2	7,2	
9.6.2016	8,8	7,8	7,4	7,3	7,3	7,3	
22.6.2016	8,4	7,6	7,5	7,5	7,4	7,4	7,6
12.7.2016	9,3	7,7	7,6	7,5	7,4	7,5	7,5
28.7.2016	9,1	7,5	7,4	7,3	7,3	7,2	7,1
10.8.2016	9,5	8,9	8,8	8,7	8,5	8,3	8,2
24.8.2016	9,1	7,6	7,2	7,2	7,1	7,1	7,1
8.9.2016	9,4	8	7,4	7,3	7,3	7,1	7

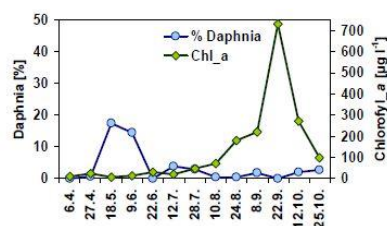
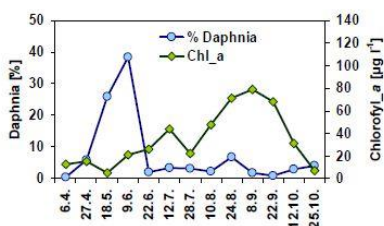
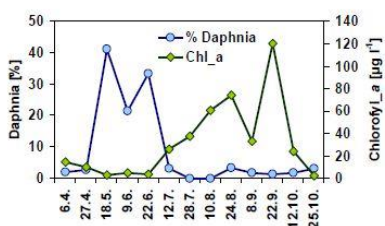
### 2.3. Srovnání obsahu celkového P a fosforečnanového fosforu (P-PO4) roky 2015-2016



Stav celkového P v roce 2015



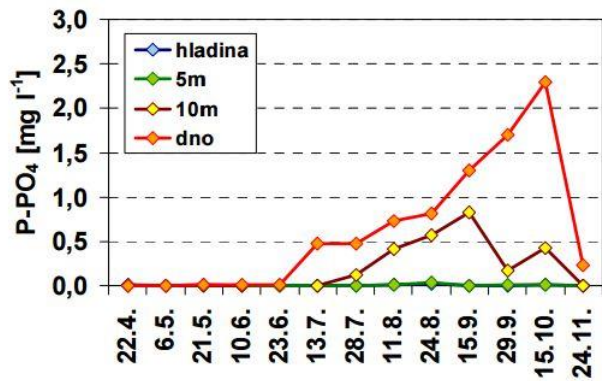
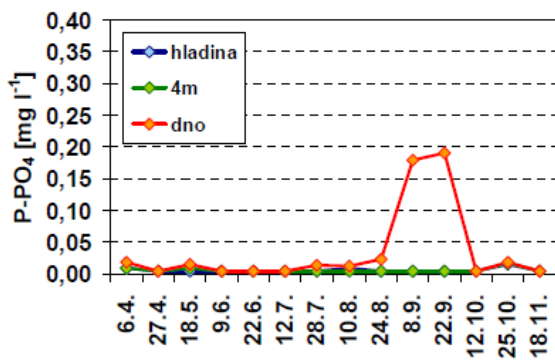
Stav celkového P v roce 2016



#### Vývoj obsahu sinic za rok 2015

Obsah planktonních sinic se zvýšil na dvojnásobek, koncentrace fosforu se zvýšila z 0,036 na 0,041 mg/l.

Důvody, proč k těmto zvýšeným koncentracím došlo. Fosfor se zvýšil v průřezu celé nádrže a to mělo za následek větší rozvoj planktonních sinic. Problémy také sledujeme v tom, že z Košínské nádrže byl realizován odtok spodní výpustí až do měsíce října, při vlastním pozorováních jsme také posuzovali organoleptické vlastnosti (zápach), jak na hrázi, tak na blízkém mostku přes Košínský potok, zápach byl výrazný.



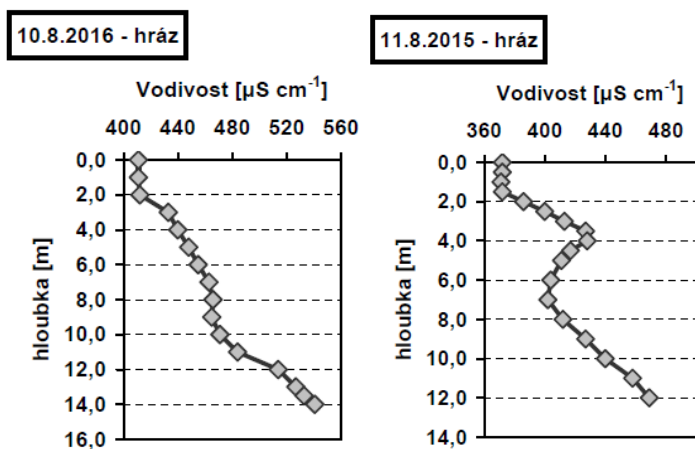
Stav P-PO<sub>4</sub> v roce 2016

Stav P-PO<sub>4</sub> v roce 2015

Přes mírné zvýšení koncentrací, nepřesáhly povolené úrovně a střední části nádrže koncentraci celkového P 0,05 mg/l, to je hodnota, kterou uvádí NV 401/2015 jako nejvyšší přípustnou hodnotu pro rekreační využití.



## 2.4. Sledování vodivosti u hráze



Provádíme srovnání grafů z webu města Tábora mezi roky 2015 a 2016. Měříme vodivost a na přiloženém grafu je patrné, že v roce 2016 zaznamenáváme vývoj plynů, mající původ v rozkladu organických látek už 4m pod hladinou.

V roce 2015 ve stejném datu zaznamenáváme vývoj plynů mající původ v rozkladu organických látek až 9m pod hladinou.

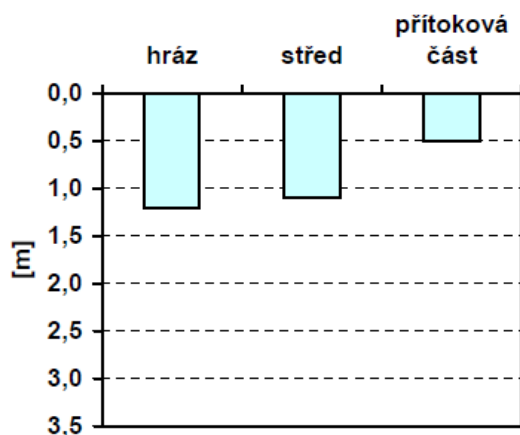
Přehled měření vodivosti za rok 2016

Datum odběru	2 metry	4 metry	6 metrů	8 metrů	10 metrů	12 metrů	14 metrů
6.4.2016	425 µS cm-1	426 µS cm-1	428 µS cm-1	429 µS cm-1	430 µS cm-1	431 µS cm-1	
27.4.2016	430 µS cm-1	438 µS cm-1	439 µS cm-1	440 µS cm-1	441 µS cm-1	443 µS cm-1	450 µS cm-1
18.5.2016	439 µS cm-1	439 µS cm-1	440 µS cm-1	441 µS cm-1	450 µS cm-1	459 µS cm-1	
9.6.2016	430 µS cm-1	439 µS cm-1	440 µS cm-1	440 µS cm-1	445 µS cm-1	470 µS cm-1	
22.6.2016	425 µS cm-1	430 µS cm-1	440 µS cm-1	445 µS cm-1	454 µS cm-1	461 µS cm-1	553 µS cm-1
12.7.2016	420 µS cm-1	430 µS cm-1	440 µS cm-1	450 µS cm-1	450 µS cm-1	500 µS cm-1	530 µS cm-1
28.7.2016	415 µS cm-1	425 µS cm-1	440 µS cm-1	450 µS cm-1	460 µS cm-1	480 µS cm-1	520 µS cm-1
10.8.2016	441 µS cm-1	440 µS cm-1	450 µS cm-1	460 µS cm-1	470 µS cm-1	510 µS cm-1	540 µS cm-1
24.8.2016	410 µS cm-1	430 µS cm-1	460 µS cm-1	470 µS cm-1	480 µS cm-1	520 µS cm-1	540 µS cm-1
8.9.2016	380 µS cm-1	390 µS cm-1	450 µS cm-1	450 µS cm-1	460 µS cm-1	480 µS cm-1	500 µS cm-1

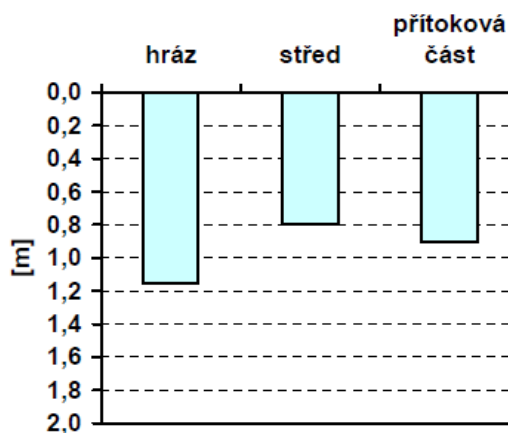
## 2.5. Sledování průhlednosti vody

Srovnání průhlednosti vody za rok 2015 a 2016, na němž není patrná větší progresse.

**11.8.2015 - Průhlednost vody**



**10.8.2016 - Průhlednost vody**

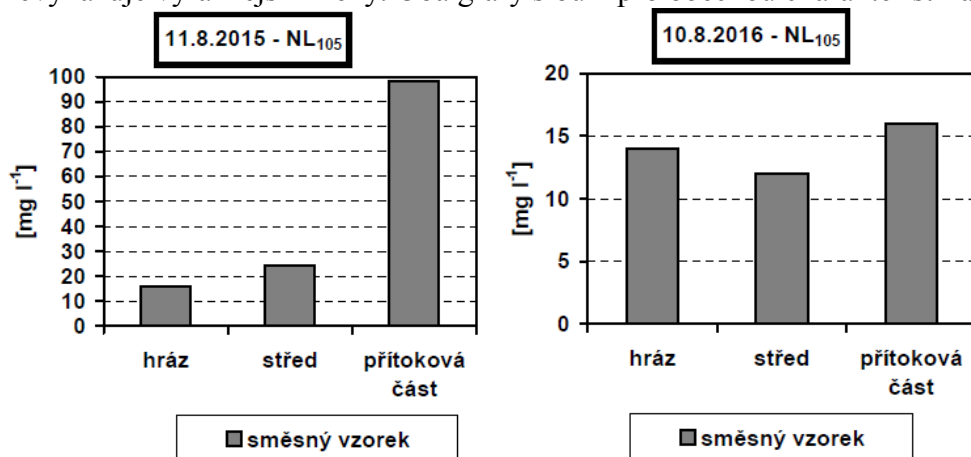


Přehled stavu vody za rok 2016 u hráze nádrže a v přítokové části

Datum odběru	Hráz	Přítoková část
6.4.2016	1,0m	0,6m
27.4.2016	1,4m	1,1m
18.5.2016	4,7m	1m
9.6.2016	3m	1m
22.6.2016	3,6m	1,4m
12.7.2016	1,6m	0,9m
28.7.2016	2m	1m
10.8.2016	1,1m	0,9m
24.8.2016	1,6m	0,8m
8.9.2016	1,7m	0,6m

## 2.6. Sledování obsahu nerozpuštěných látek

Na přiložených grafech za rok 2015 a 2016 je mezi zmíněnými roky vidět výrazné snížení obsahu nerozpuštěných látek v oblasti přítokové části. Oblast u hráze a ve středu nádrže nevykazuje výraznější změny. Oba grafy slouží pro obecnou charakteristiku.

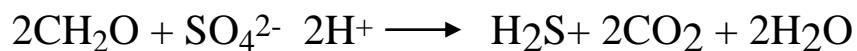


Vývoj obsahu nerozpuštěných látek NL<sub>105</sub> za rok 2016

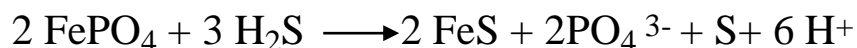
Datum odběru	Hráz	Přítoková část
6.4.2016	6 mg/l	12 mg/l
27.4.2016	7 mg/l	9 mg/l
18.5.2016	2 mg/l	7 mg/l
9.6.2016	7 mg/l	12 mg/l
22.6.2016	3,5 mg/l	9,8 mg/l
12.7.2016	6 mg/l	10 mg/l
28.7.2016	14 mg/l	16 mg/l
10.8.2016	7,5 mg/l	11 mg/l
24.8.2016	13 mg/l	28 mg/l
8.9.2016	8 mg/l	30 mg/l

## 2.7. Vliv soustavy rybníků na eutrofizaci nádrže

Pro nádrž velmi zatíženou živinami je typická vysoká primární produkce. Rozklad odumřelé organické hmoty je rychlý a vede k vyčerpání kyslíku a tvorbě anaerobních podmínek u dna, látky jsou redukovány za vzniku sulfanu-sirovodíku.



Zároveň dochází k uvolňování fosfátů dle této rovnice:

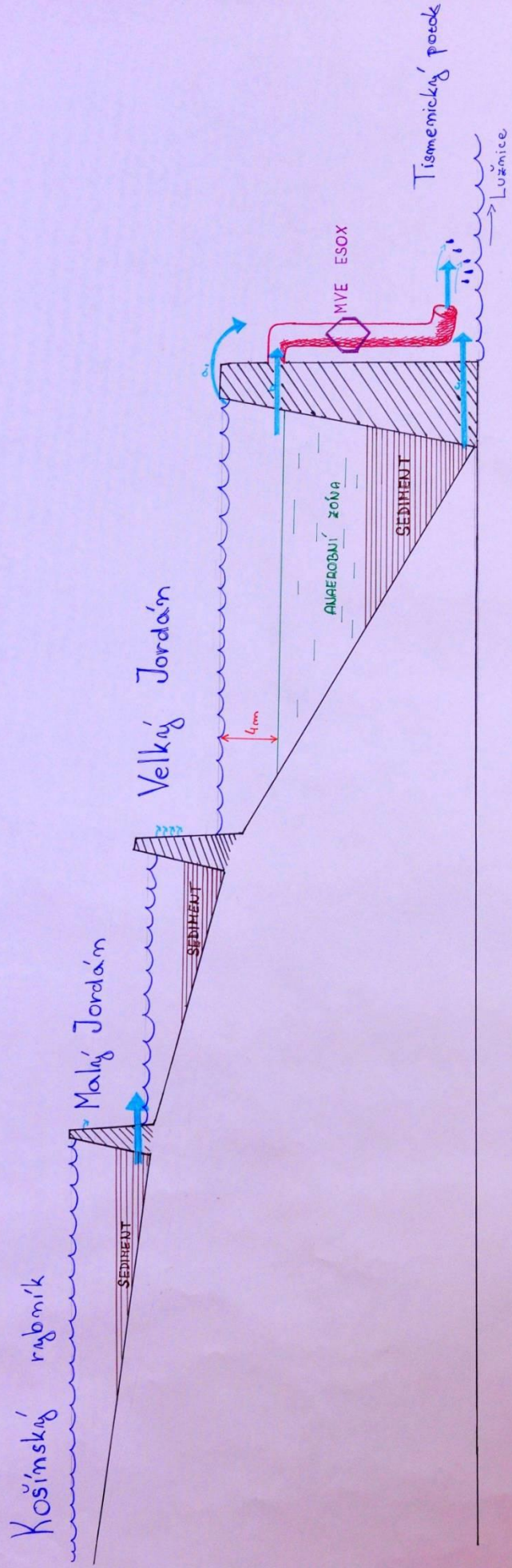


Vznikají rozpustné fosfáty, které se dostávají do celého vodního sloupce a podporují tvorbu rostlinné biomasy, tedy růst sinic.

Tabulka ukazující stupeň trofie nádrží (upravená kritéria OECD 1982)

stupeň trofie	oligotrofie	mezotrofie	eutrofie	hypertrofie
veškerý fosfor (ug/l)	<15	15-50	50-200	>200
chlorofyl a (ug/l)	<3	3-7	7-30	>30
průhlednost (m)	>5	2-5	0,5-2	<0,5

# Soustava Košímský rybník, Malý Jordán a Velký Jordán



### 3. Vlastní monitoring

Veškerá školní měření vyplývají ze vzorků, které byly odebrány 12. 10. 2016.

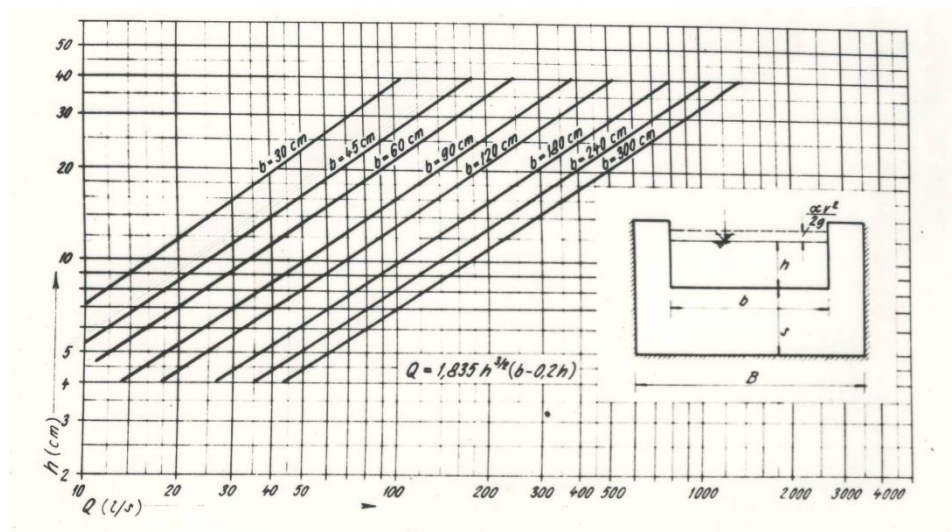
#### 3.1. Měření kvality vody v nádrži

Měření teploty a průhlednosti vody byla prováděna u stavidla Malého Jordánu a na mole u Sokolské plovárny na nádrži Velký Jordán, dále byly odebrány vzorky vody z obou nádrží, později analyzované ve školní laboratoři. Kontrolní měření byla provedena i pod hrází Jordánu, tzn. nedaleko výtokového potrubí u firmy ESOX.

	Malý Jordán (stavidlo)	Velký Jordán (plovárna-molo)	výpust' ESOX
pH	7,42	7,24	7,17
vodivost (mS/cm)	390	420	430
teplota (C)	21,2	21,1	21
průhlednost (cm)	120-130	145	-

#### 3.2. Sledování průtoku vody za nádrží (odtoku)

Orientační měření průtoku vody na Tismenickém potoce (pod hrází rybníka Jordán), bylo vykonáno v místě nacházejícím se asi 20m od výtokového potrubí a firmy ESOX. Poznamenáváme, že se jednalo o vodu odebíranou přibližně 4m pod hladinou Jordánu. Průtok byl odhadnut v korytě potoka (vzdálenost břehů 2,40 m, výška hladiny 18cm). V době měření nebyla v provozu spodní výpust' Jordána ani vrchní přepad přes vodopád. To znamená, že veškerý odtok z Jordánu byl 300 l/s. Odtok vody byl odhadnut díky tzv. Ponceletovu přepadu.



Ponceletův přepad

### 3.3. Fotografická dokumentace



Odběr vzorků na molu Jordánu



Nevyužívaná spodní výpust'



Tisemenický potok



Analýza vzorků v laboratoři



#### **4. Posouzení anoxických vrstev v nádrži**

Spodní vrstvy vody (hypolimnium) jsou bez kyslíku (není nijak překvapivé). U dna dolní části nádrže byly v pozdně letním a podzimním období zaznamenány silně anaerobní podmínky s rizikem vzniku toxického sirovodíku. Což dokazujeme laboratorní rozborem vodivosti vody při srovnávání roku 2015 a 2016 v první dekádě července. Samotné vysoké koncentrace fosforu u dna v prostoru u hráze nejsou pro rozvoj sinic v horní vrstvě zásadní, protože hypolimnium je oddělené od horní vrstvy vody (epilimnium) tzv. skočnou vrstvou v hloubce okolo 4m. Nebezpečí zde, ale představu vysoký obsah sinic ve zbytku bahna, proto je tak důležité provzdušnění spodní vrstvy nádrže využitím spodní výpusti.

## 5. Závěr a zhodnocení

Jordán se chová jako stojatá voda, jelikož není využívána spodní výpusť. Naše práce dokazuje, že nutná je areace hypolimnia, prouděním vody přes spodní výpusť.

Koncentrace fosforu v nádrži se zvýšila na dvojnásobek, úroveň planktonních sinic se zvedla dvakrát. Odtok z nádrže byl uskutečňován hlavně přes výpusť ESOX, horním přepadem byl odtok realizován minimálně. Odhadovaný průměrný průtok v roce 2016 byl mezi 150-170 l/s (obvyklý průtok je 400 l/s). To zapříčinilo vzrůst anaerobní vrstvy v nádrži Jordán, v části při hrázi se objevily sinice i na povrchu.

Z naší práce vyplývá, nutnost zlepšení hospodaření s vodou v povodí, tak aby část vody mohla sloužit pro samočisticí děje v nádrži. Pro zachování dobrého vnosu kyslíku do spodní části nádrže je nutné, aby tuto úlohu sehrála spodní výpusť.

Je nutné také prověřit, vrchní odtok (ESOX), aby nemohlo dojít k nadužívání tohoto množství vody (Domníváme se, že tento odtok není vlastně vůbec měřen. Sjednané množství pro tuto firmu je 75 l/s). Nutností je též připomenout, že zabezpečený odběr pro všechny je 203 l/s, pro trvalé krytí všech požadavků, pak nezbyvá kapacita pro samočisticí schopnost.

## 6. Zdroje

### 6.1. Knižní zdroje

FIKR, Jaroslav a Jaroslav KAHOVEC. *Názvosloví organické chemie*. Olomouc: Rubico, 2002.

REMY, Heinrich. *Anorganická chemie*. SNTL, 1972.

Potužák Jan. *Vývoj kvality vody VN Jordán v sezóně 2015*. České Budějovice: Povodí Vltavy, 2015.

Potužák Jan. *Vývoj kvality vody VN Jordán v sezóně 2016*. České Budějovice: Povodí Vltavy, 2016.

### 6.2. Internetové zdroje

<http://www.taborcz.eu/kvalita-vody-v-jordanu-rok-2015/ds-2055/archiv=0>

<http://www.taborcz.eu/kvalita-vody-v-jordanu-rok-2016/ds-2390>