

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A**  
**ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Účinnost retence fosforu v předzdržích vodní  
nádrže Švihov**

**Efficiency of phosphorus retention in retention dams of  
the water reservoir Švihov**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.**

**Bakalant: Lenka Čubová**

**2017**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lenka Čubová

Územní technická a správní služba

Název práce

**Účinnost retence fosforu v předzdržích vodní nádrže Švihov**

Název anglicky

**Efficiency of phosphorus retention in retention dams of the water reservoir Švihov**

---

### Cíle práce

Na datech poskytnutých z podniku Povodí Vltavy s.p. bakalantka vyhodnotí účinnost retence fosforu v předřadných nádržích ( VN Němčice, VN Sedlice, VN Trnávka) vodní nádrže Švihov na Želivce. Na základě látkové bilance fosforu zhodnotí účinnost jednotlivých nádrží a pokusí se posoudit jejich vliv na míru eutrofizace vodárenské nádrže Švihov.

### Metodika

- o Bakalářská práce typu zpracování již existujících dat
- o Význam přísunu fosforu, který určuje míru oživení ekosystému VN Švihov
- o Popis získávání hodnot- odběry vzorků laboratoří, zpracování vzorků a měření koncentrace, výpočty bilancí
- o Popis povodí VN Švihov
- o Prezentace získaných dat-tabulky, grafy, výpočty bilancí
- o Srovnání dat s předchozími výsledky proběhlého monitoringu z let 2006-2010

**Doporučený rozsah práce**

30-50 stran

**Klíčová slova**

vodní nádrž, předzdrže, fosfor, retence, látková bilance

---

**Doporučené zdroje informací**

Dobiáš, J., Forejt, K., Duras, J., Marcel, M., Liška, M. 2013. Předzdrže v povodí VN Švihov-látková bilance, účinnost retence fosforu. Vodní nádrže, 2013, 64-69.

Liška, M., Duras, J. 2011. VN Švihov – monitoring kvality vody v povodí a jeho výsledky. Vodní hospodářství, 3/2011, 93-97.

Liška, M., Krátký, M., Goldbach, J., Soukupová, K., Forejt, K. 2012. Největší zdroj pitné vody v České republice – vodárenská nádrž Švihov na Želivce. Vodní hospodářství, 3/2012, 78-82.

Pitter, P. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Hydrochemie. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

Štědranský, E., Hartman, P., Příkryl, I. Hydrobiologie. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-046-6.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2017

---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Martina Heřmanovského, Ph.D. Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze 18.4.2017

.....

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Martinovi Heřmanovskému, Ph.D. a RNDr. Karlu Forejtovi za užitečné rady a konzultace. Celé mé rodině a přátelům za veškerou podporu.

V Praze 18.4.2017

.....

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou látkové bilance fosforu v předzdržích vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Předřadné vodní nádrže Němčice, Trnávka a Sedlice byly vybudovány jako ochrana hlavní vodárenské nádrže Švihov. Vzorke na stanovení celkového fosforu byly v rámci vodohospodářského monitoringu odebírány a následně zpracovány pracovníky laboratoří Praha státního podniku Povodí Vltavy. Měsíční průtoky na vstupech a výstupech u jednotlivých nádrží byly získány z limnigrafických stanic. Z těchto údajů, které poskytl státní podnik Povodí Vltavy, byly spočítány látkové bilance fosforu v jednotlivých nádržích. Z hlediska retence živin se účinnost těchto tří předřadných nádrží pohybuje v rozmezí 22,9-48,4 % zachyceného fosforu. Předřadné nádrže příznivě ovlivňují jakost povrchové vody tím, že transformují přicházející živiny a zachycují splaveniny z povodí, které se neusazují v samotné vodárenské nádrži

## **Klíčová slova**

vodní nádrž, předzdrže, fosfor, retence, látková bilance

## **Abstract**

This work deals with mass balance of phosphorus in the forline water reservoir Švihov in Želivka river. Retention dams Němčice, Trnávka and Sedlice were built to protect the main water reservoir Švihov. Samples for determination of total phosphorus were within the water management monitoring collected and subsequently processed by laboratory staff of Prague state enterprise Vltava River. Monthly flows on inputs and outputs for each tank were obtained from limnigraphic stations. From those dates, which were provided by the state enterprise Vltava River, they were calculated by mass balance of phosphorus in individual tanks. In term of retention of efficacy of those nutrients ballasts tank is in the range 23-48% of the deposited phosphorous. Retention dams favorably influence the quality of surface water, and that transform the incoming nutrients and trap silt from the basin, which are thus not deposited in the water reservoir itself.

## **Key words**

water reservoir, retention dams, phosphorus, retention, mass balance

## **Obsah**

1.ÚVOD	9
2.CÍLE PRÁCE	10
3.LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1 Povrchové vody	11
3.3.1 Výskyt a členění povrchových vod	11
3.1.2 Kvalita povrchových vod	12
3.2 Typy znečištění pov. vod a situace v povodí VN Švihov	13
3.3 Fyzikálně chemické vlastnosti fosforu a jeho sloučenin	14
3.3.1 Fosfor jako prvek	14
3.3.2 Sloučeniny fosforu	15
3.3.3 Přírodní a antropogenní zdroje sloučenin P	16
3.4 Formy fosforu vyskytující se ve vodách	17
3.5 Stratifikace teploty, fosforu a eutrofizace vody v nádržích	19
3.5.1 Stratifikace teploty a fosforu v nádržích	19
3.5.2 Eutrofizace vod v nádržích	21
4.METODIKA	24
4.1 Provozní monitoring vody PVL, s. p. a poskytnutá data	24
4.1.1 Monitoring jakosti vody	24
4.1.2 Data k vypracování bakalářské práce	25
4.2 Měření průtoků	27
4.3 Odběr vzorků na stanovení fosforu	27
4.4 Předúprava vzorků v laboratoři	28
4.5 Stanovení celkového fosforu v laboratoři	29
4.5.1 Metoda ICP-MS	29



4.6 Hodnocení látkových bilancí	31
5. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ –	
VN Švihov na Želivce	32
5.1 Charakteristika a technická data vodního díla Švihov	32
5.2 Předzdrže VD Sedlice, Němčice a Trnávka	37
6. VÝSLEDKY PRÁCE	39
7. DISKUSE	51
8. ZÁVĚR	53
9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
9.1 Seznam literatury	54
9.2 Seznam internetových zdrojů	56
9.3 Seznam obrázků	57
9.4 Seznam tabulek	59
10. PŘÍLOHY	60

## 1. ÚVOD

Vodní nádrž Švihov na Želivce (dále jen VN Švihov) poskytuje surovou vodu pro úpravu na vodu pitnou pro více než 1,2 mil. obyvatel. Protože se jedná o největší vodárenský zdroj v ČR, je nutno jej sledovat a chránit úměrně jeho významu. Jakost vody v celé oblasti povodí Želivky je proto intenzivně sledována a to jak na nejvýznamnějších přítocích, tak i na vlastní vodárenské nádrži a předzdržích. Slouží k tomu tzv. vodohospodářský monitoring jakosti vody, který provozuje správce povodí (Povodí Vltavy, státní podnik) společně s provozovatelem úpravny Želivka (Pražské vodovody a kanalizace, a.s.).

Nedílnou součástí VN Švihov jsou představné vodní nádrže Němčice na Sedlickém potoce, Trnávka na vodním toku Trnava a vodní nádrže Sedlice a Vřesník na vodním toku Želivka (dále jen VN Němčice, VN Trnávka, VN Sedlice a VN Vřesník). Příznivě ovlivňují jakost povrchové vody tím, že zachycují splaveniny z povodí a transformují přicházející živiny, které se tak neusazují v samotné vodárenské nádrži. Fosfor, na který je práce zaměřena, v nich dílem sedimentuje a dílem transformuje do řas a sinic a tím se tak zamezuje jeho přísunu do vlastní vodárenské nádrže (retence živin). Sloučeniny fosforu hrají důležitou roli v koloběhu látek, přičemž fosfor jako limitující prvek produkce fytoplanktonu má klíčovou úlohu pro eutrofizaci povrchových vod.

## **2. CÍLE PRÁCE**

Cílem práce je na datech poskytnutých státním podnikem Povodí Vltavy (údaje o koncentracích fosforu a průtocích na vstupu a výstupu jednotlivých předzdrží) vyhodnotit za období let 2011-2014 účinnost retence fosforu v předřadných nádržích (VN Němčice, VN Sedlice, VN Trnávka) vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Na základě výpočtu látkové bilance fosforu v jednotlivých letech zhodnotím účinnost jednotlivých nádrží z hlediska zachycování fosforu a jejich vliv na míru eutrofizace vodárenské nádrže Švihov.

### 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

#### 3.1 Povrchové vody

##### 3.1.1 Výskyt a členění povrchových vod

Všechny vody, které se vyskytují na povrchu naší Země, jsou vodami povrchovými. Rozdělit je můžeme na mořské a kontinentální. Povrchové vody kontinentální se vyskytují v tekoucí a stojaté formě. Tekoucí vody rozlišujeme podle užití na toky vodárenské a ostatní (např. závlahy, chov ryb, průmyslové účely, rekreaci atd.). Samostatným typem vod je voda brakická, vzniklá smícháním vody mořské a říční. (Pitter 1999).

Z pohledu využitelných vodních zdrojů v České republice mají povrchové vody největší zastoupení. Představují  $1,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  povrchové vody za rok, která je využita pro zásobování obyvatelstva, v zemědělství a průmyslu. Pro srovnání podzemní voda se na tomto stavu podílí  $4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  ročně (Komínková a kol. 2014).

Povrchové vody mohou být ovlivněny např. geologickou skladbou podloží, poměry hydrologicko-botanickými (roční období, srážkové a teplotní poměry), půdně botanickými poměry, (zalesnění nebo druh půdy), přívodem podzemních vod a antropogenní činností z průmyslu, zemědělství, komunálních odpadů nebo i dálkovým transportem škodlivin (Pitter1999).

Mezi stojaté povrchové vody řadíme jezera, což jsou vodní nádrže vzniklé přirozenou cestou. Mohou být sladkovodní nebo slaná. Nádrže a rybníky naopak vznikají umělým přehrazením vodních toků. (Pitter1999).

Vodárenská nádrž je nádrž určená k hromadnému zásobování vodou, jak pitnou tak užitkovou. Od toků se vodní nádrže odlišují hloubkou a dobou průtoku. Voda v nich buď stagnuje, nebo pomalu teče a doba průtoku se pohybuje od desítek dnů až po více jak rok (tzv. doba zdržení jako ukazatel výměny vody v nádrži). V důsledku toho v hlubších nádržích dochází k vertikální stratifikaci teploty, oxidu uhličitého, rozpuštěného kyslíku, sloučenin dusíku a fosforu a dalších složek. Do jisté míry lze řízením odtoku měnit i chemické složení vody v nádrži nebo na odtoku, což představuje možnost ovlivňovat v silně stratifikovaných nádržích jakost vypouštěných vod. Ve vodárenství se zase využívá možnosti odběrů vody z různých hloubek, podle jakosti vody v určité vrstvě. Co se týče rozdílu v množství celkového fosforu

v tekoucích a stojatých vodách v obou typech vod se od sebe moc neliší, protože v nich probíhají stejné chemické a biochemické reakce (Pitter 1999).

### 3.1.2 Kvalita povrchových vod

Kvalita povrchových vod je zjišťována pomocí celé řady ukazatelů. U tekoucích vod se mění kvalita vod v délce i šířce toku, u stojatých povrchových vod je změna kvality vody ovlivněna také hloubkou. Tyto změny jsou způsobovány jak antropogenním znečištěním, tak i sezónními jevy, například cirkulací vody v nádržích. Nejvíce kolísají hodnoty pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku a obsah rozpuštěných látek. Povrchové vody obecně jsou charakterizovány nízkými hodnotami koncentrací hydrogenuhličitánů, u neznečištěných vod i poměrně nízkými koncentracemi rozpuštěných forem dusíku a fosforu (Komínková a kol. 2014).

Nejdůležitějšími ukazateli při hodnocení kvality povrchových vod tekoucích jsou ukazatele kyslíkového režimu – vypovídající o samočisticí schopnosti toků (rozpuštěný kyslík, BSK<sub>5</sub>-biologická spotřeba kyslíku CHSK-chemická spotřeba kyslíku, TOC- celkový organický uhlík a sulfidická síra). K dalším ukazatelům patří ukazatele základního chemického složení (koncentrace síranů a chloridů, tvrdost vody, množství nerozpuštěných látek), dále obsah živin (koncentrace amoniakálního, dusitanového a dusičnanového dusíku, fosforečnanů a celkového fosforu). Ukazatelem, který charakterizuje stav oživení je tzv. saprobní index makrozoobentosu, nově potom od platnosti Rámcové směrnice ekologický stav. U povrchových vod stojatých, tj. nádrží a jezer, se mění oxidačně-redukční potenciál, a acido-bazická rovnováha, které způsobují vertikální stratifikaci ukazatelů jakosti např. teploty, rozpuštěného kyslíku, volného oxidu uhličitého, sloučenin fosforu, železa, manganu, vápníku (Pitter 1999).

Povrchové tekoucí vody je možno prostřednictvím ukazatelů klasifikovat do stupňů čistoty, tzn. třídit toky podle dosažených hodnot jednotlivých ukazatelů jakosti vody. Ukazatele se dělí na individuální (např. P-fosfor, N-dusík, Fe-železo, Mn-mangan) a skupinové (např. CHSK, BSK, AOX-halogenované organické sloučeniny). Pro účely hodnocení se ukazatele sdružují do skupin, např. ve skupině ukazatelů kyslíkového režimu vody jsou tyto ukazatele: teplota, koncentrace rozpuštěného kyslíku, BSK<sub>5</sub>, CHSK, saprobita. Problematikou hodnocení jakosti vody se zabývá nařízení vlády

č.82/1999 Sb, v platném znění, kde jsou stanoveny ukazatele přípustného znečištění povrchových vod. Pro hodnocení jakosti vod se v minulosti používala ČSN 75 7221 Jakost vod – klasifikace jakosti povrchových vod, která sloužila pro hodnocení jakosti vod a při rozhodování o vypouštění vod odpadních do povrchových. Podle normy ČSN 75 7221 Jakost vod v platném znění se ukazatele jakosti vody dělí na obecné, fyzikální a chemické, specifické organické látky, kovy, radiologické, biologické a mikrobiologické ukazatele. Jakost vody se klasifikuje pro každý ukazatel zvlášť. Existuje možnost posoudit jakost vody souhrnně pomocí všech nebo vybraných ukazatelů nebo skupin jakosti vod. Jsou to např. BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, koncentrace či obsah amoniakálního dusíku, dusičnanového dusíku, celkového fosforu a saprobní index. Podle této ČSN se tekoucí povrchové vody zařazovaly do 5 tříd jakosti, od I. třídy jakosti-neznečištěná voda až po V. třídu jakosti-velmi znečištěná voda (Pitter 1999).

S platností tzv. Rámcové směrnice o vodách 2007 se od výše uvedené ČSN ustupuje a stav vodních toků nebo útvarů povrchových vod se vyjadřuje nově pomocí tzv. chemického a ekologického stavu (Karel Forejt 2016, in verb).

Povrchová voda pro úpravu na vodu pitnou se posuzuje podle zákona č.274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích a prováděcí vyhlášky č.428/2001 Sb. v platném znění. Surová voda se zařazuje podle vybraných ukazatelů jakosti vody do kategorií A1, A2, A3 – tj. podle upravitelnosti. Na základě těchto tříd se pak volí příslušná technologie vodárenské úpravy (Komínková a kol. 2014).

### **3.2 Druhy znečištění povrchových vod**

Samotné znečišťování povrchových vod je možno rozdělit do tří druhů: bodové (odpadní vody z čistíren, přítoky městské a dešťové kanalizace do toků), plošné znečištění (splachy z půdy, zvláště půdy zemědělsky obdělávané) a třetím druhem je difúzní znečištění, což je rozptýlené znečištění pocházející z bodových zdrojů (např. neodkanalizovaná lidská sídla). Tato práce se zabývá sloučeninami fosforu, který je v našich podmínkách hlavním původcem eutrofizace. Hlavním antropogenním zdrojem sloučenin fosforu jsou splaškové vody, to znamená fosfor pocházející z fekálií a pracích prostředků, a splachy z obdělávané zemědělské půdy (Pitter 1999).

### 3.3 Fosfor v povrchových vodách

Fosfor se vyskytuje hojně v zemské kůře (asi 0,12%) a jen ve formě sloučenin. Celkové zásoby fosfátů na Zemi se odhadují na 71 miliard tun (URL 12).

Jeho hlavními zdroji jsou minerály, hnojiva a odpadní vody. Ve vodách se vyskytuje přirozeně jako anionty kyseliny fosforečné, přičemž anionty  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$  převládají v hodnotách pH vody okolo 7. Zvýšené množství fosforu přispívá k nadměrnému růstu řas. V přírodních vodách se formy fosforu vyskytují v setinách až desetínách mg/l (Manahan 1991).

#### 3.3.1 Fosfor jako prvek

Fosfor je nekovový prvek, dosahuje různých oxidačních čísel: -III, -II, I, II, III, IV, V. Vyskytuje se v několika alotropních formách, které mají různé uspořádání krystalové mřížky a tudíž i odlišné fyzikální a chemické vlastnosti (URL 11).

Bílá, krystalická, vysoce jedovatá forma se skládá ze čtyř atomů fosforu spojené jednoduchými vazbami do klastru  $\text{P}_4$  (viz obrázek 1) Delším zahříváním při asi 250°C se mění na formu červenou, která vykazuje vysokomolekulární povahu (viz obrázek 2). A třetí formou je vysoce polymerní černý fosfor (viz obrázek 3), který svou vrstevnatou strukturou připomíná kovy (Jursík 2001).

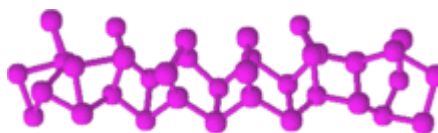
Nejreaktivnější je prudce jedovatý bílý fosfor, na vzduchu je samozápalný, uchovává se pod vodou. Červený fosfor není jedovatý, je docela stálý, využívá se k výrobě zápalek. Černý fosfor je nejvíce stálý (Muck, Paleta 1998).

Jednou z modifikací červeného fosforu je také např. fosfor fialový, který vzniká jeho zahříváním při teplotě 550°C (URL 11)

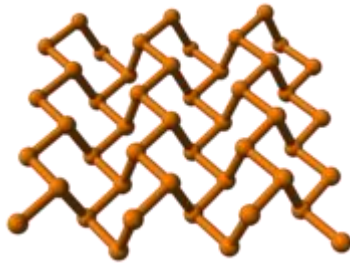
Obr.1 Bílý fosfor (URL 1)



Obr.2 Červený fosfor (URL 2)

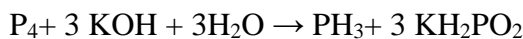


Obr.3 Černý fosfor (URL 3)



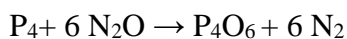
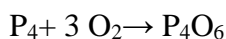
### 3.3.2 Sloučeniny fosforu

S vodíkem tvoří fosfor hydridy, což jsou plynné a těkavé kovalentní sloučeniny, které mají redukční účinky. Jedním z představitelů je fosfan, vznikající např. z bílé formy fosforu působením hydroxidu draselného a tepla dle rovnice (Jursík 2001):

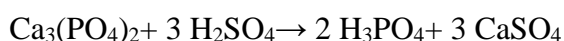


Další skupinou odvozenou od hydridů jsou halogenidy, které je možno připravit přímou reakcí halogenů s fosforem. Jedná se o fluoridy, chloridy, bromidy a jodidy fosforu (Jursík 2001).

Sloučením s kyslíkem se tvoří oxidy, např. příprava oxidu fosforitého probíhá buď spalováním fosforu  $\text{P}_4$  na vzduchu, nebo oxidací  $\text{P}_4$  oxidem dusnatým dle rovnic (Jursík 2001):

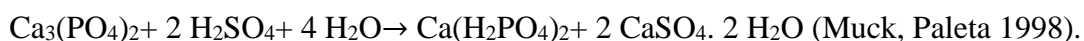


Mezi jednoduché kyseliny fosforu se např. řadí kyseliny fosforová, fosforitá, trihydrogenfosforečná. Kyselina trihydrogenfosforečná je z těchto oxokyselin fosforu nejstálejší. Je to hygroskopická, krystalická látka. Vzniká oxidací nižších kyselin, nebo hydrolyzou chloridu fosforečného, ale také oxidací červeného fosforu kyselinou dusičnou, nebo průmyslově rozkladem fosforečnanu vápenatého kyselinou sírovou (Jursík 2001):





Sloučeniny fosforu jsou součástí fosforečných hnojiv. Nejběžněji pod názvem superfosfát, což je směs dihydrogenfosforečnanu vápenatého a síranu vápenatého. Vyrábí se rozkladem přírodních fosforečnanů apatitů a fosforitů. Ve vodě nerozpustný fosforečnan vápenatý se působením silných kyselin převede na rozpustný dihydrogenfosforečnan vápenatý (Vacík 1990).



Fosfor je součástí adenosintrifosfátu ATP, což je sloučenina, na které závisí všechn život na Zemi. Odštěpováním fosforečnanového aniontu z ATP za účasti enzymů probíhá hydrolýza, při které se uvolňuje velké množství energie a může tak docházet k biochemickým procesům. Estery fosforečných kyselin jsou obsaženy v živé hmotě a podílejí se na životních procesech např. fotosyntéze, genetickém přepisu, syntéze bílkovin a dalších (Muck, Paleta 1998).

Jako hydroxilfosforečnan vápenatý  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  se fosfor vyskytuje v kostech obratlovců (URL 12).

### **3.3.3 Přírodní a antropogenní zdroje sloučenin fosforu v povrchových vodách**

Přírodní i antropogenní zdroje fosforu se dělí na původ anorganický a organický. Přírodním anorganickým zdrojem fosforu je vyluhování a rozpouštění minerálů a zvětralých hornin a atmosférické depozice. Hlavním minerálem je apatit [ $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$ ], potom např. fosforit  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , variscit ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), strengit ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) a vivianit [ $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})$ ]. Přírodními organickými zdroji fosforu jsou organické látky-zbytky rostlin a živočichů, rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu (Pitter 1999).

Antropogenním anorganickým zdrojem fosforu jsou hlavně splachy z pozemků, na kterých jsou aplikována fosforečná hnojiva a vypouštění odpadních vod. Do odpadních vod se dostávají fosforečnany převážně z pracích prostředků. Tyto prací prostředky mohou obsahovat až 5% fosforu. Dalšími zdroji fosforu mohou být rovněž polyfosforečnany z čistících a odmašťujících prostředků, případně protikorozní nebo protiinkrustační přísady. (Pitter 1999).

Antropogenním organickým zdrojem fosforu je fosfor obsažený hlavně v živočišných tkáních a odpadech. Denně člověk vyloučí asi 1,5 g fosforu, který přechází do

splaškových odpadních vod. Ty již obsahují také fosforečnany z pracích prostředků. Specifická produkce fosforu dosahuje 2 až 3 g fosforu na 1 obyvatele za den. (Pitter 1999).

### 3.4 Formy fosforu vyskytující se ve vodách

Celkový fosfor ( $P_{\text{celk.}}$ ) ve vodách je dán sumou rozpuštěného ( $P_{\text{rozp}}$ ) a nerozpuštěného ( $P_{\text{nerozp}}$ ) fosforu. Obě formy jsou zastoupeny v poměru, který určí použitý filtr při filtrování vzorku vody. Zpravidla se použije filtr s velikostí pórů 0,45  $\mu\text{m}$ . Rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor se dále rozděluje na anorganicky ( $P_{\text{anorg}}$ ) a organicky ( $P_{\text{org}}$ ) vázaný (Pitter 1999).

**Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor** se dělí na orthofosforečnanový  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $P_{\text{ortho}}$ ) a polyfosforečnanový ( $P_{\text{poly}}$ ). (Pitter 1999).

Všechny polymerní fosfáty se ve vodách rozpouštějí na jednodušší formy. Stupeň hydrolyzy závisí na mnoha faktorech včetně pH. Konečnými produkty jsou vždy nějaké formy orthofosforečnanů. Nejjednodušší příklad je hydrolytická reakce tetrahydrogendifosforečné kyseliny na kyselinu trihydrogenfosforečnou (Manahan 1991):



Běžně se analyticky odlišuje celkový fosfor, orthofosforečnanový fosfor a fosfor vázaný v hydrolyzovatelných fosforečnanech (to jsou polyfosforečnany a některé organofosforečné sloučeniny). Název orthofosforečnanový fosfor však není zcela přesný (při jeho stanovení jsou do výsledku zahrnuty nejenom jednoduché a komplexní formy orthofosforečnanů, ale i část fosforu vázaného v některých organických i anorganických sloučeninách. Přesněji tuto skutečnost vyjadřuje název rozpuštěný reaktivní fosfor  $P_{\text{RRP}}$ , který se stanoví molybdenanovou metodou (Pitter 1999).

**Rozpuštěný organicky vázaný fosfor** se vyjadřuje jako rozpuštěný nereaktivní fosfor ( $P_{\text{RNP}}$ ). Je to především rozpuštěný organicky vázaný fosfor a polyfosforečnany a v tomto případě nelze ke stanovení použít molybdenanovou metodu (Pitter 1999).

Bylo zjištěno, že fytoplankton katalyzuje hydrolyzu polyfosforečnanů ve vodách (Manahan 1991).

Fytoplankton je schopen využívat nejenom rozpuštěný orthofosforečnanový fosfor, ale rovněž orthofosforečnany adsorbované na povrchu nerozpuštěných látek. Proto byl zaveden další výraz - tzv. biologicky dostupný nebo využitelný fosfor. Ten zahrnuje rozpuštěné orthofosforečnany i orthofosforečnany volně vázané na nerozpuštěných látkách (Pitter 1999).

**Nerozpuštěný anorganicky vázaný fosfor** tvoří různé fosforečnany vápníku, hořčíku, železa, hliníku aj., které jsou volně rozptýlené, nebo chemicky vázané na jiných anorganických nebo organických nerozpuštěných látkách a sedimentech. **Nerozpuštěný organicky vázaný fosfor** se nachází v různých organismech ve formě fosfolipidů, fosfoproteinů, nukleových kyselin, fosforylovaných polysacharidů, volutinu a dalších. Formy výskytu fosforu ve vodách jsou velmi rozmanité. Vyjadřování fosforu jako  $\text{PO}_4^{3-}$  neodpovídá realitě, protože zastoupení tohoto iontu je při hodnotách pH přírodních vod zanedbatelné. Začíná se objevovat až při hodnotách pH větších než 12. Ve vodě, jak již bylo výše uvedeno, převládají ionty  $\text{HPO}_4^{2-}$  a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a to při hodnotách pH vody okolo 7. Ve vodě se historicky stanovovaly fosforečnany, koncem 20. století se přešlo na stanovování celkového fosforu  $P_{\text{celk}}$  (Pitter 1999).

Symbolicky se vztah mezi jednotlivými formami fosforu zapisuje takto:

$$P_{\text{celk}} = P_{\text{total}} = P_{\text{org}} + P_{\text{anorg}} = P_{\text{org}} + P\text{-PO}_4 + P_{\text{poly}} \quad (\text{Pitter 1999}).$$

Fosforečnany se vyskytují ve vodách v malých koncentracích, protože se tvoří málo rozpustné fosforečnany s např. Ca, Mg, Fe, Al a dochází k jejich velké chemisorpci na tuhých fázích – např. sedimentech. V nádržích a oligotrofních jezerech jsou koncentrace celkového fosforu i pod  $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ , v eutrofních nádržích i přes  $100 \mu\text{g.l}^{-1}$ . V pitných vodách podzemního i povrchového původu se pohybuje průměrná koncentrace orthofosforečnanového fosforu kolem  $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ , v neznečištěných podzemních vodách mohou být koncentrace i nižší než  $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Vody z rašelinišť mohou být bohatší na fosforečnany díky rozkladu rostlinné biomasy, koncentrace fosforu může být i  $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$ . Ve splaškových odpadních vodách je obsah celkového fosforu v jednotkách mg/l. Průměrná celková koncentrace fosforu ve splaškových vodách některých měst v ČR je asi  $5 \text{ mg.l}^{-1}$ . V odpadních vodách z prádelen jsou to desítky až stovky mg/l (Pitter 1999).

Co se týče hygienického významu fosforečnanů ve vodách, je malý, fosforečnany jsou zdravotně nezávadné. Např. v požadavcích na jakost pitných a užitkových vod nejsou vůbec uvedeny, v podzemních vodách fosforečnany indikují možnosti fekálního znečištění, pokud se může vyloučit znečištění fosforečnanovými hnojivy. Fosforečnany se snadno zadržují v půdě chemickými procesy a adsorpcí (Pitter 1999). Celkový fosfor se uvádí jako ukazatel přípustného znečištění povrchových vod ve vztahu k eutrofizaci. Pro vodárenské toky je přípustná hodnota do  $0,15 \text{ mg.l}^{-1} P_{\text{celk}}$ , pro ostatní povrchové vody do  $0,4 \text{ mg.l}^{-1} P_{\text{celk}}$ . Za oligotrofní povrchové vody (nádrže a jezera) můžeme považovat vody s koncentrací rozpuštěného reaktivního fosforu pod  $10 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1} P_{\text{celk}}$ . Celkový fosfor patří mezi ukazatele přípustného znečištění městských odpadních vod vypouštěných do vod povrchových v závislosti na velikosti zdroje znečištění. (Pitter 1999).

V posledních cca 20 letech se do čistíren zavádí další, tzv. terciální stupeň čištění, který je zaměřen na eliminaci živin – dusíku a fosforu. Z pitné vody se fosforečnany odstraňují pomocí železitých a hlinitých solí hydroxidu vápenatého (Komínková a kol. 2014)

### **3.5 Stratifikace teploty, fosforu a eutrofizace vody v nádržích**

#### **3.5.1 Stratifikace teploty a fosforu v nádržích**

Ve vertikálním a částečně i v horizontálním směru, se mění chemické složení stojatých vod. Změny nastávají při změně teploty, vzájemným poměrem koncentrací oxidu uhličitého a rozpuštěného kyslíku, biochemickými a chemickými procesy prvků a sloučenin dusíku a síry, reakcemi rozpouštěcími a srážecími, adsorpcí a desorpcí. Tyto změny jsou závislé na oxidačně-redukčním potenciálu vody a pH. (Pitter 1999).

Teplotní stratifikace je charakterizována rozdílem teplot svrchní vrstvy teplejší vody a chladnější vrstvy vody nad dnem v hlubších a hlubokých nádržích. Během roku se mění teplotní poměry označované jako stratifikace (podzimní a jarní cirkulace, zimní a letní stagnace.) Tento děj souvisí se změnami hustoty vody při ohřívání nebo ochlazování vody. Vrchní vrstva vody, nazývaná epilimnion, je vrstva vody s vyšší teplotou a menší hustotou. Voda v této vrstvě rychleji cirkuluje a má téměř stejnou teplotu. Vrstva vody pod epilimnionem se nazývá metalimnion a v rámci ní se s přibývajícím hloubkou skokově mění teplota vody. Vytváří se zde tzv. termoklina

neboli skočná vrstva, která brání cirkulaci vody v celém objemu. Ta může v hlubokých nádržích dosáhnout i několika metrů, méně výrazná je pak v mělkých nádržích. V oblasti skočné vrstvy dochází k hromadění odumřelých řas a organismů, což má za následek úbytek kyslíku rozpuštěného ve vodě, jev se nazývá metalimnetické minimum. Pod skočnou vrstvou se nachází vrstva vody hypolimnion, u které se teplota v závislosti na hloubce mění málo. U hlubokých nádrží, které mají i dlouhou dobu zdržení je teplota vrstvy hypolimnia u dna asi 4 °C, což je teplota, při které má voda nejvyšší hustotu. Teplotní stratifikace souvisí s ročním obdobím, vytváří se zvyšující se teplotou vzduchu a slunečním svitem, který ohřívá vodní sloupec. Závisí tak např. na ročním období, velikosti a hloubce nádrže, době zdržení vody v nádrži, hydraulických poměrech a také na působení větru. Aby došlo k úplné stratifikaci, musí k tomu nastat vhodné podmínky – předpokladem je pak delší doba zdržení. Podzimní cirkulace nastane tehdy, když se vrchní vrstva ochlazuje, chladná voda klesá dolů a skočná vrstva se posouvá do spodních vrstev, až klesne na dno. Teplota se v nádrži postupně vyrovná a dojde k homotermii nádrže, tzv. podzimní cirkulaci. V zimě dochází ke stagnaci, neboť nastává další ochlazování povrchu vody v nádrži, voda chladnější než 4°C má menší hustotu a vystupuje k hladině, u dna se hromadí voda s nejvyšší hustotou a tudíž teplotou kolem 4°C. Jarní cirkulace nastane opětovným oteplováním vody a působením větru, kdy se celý obsah nádrže promíchává. Tím, jak se voda na jaře otepluje, dojde k vrstvení teploty a nastává opět stagnace letní. Teplotní stratifikace ovlivňuje i stratifikace dalších ukazatelů jakosti vody, mimo jiné i stratifikaci kyslíku rozpuštěného ve vodě, která je významná pro oxidačně-redukční potenciál a biologické osídlení ve vodách (Pitter 1999, Karel Forejt 2016, in verb.).

Tato sezónní periodicitu teplotních stratifikací nádrží v mírném klimatickém pásu se projevuje dlouhodobou izolací spodních vrstev – hypolimnia, kterou přerušují cirkulace vodních mas. Tyto roční cykly vytvářejí specifické podmínky ve vodních ekosystémech a mají velký význam v koloběhu látek (Lellák, Kubíček 1991).

Vertikální stratifikace sloučenin fosforu je velice důležitá. V důsledku chemických, biochemických a sorpčních procesů dochází ve stojatých vodách ke stratifikaci fosforu, které se během roku periodicky mění. Fosforečnany se sorbují na dnové sedimenty, za určitých podmínek však může dojít naopak k uvolnění fosforu zpátky do fáze kapalné – do vody. V těchto případech se v nádržích vyskytují ve vrstvě vody nad dnovými sedimenty poměrně vysoké koncentrace fosforu, a to více než 1 mg. l<sup>-1</sup>.

Ve vrchní vrstvě, zvané epilimnion, je ve vegetačním období koncentrace fosforu minimální, pouze v jednotkách mikrogramů na litr vody. Dochází k jeho vyčerpávání začleňováním do biomasy, což se děje během fotosyntézy v horních vrstvách vody. U dna je situace opačná, zde dochází k rozkladu biomasy a tím k uvolňování sloučenin fosforu do vody. Při rozkladu organické hmoty se spotřebovává kyslík. Při míchání vody na podzim, tedy při podzimní cirkulaci, se koncentrace fosforu v nádrži vyrovná. Pro představu, z 1 miligramu fosforu vznikne asi 115 miligramů biomasy řas a ve stojatých vodách je tento přírůstek organické hmoty v řádech desetin až jednotek gramů na jeden metr čtvereční a den. Naopak rozložená odumřelá biomasa v hypolimniu zvyšuje koncentrace fosforu a i některých dalších ukazatelů např. chemické spotřeby kyslíku, celkového uhlíku nebo dusíku ve formě amoniaku (Pitter 1999, Karel Forejt 2016, in verb).

### **3.5.2 Eutrofizace vody v nádržích**

Fosfor a jeho formy patří spolu s formami dusíku k základním ukazatelům trofie vodních nádrží. Trofie čili úživnost představuje určitý hydrochemický režim, se kterým souvisí biologie vodních ekosystémů. Čím větší trofie, tím větší možnost eutrofizace. Jedná se o negativní jev způsobující ve svých důsledcích zhoršení jakosti vody (Hartman a kol. 2005).

Eutrofizací označujeme děj (viz obrázek 4), kdy ve vodách s vysokým obsahem minerálních živin (zejména dusíku a fosforu) dochází za příznivých fyzikálně chemických podmínek (vysoká intenzita slunečního svitu, teplota vody) k masivnímu rozvoji fotosyntetizujících organismů. Výsledkem bývá přemnožení řas nebo sinic, následkem pak změna průhlednosti, úbytek kyslíku a snížení kvality vody (Pitter 1999).

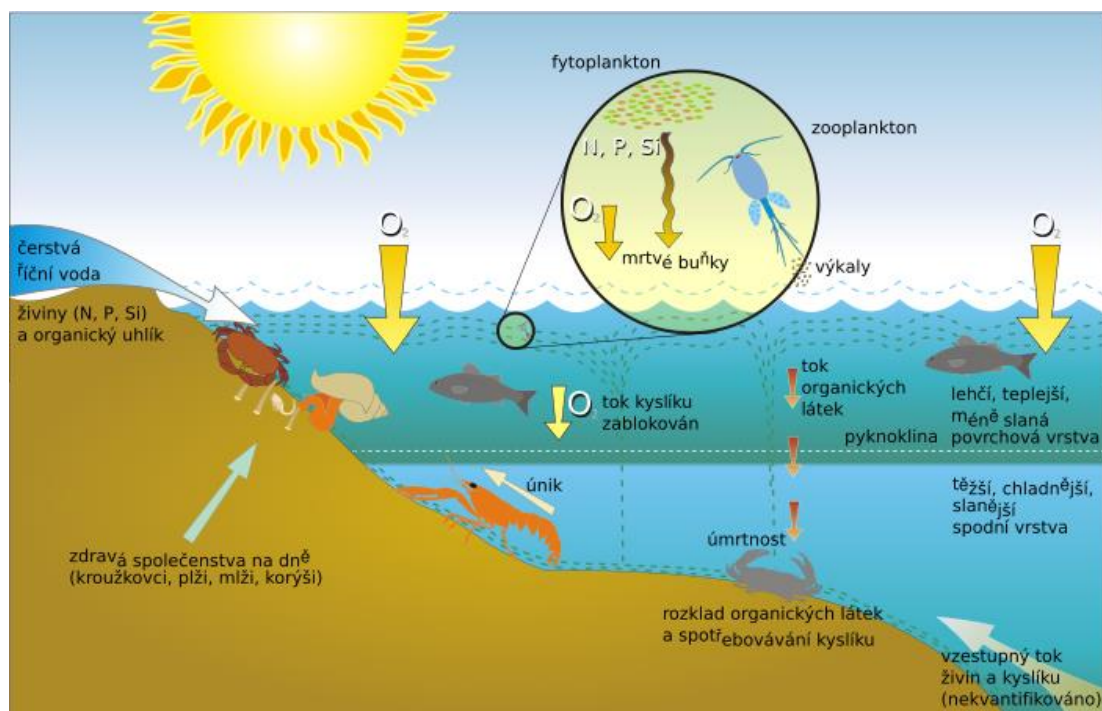
Rozlišujeme několik základních stupňů trofie: oligotrofie (nízký obsah živin), mezotrofie (střední obsah), eutrofie (na živiny bohatá voda), hypertrofie (vysoký obsah živin). Dříve se trofie sledovala dynamikou kyslíku v celém svislém profilu tzv. primární produkce (Hartman a kol. 2005).

Eutrofizaci lze rozlišit na přirozenou a antropogenní. Přirozenou eutrofizaci způsobují sloučeniny fosforu a dusíku vznikající z rozkladu mrtvých vodních organismů a pocházející z půdy a sedimentů u dna. Tento typ eutrofizace není možné ovlivnit.

Antropogenní eutrofizace vzniká splachem hnojiv z polí, zvyšujícím se objemem nedokonale vyčištěných odpadních vod vypouštěných do toků obohacených o sloučeniny dusíku a fosforu. K dalšímu zdroji patří i depozice z atmosféry, v kterém roste podíl dusíku a fosforu vznikajících lidskou činností (Pitter 1999).

Přírozená eutrofizace způsobuje stárnutí jezer. Je to přirozený a pomalý proces změny oligotrofních jezer v eutrofní. Nárůst živin narušuje biologickou rovnováhu ve vodě, zvyšuje se množství biomasy a dochází zpravidla k přemnožení fytoplanktonu, tedy řas a sinic. Může nastat tedy vegetační zbarvení vody, kdy se řasy a sinice nacházejí v celém sloupci vody, nebo vodní květ, kdy se řasy nebo sinice hromadí u hladiny. Některé druhy fytoplanktonu, zejména sinice, tvoří toxiny nazývané cyanotoxiny, které mohou způsobit poruchy trávicího traktu, alergie nebo onemocnění jater. Pokud se díky zvýšenému obsahu biogenních prvků uhlíku, dusíku a fosforu ve vodě fytoplankton přemnoží, dochází následně i ke zvýšení obsahu organických látek ve vodě a zhoršuje se tak kvalita vody, její organoleptické vlastnosti. A díky velké koncentraci organických látek v hypolimniu může dojít k úbytku nebo až k vyčerpání kyslíku rozpuštěného ve vodě (Pitter 1999).

Obr. 4 Schéma eutrofizace (URL 4)



K růstu živých organismů, tzn. produkci biomasy, musí být zachován poměr prvků uhlíku, dusíku a fosforu v poměru zhruba 106: 16: 1. Molární poměr dusíku a fosforu

je tedy významný, protože pokud je větší než 16, limituje biologickou produkci prvek fosfor, pokud je menší než 16, produkci limituje prvek dusík. V České republice je většinou tento poměr větší než 16, proto se fosfor považuje za hlavní spouštěč eutrofizace. Nejvyšší koncentrace těchto prvků ve vodách, při kterých by ještě nedocházelo k výskytu vodního květu, nebo vegetačního zbarvení se nedají přesně definovat, protože závisí na více faktorech, které situaci ovlivňují. Jmenujme alespoň teplotu a roční období (Pitter 1999, Karel Forejt 2016, in verb).

Problémem mnoha našich nádrží, i vodárenských, je přísun živin z povodí, což má za následek eutrofizaci a zhoršování kvality vody. Proti eutrofizaci povrchových vod se v současnosti vypracovávají plány opatření v povodí v souladu s Rámcovou směrnicí o vodě. Množství znečištění dostávající se ze zdrojů do recipientů a znalost kritických koncentrací živin je podmínkou pro to, aby správci povodí mohli navrhnout účinná opatření proti eutrofizaci. Přípustné koncentrace živin jsou stanoveny legislativou – např. Nařízením vlády ČR č. 401/2015 Sb. o ukazatelích přípustného znečištění vod. Nebo z požadavků na kvalitu vody ve vodních zdrojích – např. průměrná roční koncentrace celkového fosforu jako mezní hodnota pro eutrofizaci jezer a nádrží využívaných vodárensky. Nalézt a označit zdroje živin a posoudit je v rámci povodí, předpokládá kromě běžné vodohospodářské evidence (např. o vypouštění odpadních vod, kvality vody v tocích, hydrologickém režimu), také informace o krajinném krytu, demografii povodí, zemědělské výrobě, rybářském hospodaření, které v současné době v ČR, na rozdíl od států západní Evropy a Skandinávie, komplexně sbírány nejsou (Hejzlar a kol. 2008).

Ve zvláště eutrofizovaných stojatých vodách může dojít k významnému nárůstu i sloučenin fosforu u dna. Fosfor, který se během fotosyntézy začleňuje do nově rostoucí biomasy se při jejím rozkladu současně do vody uvolňuje. Probíhá i interakce fosforečnanů se sedimenty, dochází k jejich ukládání, případně uvolňování. Biologické přeměny tak mají větší význam v eutrofizovaných vodách stojatých než v tekoucích. V přírodním koloběhu látek mají sloučeniny fosforu významnou roli. Pro vyšší i nižší organismy jsou nezbytné, neboť je přeměňují na organicky vázaný fosfor. Zpět do prostředí se fosforečnany uvolňují po uhynutí a rozkladu řas a sinic ve vodě. V letním období proto bývá jejich koncentrace nejmenší, protože probíhá intenzivní fotosyntetická asimilace. Pro eutrofizaci povrchových vod má fosfor tedy zásadní význam (Pitter 1999, Karel Forejt, 2016, in verb.)



## 4. METODIKA

### 4.1 Provozní monitoring jakosti vody PVL a poskytnutá data

#### 4.1.1 Monitoring jakosti vody

Kvalita vody v povodí vodního díla Švihov se sleduje prakticky od napuštění hlavní nádrže (1972). Pravidelný intenzivní monitoring jakosti vod v rozsahu obdobném jako v současné době započal již v roce 1993 a podílí se na něm kromě laboratoří Povodí Vltavy, státní podnik, i provozovatel úpravny Pražské vodovody a kanalizace. Pravidelný monitoring zahrnuje sledování hlavních přítoků a vlastní nádrže. Monitoring na přítocích se provádí v pravidelných, dvoutýdenních intervalech. Na vodárenské nádrži v měsíčních, s výjimkou teplé části roku, kdy se monitoruje rovněž ve dvoutýdenním intervalu. Kromě popsaného monitoringu se provozují i další speciálně zaměřená sledování (např. sledování fosforu v týdenním intervalu, odběr denních slévaných vzorků, sledování zaměřené na výskyt specifických škodlivin a další.). V rámci pravidelného monitoringu se sleduje cca 30 základních parametrů jakosti vody (chemismus, kyslíkový režim, živiny) a cca 250 dalších speciálních ukazatelů (sumární parametry, těžké kovy, organické látky různých typů, látky lidské spotřeby, pesticidy, léčiva a další. Rozsah a četnost sledovaných ukazatelů se podle potřeby průběžně upravuje (Karel Forejt, 2016, in verb.).

Obr.5 Limnigrafická stanice na profilu Želivka-Poříčí



#### 4.1.2 Data k vypracování bakalářské práce poskytnutá státním podnikem Povodí

##### Vltavy:

Profily jakosti vody:

- 4200 Želivka – Poříčí, čhp 1-09-02-0690-0-00, ř.km 50,6
- 4801 Trnava – Červená Řečice pod JIP, čhp 1-09-02-0660-0-00, ř.km 8,8
- 4600 Trnava – Brtná (Želiv), čhp 1-09-02-0680-2-00, ř.km 0,6
- 5060 Želivka – Sedlice, čhp 1-09-02-0350-1-00, ř.km 57,2
- 5000 Želivka – Želiv (pod VN Vřesník), čhp 1-09-02-0350-2-00, čhp.55,1
- 6800 Želivka – Kojčice, čhp 1-09-02-0210-0-00, ř.km 69,6
- 0700 Sedlický p. – Kačerov (L. Mlýn), čhp 1-09-02-1080-1-00, ř.km 10,19
- 0500 Sedlický p. – VN Němčice odtok, čhp 1-09-02-1080-2-00, ř.km 7,3

Ukazatele: Pcelk.

Průměrné měsíční průtoky z níže uvedených limnigrafů

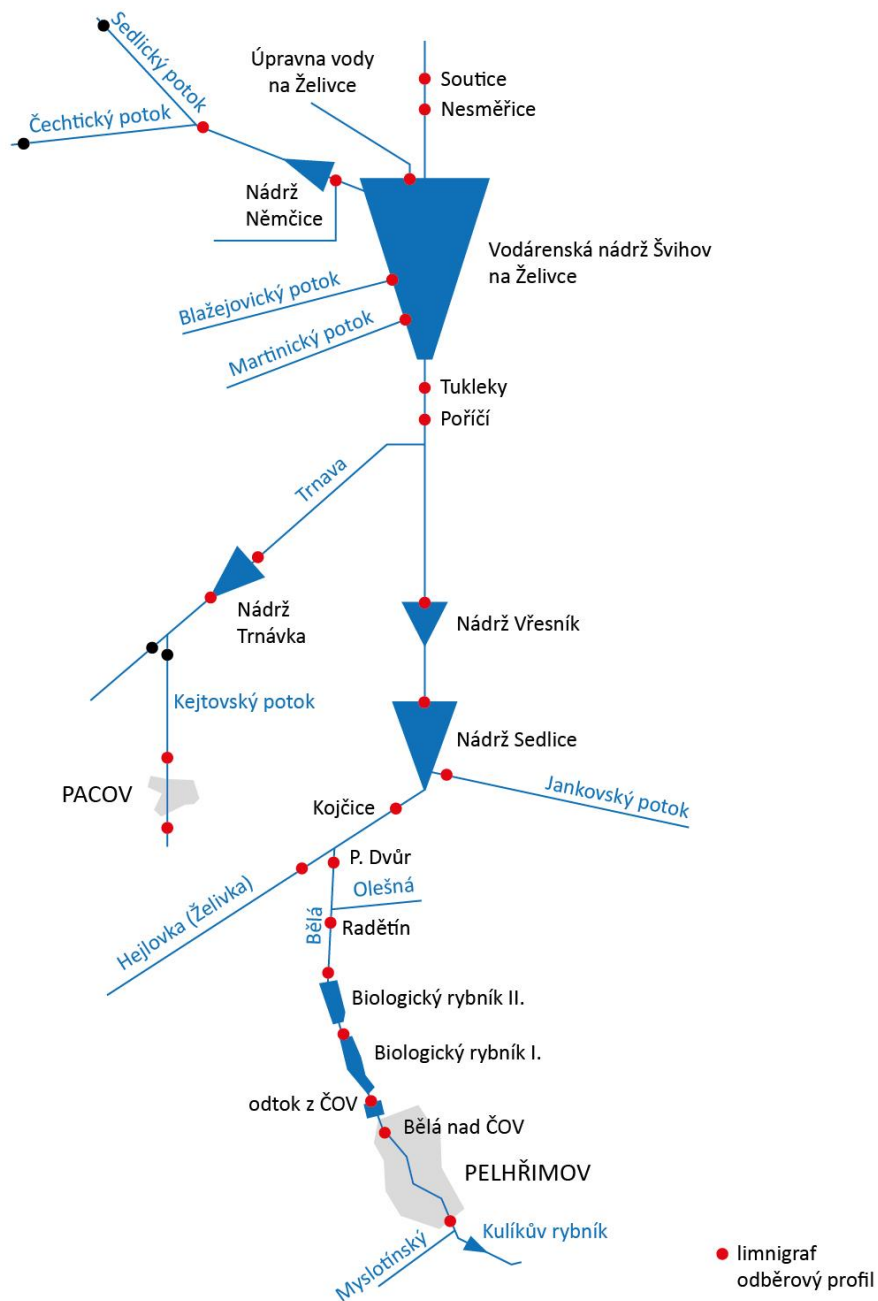
Období: 2011-2014

Profily měření množství vody - (limnigrafy):

- Hejlovka –Kojčice-přítok do VD Sedlice (6800)
- Želivka –Vřesník-odtok z VD Vřesník (vyrovnávací nádrž pro VD Sedlice - 5000)
- Trnávka – Červená Řečice-přítok do VD Trnávka (4801)
- Trnávka – Kocanda-odtok z VD Trnávka (4600)
- Želivka– Poříčí (pod soutokem Želivky a Trnávky) – hlavní přítok (4200), (viz obrázek 5)
- Sedlický potok– Leský Mlýn-přítok VD Němčice (700)
- Sedlický potok– odtok z VD Němčice (500)

Obr.6 Schéma povodí VN Švihov

## Schéma povodí Vodárenské nádrže Švihov s vyznačenými odběrovými profily a LG stanicemi



## 4.2 Měření průtoků

Na uzávěrových profilech významných toků se provádí měření množství protékající vody – stanovení průtoků. K měření průtoků na tocích slouží vedle ručních průtokoměrů tzv. limnigrafické stanice, které disponují zařízením pro měření výšky hladiny. Výška hladiny se dá měřit několika způsoby. Nejčastějším způsobem je šachta umístěná ve stanici, spojená s tokem. Z ní se potom pomocí záznamového zařízení odečítá výška hladiny. V současné době se v povodí Želivky provozuje síť cca 15 stanic, které disponují zařízením, které je schopné měřit okamžitý stav hladiny. Zjištěné hodnoty v pravidelných intervalech odečítá záznamová jednotka, která současně zaznamenává teplotu vody a vzduchu a v případě že je instalován srážkoměr i úhrn srážek. Tyto údaje se posílají pomocí sítě mobilních operátorů do sběrného centra-dispečinku Povodí Vltavy. Tam se na základě znalosti stavu výšky hladiny a tzv. konsumpční křivky stanoví průtok (okamžitý, průměr 10 min, průměr 1 hodina, průměr 1 den, měsíc, rok). Na výše umístěném schématu povodí VN Švihov (viz obrázek 6) jsou vyznačeny vedle profilů jakosti vody i důležité limnigrafické stanice (URL 13, Karel Forejt 2017, in verb).

## 4.3 Odběr vzorků na stanovení fosforu

Pro odběr vzorků povrchových vod tekoucích se používají polypropylenové (PP) čiré vzorkovnice s bílým víčkem o objemu 120 ml. Stanovení celkového fosforu se provádí na ICP MS (hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem) společně se stanovením celkového obsahu vybraných těžkých kovů. Odebírá se cca 100 ml vody do předem připravené vzorkovnice s obsahem konzervačního činidla (2 ml koncentrované kyseliny dusičné  $\text{HNO}_3$  čistoty p.p.). Vzorkovnice pro stopovou anorganickou analýzu procházejí speciálním typem dekontaminace a používají se pouze pro tento účel.

Pro odběr vzorků povrchových vod z nádrží se používají PP čiré vzorkovnice s modrým víčkem o objemu 50 ml. Konzervace vzorku se provádí až v laboratoři dávkováním 1 ml koncentrované  $\text{HNO}_3$  p.p. na 50 ml vzorku.

Pro rozpuštěné formy prvků se vzorek filtruje na místě při odběru vzorků do PP vzorkovnice bílé s bílým víčkem o objemu cca 20 ml. Vzorek povrchové vody tekoucí se konzervuje přímo při odběru  $\text{HNO}_3$  p.p. v poměru 1 ml na 50 ml vzorku.

Konzervace vzorků rozpuštěných forem prvků z vodních nádrží se provádí až v laboratoři. Množství kyseliny se použije úměrné k množství vzorku v poměru 1 ml na 50 ml vzorku.

Při odběru se do připravené vzorkovnice nalévá, z vhodné odběrové nádoby vypláchnuté vzorkem, pokud možno homogenní vzorek, přičemž má být co nejpřesněji dodrženo požadované plnění vzorkovnice. Na konzervaci vzorku se používá výhradně kyselina dusičná  $\text{HNO}_3$  čistoty p. p., připravená destilací v laboratoři a přechovávaná v dávkovači. Je nutné dodržet co nejpřesnější poměr kyseliny dusičné a vzorku 1:50, vzhledem k rušivému vlivu rozdílné koncentrace kyseliny dusičné při stanovení zejména fosforu na ICP-MS. Ke každému typu předávaných vzorkovnic se připravuje minimálně jedno slepé stanovení, tj. vzorkovnice s kyselinou, doplněná čistou vodou v laboratoři.

Při filtraci vzorků na stanovení rozpuštěných forem prvků se dodržují následné pokyny:

- vzorky se filtrují do vzorkovnic opatřených štítkem s číslem vzorkovnice přímo při odběru, číslo vzorku se napíše na víčko vzorkovnice a do odběrového listu
- pro filtraci se použije stříkačka PP objem 20ml a jednorázové stříkačkové filtry: Nonsterile Nylon Syringe Filters, Pore:0.45( $\mu\text{m}$ ), Housing Diameter:30(mm) od firmy MEDISTY PHARMA, a.s.
- první filtrovaný podíl cca 2-3 ml slouží k proplachu filtru
- pro každý vzorek se použije nový filtr
- stříkačku lze použít opakovaně-proplachuje se vzorkem před nasunutím filtru
- dodržují se požadavky na čistotu-nedotýkat se filtrů a stříkaček v blízkosti míst, která přicházejí do styku se vzorkem, zejména ústí stříkačky a filtru, nedotýkat se vzorkovnice v oblasti hrdla (PP-17-0)

#### **4.4 Předúprava vzorků v laboratoři**

Vzorky vod odebrané pro stanovení metodou ICP-MS se musí zmineralizovat, tj přeměnit nerozpustné formy fosforu na rozpustné. Mineralizace vzorku se provádí zahřátím vzorku v původní vzorkovnici v mikrovlnném zařízení. Následně se horká vzorkovnice přenesse do zahřáté ultrazvukové lázně na 75 °C zhruba na 30 min., kde

dochází k uvolnění prvků do roztoku. Nakonec se vzorky nechají ochladit na běžnou laboratorní teplotu a jsou připraveny k měření. Pro rozpuštěné formy prvků jsou vzorkovnice umístěny na 30 min. do ultrazvukové lázně při laboratorní teplotě (PP-22).

#### **4.5 Stanovení celkového fosforu v laboratoři**

V laboratoři Povodí Vltavy se stanovuje celkový fosfor a celkový fosfor rozpuštěný metodou ICP-MS

##### **4.5.1 Metoda ICP-MS**

Metoda vychází z normy ČSN EN ISO 17294-1,2 a je použitelná pro vzorky pitných, povrchových, odpadních vod a vodných výluhů.

Princip metody:

Metoda ICP-MS (hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem) slouží pro stanovení více prvků během jednoho měření. Vzorek je vnášen do vysokoteplotního Ar plazmatu, kde je atomizován a ionizován. Malým otvorem ve vstupních kónusech je do vakuového prostoru přístroje, opatřeného elektromagnetickými čočkami, oktapólovou reakčně-kolizní celou, kvadrupolovým hmotnostním filtrem a elektronásobičovým detektorem, nasáván díky podtlaku přímo z plazmatu úzký svazek iontů. Elektromagnetické čočky urychlují a usměrňují tok iontů tak, aby se nabitě ionty vychýlily z přímé dráhy a vyhnuly se tak zábraně, která brání pronikání rušivých fotonů a nenabitých částic z plazmatu na detektor. Následně svazek iontů vstupuje do reakčně-kolizní cely, kde jsou za pomoci vodíku a hélia odstraněny rušivé vlivy oxidů, dalších molekul a jejich fragmentů i dvojnásobně nabitých iontů. Po výstupu z reakčně-kolizní cely jsou ionty následně v kvadrupolovém filtru rozkmitány tak, že projdou v daném okamžiku pouze ionty o daném poměru hmotnosti a náboje. Ionty ostatních hmotností jsou odčerpány vakuem nebo se vybijí na stěnách kvadrupolu. Ionty, které projdou kvadrupolem, vybudí signál v elektronásobiči, který je dále zesílen a elektronicky zpracován. Díky rychlé a přesné změně napětí na elektrodách v kvadrupolu se dají v krátkých intervalech měřit různé

relativní atomové hmotnosti iontů přes celý rozsah hmotností. Koncentrace prvků se stanovují podle koncentrační kalibrace, která předchází měření vzorků (SOP-K-34-A).

Rozsah použití metody bez nutnosti dalších úprav vzorku (např. ředění) je dán mezi stanovitelnosti a nejvyšším kalibračním bodem.

Kalibrace se provádí před vlastním měřením roztoky o koncentračním rozsahu dle předpokládaných koncentrací analytů ve vzorku. Jednotlivé kalibrační koncentrace jsou ředěny ze směsného standardu a z jednoprvkových standardů podle kalibrační tabulky. Pro každý stanovovaný prvek se sestrojí kalibrační křivka nejméně ze čtyř bodů. Platnost kalibrační křivky se zkontroluje kontrolním roztokem

Zvolená mez stanovitelnosti:  $2\mu\text{g.l}^{-1}$

Kalibrační rozsah:  $2\text{-}1000\ \mu\text{g.l}^{-1}$

Přístroje a pomůcky

- Hmotnostní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem Agilent 7500ce s příslušenstvím
- Autosampler CETAC ASX – 520
- Hmotnostní spektrometr MS/MS s indukčně vázaným plazmatem Agilent 8800 Triple Quad s příslušenstvím
- Autosampler Agilent Technologies ASX – 500
- Ni kónusy
- Argon kapalný v tanku (v tlakové lahvi) – čistota 5.0 - 5.2
- Kyslík v tlakové lahvi - reakční plyn – čistota 6.0
- Vodík v tlakové lahvi - reakční plyn – čistota 6.0
- Helium v tlakové lahvi – kolizní plyn – čistota 6.0
- Měřič průtoku vzorku TruFlo Sample Monitor
- Ultrazvuková lázeň
- Odměrné baňky z PP
- Zásobní baňky z PP
- Automatické pipety
- Dávkovače kyselin Dispensette Organic
- Mikrovlnné rozkladné zařízení MILESTONE Ethos SEL

- Zařízení na podvarovou destilaci kyselin
- Mikrovlnné zařízení LGECZ MS – 2337 AR

#### Pracovní postup a vyhodnocení

Analýza se provádí postupem daným výrobcem pro Agilent 7500ce a Agilent 8800 QQQ. Podrobný postup je uveden v návodech, obsluze a údržbě přístroje. Každé stanovení se provádí minimálně ze dvou dílčích měření a výsledkem je jejich průměrná hodnota. Při přípravě všech roztoků a při konzervaci a mineralizaci vzorků je nutné dodržet shodnou výslednou koncentraci kyselin ve vzorcích i v kalibračních standardech. Hmotnostní koncentrace prvku ve vzorku je vyhodnocena softwarově (SOP K-34-A, Jan Válek 2017, in verb).

#### **4.6 Hodnocení látkových bilancí**

Při konstrukci látkových bilancí se pro zjednodušení vychází z průměrných měsíčních koncentrací a průměrných měsíčních průtoků – z toho jsou dále vypočteny průměrné roční hodnoty. Výpočet látkového odnosu fosforu (P) se provádí obdobně na základě znalosti koncentrace (P nebo i  $\text{PO}_4^{3-}$ ) v odebíraných vzorcích vody a ze zjištěného průtoku v době odběru. Bilanční výpočty se provádějí v měsíčním kroku – tj. stanoví se průměrná měsíční koncentrace celk. P a vypočte průměrný měsíční průtok. V případě potřeby se dá použít i roční odnos – z ročních průměrných hodnot. V zájmové oblasti povodí Želivky se standardně měří průměrná měsíční koncentrace ze dvou měření, průměrný měsíční průtok se získává z denních údajů. Síť měření na nejdůležitějších přítocích VD Švihov na Želivce zahrnuje cca 20 odběrových míst (Povodí Vltavy s. p., Karel Forejt, 2017, in verb).



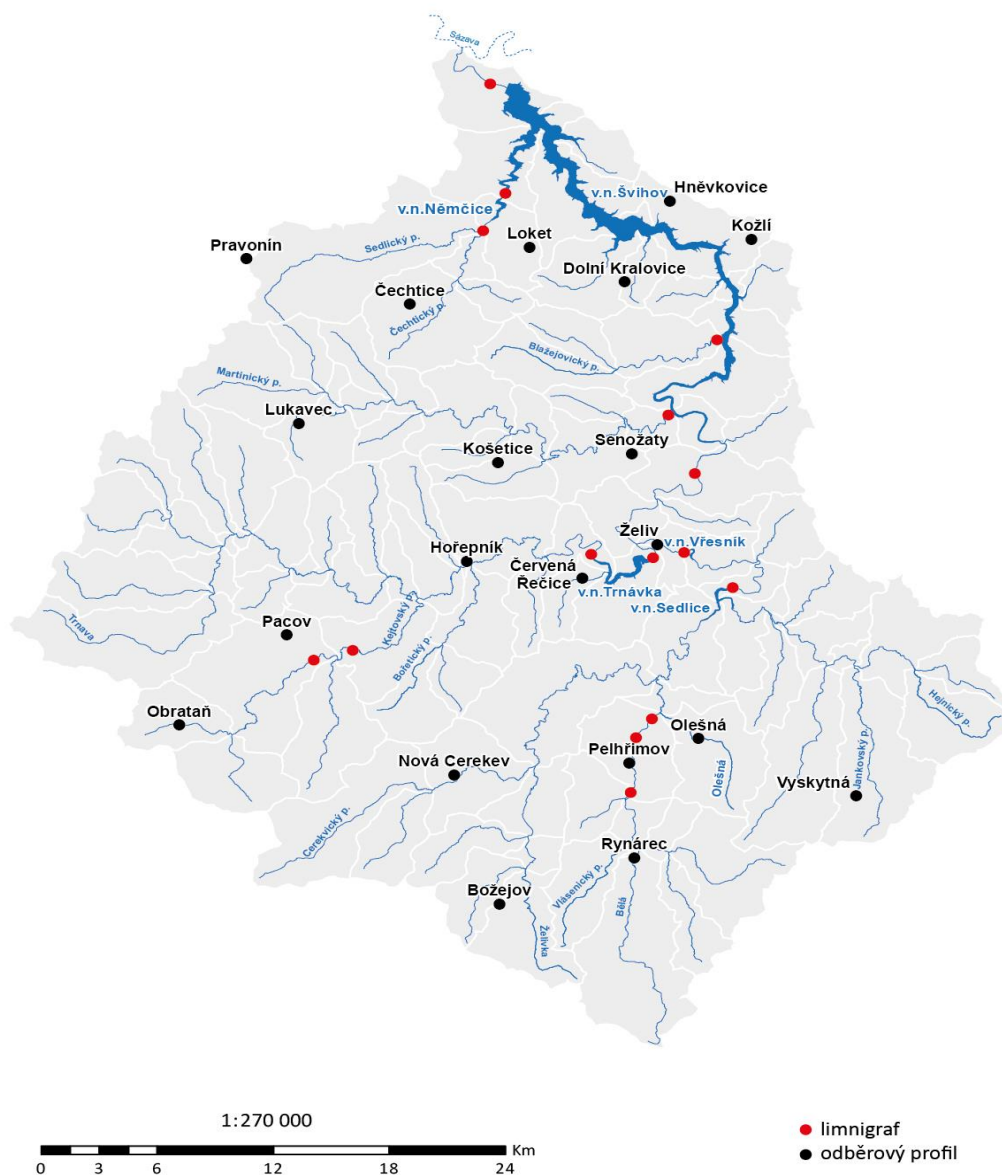
## 5. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ – Vodárenský komplex Švihov na Želivce

### 5.1 Charakteristika a technická data vodního díla Švihov na Želivce

Vodárenská nádrž Švihov na řece Želivce (viz obrázek 7) slouží jako zdroj pitné vody pro oblast středních Čech a pro Prahu. Jde o největší vodárenskou nádrž v ČR i v Evropě. Vybudována byla cca 4 km nad soutokem řek Želivky a Sázavy.

Obr.7 Mapa povodí Želivky

### Mapa povodí Želivky

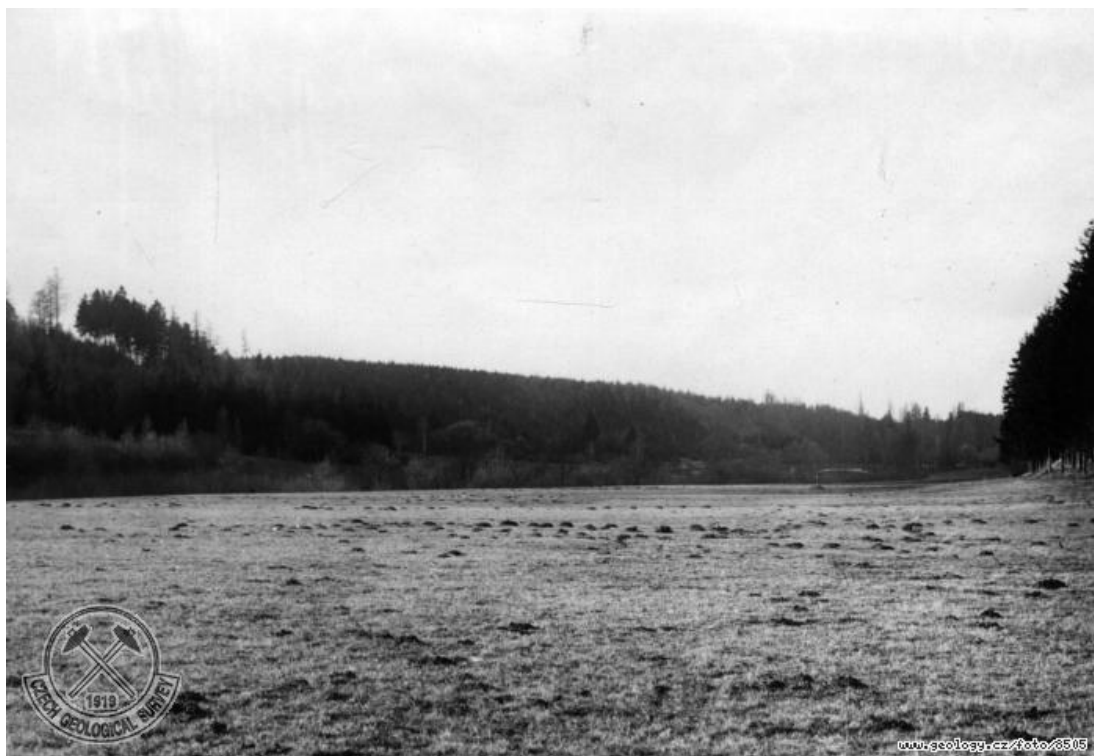


O řece Želivce se jako o zdroji pitné vody uvažovalo již ve třicátých letech dvacátého století. Relativně čistý tok Želivky protékal oblastí s poměrně nízkým osídlením a minimem průmyslu v blízkosti řeky. Plánovaly se i menší přehrady, ale i kaskáda. Historické snímky z padesátých let dvacátého století (viz obrázky 8 a 9) dokládají průzkumnou činnost geologů, hydrologů a dalších odborníků při plánování výstavby přehrady v této oblasti (URL2).

Obr. 8 Švihov – Želivka (Hulice). Místo pro vodárenskou přehradu k zásobení Prahy vodou, pohled proti proudu Želivky (URL 5).



Obr. 9. Švihov – Želivka (Hulice). Přehradní místo pro vodárenskou přehradu, pohled po proudu Želivky (URL 6).



V roce 1964 byl schválen projekt, stavba trvala deset let, napouštění proběhlo ve dvou etapách. Po celou dobu výstavby, a od roku 1972 již pravidelně, se prováděly odběry vody ke zjišťování její jakosti. Z přehrady se voda odebírá dvěma odběrnými věžemi, s možností volit několik úrovní odběru, do úpravny vody Želivka. Úpravna je jednostupňová, pro úpravu používá koagulační filtrace a dává se síran hlinitý a kyselina sírová. Následně se provádí alkalizace vápenným hydrátem. Zdravotní zabezpečení vody se provádí plynným chlórem, případně ozonem. Z úpravny se voda dopravuje do vodojemu v Jesenici u Prahy, který má objem cca 200 000 m<sup>3</sup>. Do vodojemu se voda přivádí samospádem, štolovým přivaděčem vyhloubeným ve skále. Přivaděč je dlouhý cca 52 km (URL2, Karel Forejt, 2016, in verb).

Vodní dílo (přehrada) i vodárenská nádrž Švihov (viz obrázek 10) jsou ve správě státního podniku Povodí Vltavy, závodu Dolní Vltava, úpravna a štolový přivaděč jsou ve vlastnictví Pražské vodohospodářské společnosti. Provozovatelem vodárny jsou Pražské vodovody a kanalizace a, s. Z hydrologických a technických údajů o nádrži,

keré státní podnik Povodí Vltavy zveřejňuje na svých internetových stránkách je možno zjistit plochu povodí, která je 1 178,3 km<sup>2</sup> a dlouhodobý roční průtok v profilu hráz 6,927 m<sup>3</sup>/s. Výška hráze je 58,3 m a délka koruny hráze je 860 m. Na přímé zemní těleso hráze bylo použito celkem 2 342 milionů m<sup>3</sup> materiálu. Provozní hladina nádrže se nachází ve výšce 377,0 m n. m, délka vzdutí, neboli umělého navýšení výšky hladiny od hráze ke konci volné hladiny toku, je 39,1 km. Rozloha nádrže je 1 602,64 ha a objem 309,0 milionů m<sup>3</sup>. Obvod nádrže přesahuje 150 km. Sdružený objekt, přístupová lávka, odpadní štola, vývar a odpadní koryto jsou funkční objekty hráze. Sdružený objekt tvoří dvě odběrné věže, komunikační věž a bezpečnostní šachtový přeliv. Odběr vody z nádrže se realizuje v pěti úrovních dvěma samostatnými větvemi vodárenských odběrů. Kapacita úpravny je maximálně 5,7 m<sup>3</sup> za sekundu. Dvě samostatné spodní výpusti slouží pro převádění vody. Povodňové průtoky je možné převézt bezpečnostním přelivem vybudovaným mezi odběrovými věžemi a komunikačním pilířem. Ačkoliv prioritní funkcí nádrže je funkce vodárenská, byla na vodním díle Švihov na Želivce v roce 2004 vybudována malá vodní elektrárna s turbínou Francis, která využívá energie vody při vyšších vodních stavech (URL 5, Karel Forejt, 2016, in verb).

Obr. 10 Vodní nádrž Švihov (URL 7).



Kvalita vody VN Švihov na Želivce je ovlivňována především eutrofizací, erozí a nevyrovnaností hydrologického režimu. Problémem objevujícím se zejména v posledních letech je výskyt pesticidů ve vodě nádrže. Pesticidy pocházejí ze

zemědělské činnosti (pěstování širokořádkových plodin – kukuřice a řepka) a pro budoucnost představují poměrně značné riziko. Erozní částice zanášejí předzdrže i vlastní nádrž, čímž snižují jejich samočisticí funkci. Celkový fosfor je přinášen na částicích a v těžko dostupné (nerozpustné) formě pro využití řasami. Nepřispívá tak prvotně k eutrofizaci nádrží, nicméně vstupuje do koloběhu nádrže. Hydrologická situace je s eutrofizací nádrží úzce spojená, nežádoucí jsou obecně větší výkyvy v kolísání hladiny nebo dlouhodobé snížení objemu nádrže - hovoří se pak o dlouhodobém zaklesnutí hladiny, menší objem vody pak vykazuje větší sklon k eutrofizaci. (Liška, Duras, 2011, Karel Forejt in verb).

Na znečištění v povodí VN Švihov se podílí hlavně bodové a plošné zdroje. Pokud fosfor pochází z bodových zdrojů znečištění, je více nebezpečný než fosfor, který pochází z plošných zdrojů. Fosfor z plošných zdrojů je většinou vázán na částice, které sedimentují na dno toků a nádrží a do vody se uvolňuje omezeně. Oproti tomu fosfor z bodových zdrojů je v rozpuštěné formě a dobře biologicky využitelný pro fytoplankton v nádrži nebo toku (Liška a kol.2012).

V povodí VN Švihov je podnikem Povodí Vltavy, s.p., evidováno 66 bodových zdrojů znečištění. Převážná většina těchto zdrojů jsou čištěné komunální odpadní vody z měst a obcí. Průmyslové zdroje jsou v povodí Želivka pouze 4. Ve všech obcích nad 500 obyvatel jsou v oblasti povodí VN Švihov vybudovány čistírny odpadních vod. U největších čistíren odpadních vod v povodí je vybudováno a provozováno i odstraňování fosforu a dusíku (Liška a kol. 2012).

Povodí Vltavy s. p. sleduje kvalitu vody zhruba 40 ČOV v povodí VN Švihov. K těm, které vypouštějí největší objem odpadních vod patří ČOV Pelhřimov, ČOV Pacov, Papírna Cerepa Červená Řečice. V časovém rozmezí dat použitých v této práci se projevila prováděná rekonstrukce ČOV Pelhřimov. Aglomerace Pelhřimov představuje z dlouhodobého hlediska největší zdroj fosforu v povodí nádrže. Rekonstrukce ČOV Pelhřimov probíhala v letech 2013 – 2014. V této době bylo čištěno pouze cca 50% odpadních vod, zbylé, hrubě předčištěné odpadní vody protékaly dvěma biologickými rybníky do říčky Bělá a následně do VN Sedlice. V povodí říčky Bělé, do které ústí vody z posledního biologického rybníka došlo k výraznému zvýšení koncentrací fosforu, které se projevilo až na vstupu do VN Švihov. V roce 2014, který patřil k hydrologicky nejméně vodným rokům za celé

sledované období, byla v představné nádrži Sedlice zaznamenána vysoká retence fosforu (Dobiáš a kol. 2015).

## 5.2 Předzdrže VD Sedlice, Němčice a Trnávka

Tato tři ve zkratce popsaná vodní díla jsou součástí komplexu vodárenské nádrže Švihov na Želivce a slouží k ochraně vlastní vodárenské nádrže a k zachycení části splavenin, které vodní toky s sebou přinášejí.

### VD Sedlice

V letech 1921 až 1927 bylo postaveno vodní dílo, jehož primárním účelem, jak informuje Povodí Vltavy na svých internetových stránkách, bylo akumulovat vodu pro vodní elektrárnu Sedlice. Nachází se na horním toku Želivky, která se v tomto profilu ještě jmenuje Hejlovka, ve vzdálenosti cca 10 km od města Humpolec jihovýchodním směrem. Teprve od vodního díla Sedlice teče řeka pod názvem Želivka. Hráz a vodní elektrárna s přivaděčem jsou dva samostatné objekty vodního díla. Hráz je klenutá, zděná, gravitační s maximální výškou 22,7 m a délkou koruny 118 m. Má spodní výpust, plocha hladiny nádrže je 38 ha a objem nádrže 2,32 mil. m<sup>3</sup>. Štolou dlouhou 856 m se z nádrže odebírá voda pro vodní elektrárnu Sedlice, která disponuje třemi turbínami typu Francis (URL 7).

Obr.11 Malá vodní elektrárna na VD Sedlice



## **VD Němčice**

Výstavba vodního díla, začala v roce 1975 a trvala do roku 1980. Nachází se na Sedlickém potoce pod obcí Němčice. Hráz je přímá zemní, těsněná hlinito - písčitém materiálem. Její délka je 165 m a výška 12,2 m. Koruna hráze je veřejnou silniční komunikací III. třídy. Celkový objem nádrže je 1,157 mil. m<sup>3</sup> a zatopená plocha 24,71 ha. Má dvě spodní výpusti, které ústí spolu s bezpečnostním přelivem do společného odpadního kanálu. Ten prochází tělesem hráze ve spodu a končí vývarem. Voda z nádrže se v posledních letech provozuje tak, že voda odtéká horním, bezpečnostním přelivem. Spodní výpusť se využívá sporadicky. Jelikož se nádrž nachází ve II. pásmu hygienické ochrany vodního díla Švihov, je možno zde provozovat sportovní rybaření. VD Němčice odvodňuje zemědělsky nejvíce zatíženou část povodí Želivky (Čechticko). Z hlediska ovlivnění jakosti vody v hlavní vodárenské nádrži je VN Němčice významná tím, že se nachází v relativní blízkosti od sdruženého objektu VN Švihov (cca 5 km). Za určitých okolností může jakost vody z nádrže Němčice bezprostředně ovlivnit vodárenský odběr ( URL 8,)

## **VD Trnávka**

Na řece Trnava, zhruba 2 km nad soutokem s řekou Želivkou, bylo nad obcí Želiv vybudováno mezi lety 1977 a 1981 vodní dílo Trnávka. Hráz vodního díla je přímá, zemní, na návodní straně utěsněna folií Netex-sendvič, která je ještě chráněna betonovou vrstvou v 10 cm tloušťce. Délka hráze při koruně je 200 m a její výška nad dnem údolí je 19 m. Na koruně hráze je komunikace, je však nepřístupná veřejnosti. Sdružený objekt obsahuje kromě spodní výpusti, bezpečnostního přelivu, odpadní štolu a vývaru také malou vodní elektrárnu, která byla do jeho spojovací chodby přidána v roce 1997. Na levé straně hráze je součástí vodního díla i slalomová dráha, v rámci střední Evropy jedna z nejobtížnějších. Plocha hladiny nádrže je 98 ha a objem 6,7 mil. m<sup>3</sup>. Pro zlepšení sedimentačních vlastností nádrže Trnávka byl na konci vzdutí vybudován ponořený stupeň. To je cca 5 m vysoký jez ze železobetonu, který má 11 přelivných polí a pochůznou lávku na pilířích. Kromě zmíněných funkcí se nádrž Trnávka využívá pro rekreaci, sport, turistiku i sportovní rybolov (URL 9).

## 6. VÝSLEDKY PRÁCE

K výpočtům bilancí celkového fosforu byly použity přepočtové koeficienty.

Tabulka 1 Výpočet měsíčních koeficientů

<b>Výpočet měsíčních koeficientů</b>						
	hodina	počet hodin	počet dnů			
	sec	den	v roce		koeficient	
leden	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc
únor	3600	24	28	2 419 200	<b>2,4192</b>	výsledek je v t/měsíc
březen	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc
duben	3600	24	30	2 592 000	<b>2,5920</b>	výsledek je v t/měsíc
květen	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc
červen	3600	24	30	2 592 000	<b>2,5920</b>	výsledek je v t/měsíc
červenec	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc
srpen	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc
září	3600	24	30	2 592 000	<b>2,5920</b>	výsledek je v t/měsíc
říjen	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc
listopad	3600	24	30	2 592 000	<b>2,5920</b>	výsledek je v t/měsíc
prosinec	3600	24	31	2 678 400	<b>2,6784</b>	výsledek je v t/měsíc

Poskytnuté výsledky koncentrací fosforu byly udány v mg/l, to odpovídá koncentraci g/m<sup>3</sup>. Průtok se udává v m<sup>3</sup>/s. Z toho plyne, že výsledek – množství fosforu je při daném průtoku v g. Ten byl dále přepočítán na tony celkového fosforu za rok.

### Výpočet bilance celkového fosforu

Výpočet množství celkového fosforu [t] pro každý měsíc byl řešen dle rovnice:

$$L_m = c_m \cdot Q_m \cdot k$$

$L_m$  množství celkového fosforu za měsíc [t]

$c_m$  průměrná měsíční koncentrace celkového fosforu [mg/l]

$Q_m$  průměrný měsíční průtok [m<sup>3</sup>/s]

$k$  přepočtový koeficient

Množství celkového fosforu [t] za rok bylo řešeno dle rovnice:

$$L_r = \sum L_m$$

$L_r$  množství celkového fosforu za rok [t]

Retence celkového fosforu za rok [t] byla řešena dle rovnice:

$$R = \text{vstup } L_r - \text{výstup } L_r$$

$R$  retence celkového fosforu za rok [t]



Retence celkového fosforu byla vyjádřena procenticky dle rovnice:

$$R_{\%} = 100 - (\text{výstup } L_r / \text{vstup } L_r) \cdot 100$$

Výpočty byly provedeny pomocí softwaru MS Excel. Pro příklad je uveden výpočet hodnot celkového fosforu v roce 2011 (viz tabulka 2, tabulky 3 a 4 v příloze), stejným způsobem byly vypočteny hodnoty celkového fosforu pro roky 2012, 2013 a 2014.

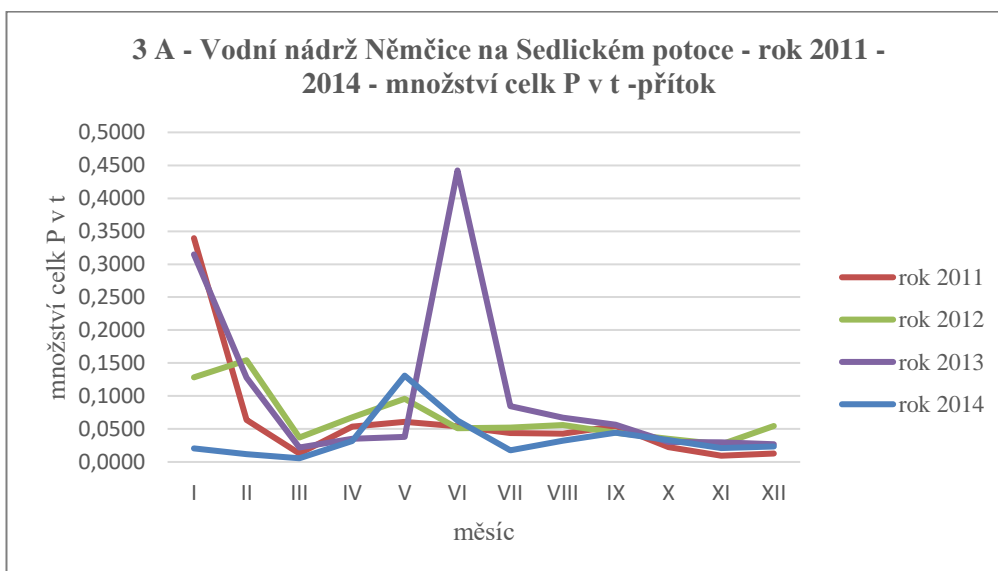
Tabulka 2 Výpočet bilance celkového fosforu a účinnosti VN Němčice v roce 2011

<b>A - Vodní nádrž Němčice na Sedlickém potoce - rok 2011</b>														
Data Povodí Vltavy, s.p. - průměrná koncentrace celk. P ze všech měření v daném měsíci														
Profil 700 -- Sedlický potok - přítok do nádrže Němčice														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
ICO	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700		
měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
laboratoř	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL		
průměrná měsíční koncentrace celk. P	0,0950	0,0440	0,0410	0,0530	0,0839	0,0906	0,1288	0,1478	0,0984	0,0550	0,0446	0,0488	<b>koncentrace/rok</b>	<b>0,08</b>
prům. měsíční průtok-Leský Mlýn SPLM Q30	1,3343	0,5969	0,4544	0,3893	0,2712	0,2308	0,1275	0,1085	0,2143	0,1532	0,0820	0,0979	<b>průtok/rok</b>	<b>0,34</b>
přepočtový koeficient	2,6784	2,4192	0,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784		
<b>množství celk P v t</b>	<b>0,3395</b>	<b>0,0635</b>	<b>0,0126</b>	<b>0,0535</b>	<b>0,0609</b>	<b>0,0542</b>	<b>0,0440</b>	<b>0,0429</b>	<b>0,0547</b>	<b>0,0226</b>	<b>0,0095</b>	<b>0,0128</b>	<b>bilance vstup t/r</b>	<b>0,77</b>
													<b>VN Němčice</b>	
Profil 500 -- Sedlický potok - odtok z nádrže Němčice														
ICO	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
laboratoř	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL		
průměrná měsíční koncentrace celk. P	0,0503	0,0458	0,0392	0,0384	0,0415	0,0244	0,0336	0,0403	0,0518	0,0418	0,0348	0,0293	<b>koncentrace/rok</b>	<b>0,04</b>
prům. měsíční průtok-odpovídá přítoku SPLM Q30	1,3343	0,5969	0,4544	0,3893	0,2712	0,2308	0,1275	0,1085	0,2143	0,1532	0,0820	0,0979	<b>průtok/rok</b>	<b>0,34</b>
přepočtový koeficient	2,6784	2,4192	0,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784		
<b>množství celk P v t</b>	<b>0,1798</b>	<b>0,0661</b>	<b>0,0121</b>	<b>0,0387</b>	<b>0,0301</b>	<b>0,0146</b>	<b>0,0115</b>	<b>0,0117</b>	<b>0,0288</b>	<b>0,0171</b>	<b>0,0074</b>	<b>0,0077</b>	<b>bilance výstup t/r</b>	<b>0,43</b>
													<b>VN Němčice</b>	
									<b>Vstup</b>	<b>Výstup</b>	<b>% zachycení</b>			
									<b>0,77</b>	<b>0,43</b>	<b>44,77</b>			
									<b>Vodní nádrž Němčice na Sedlickém potoce</b>					
									<b>Účinnost zachycování celkového fosforu v roce 2011 (t/rok)</b>					

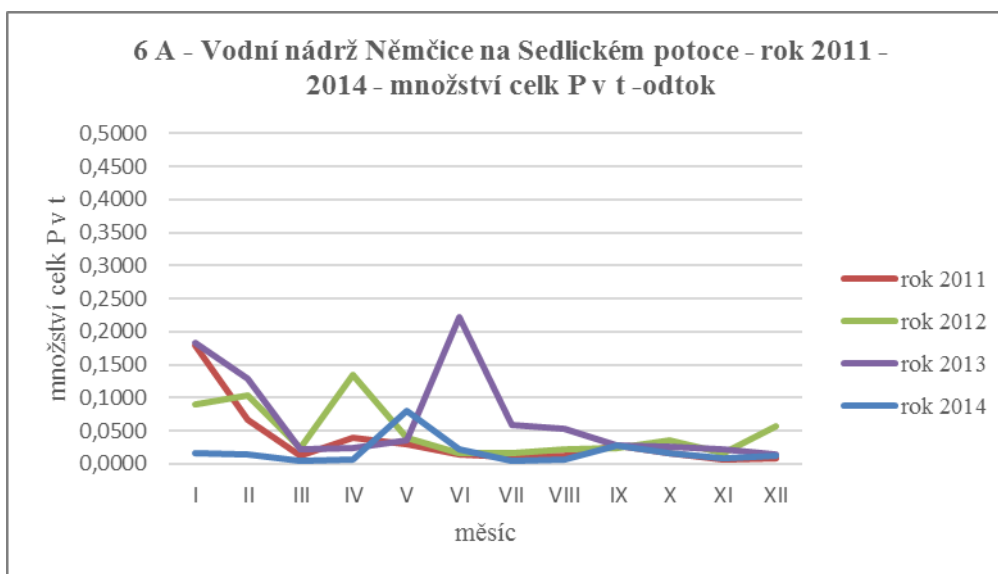
Získané výsledky pro roky 2011 až 2014 jsou pro každou vodní nádrž, tj. přítok a odtok celkového fosforu, prezentovány na obrázcích 12 až 17. V bakalářské práci uvádím pouze grafy množství celkového fosforu v tunách za rok.

Vysvětlivky k označení grafů: A-Vodní nádrž Němčice na Sedlickém potoce, B-Vodní nádrž Trnávka na řece Trnavě, C-Vodní nádrž Sedlice na Hejlovce (Želivce), 3 - množství celkového P v t/měsíc – přítok, 6 - množství celkového P v t/měsíc – odtok

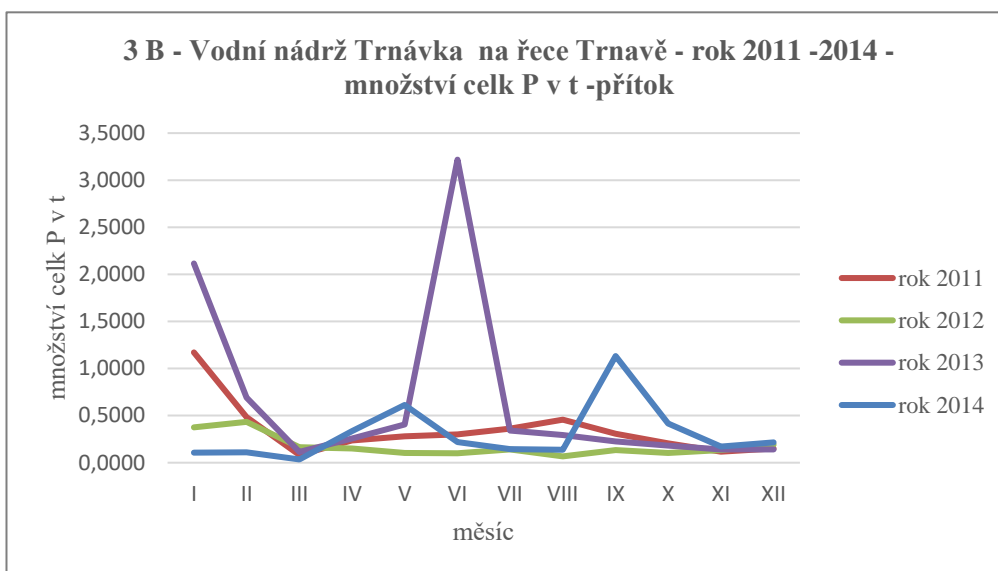
Obr.12 Graf A-VN Němčice 2011-2014- množství celkového fosforu v t na přítoku



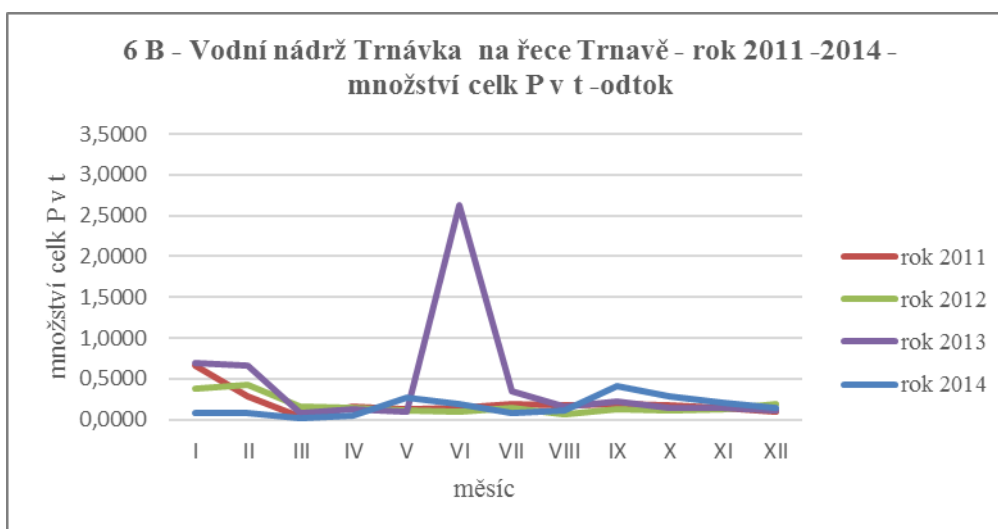
Obr.13 Graf A-VN Němčice 2011-2014- množství celkového fosforu v t na odtoku



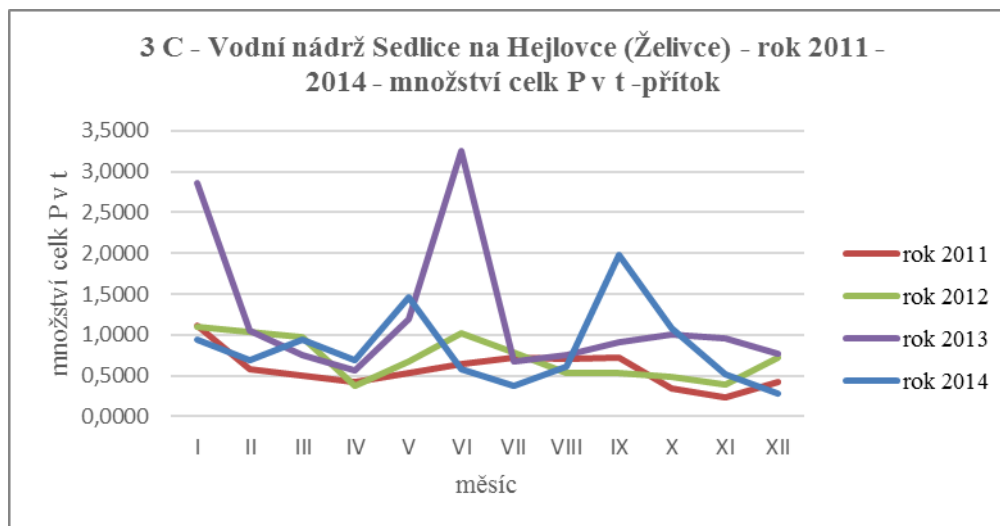
Obr.14 Graf B-VN Trnávka 2011-2014- množství celkového fosforu v t na přítoku



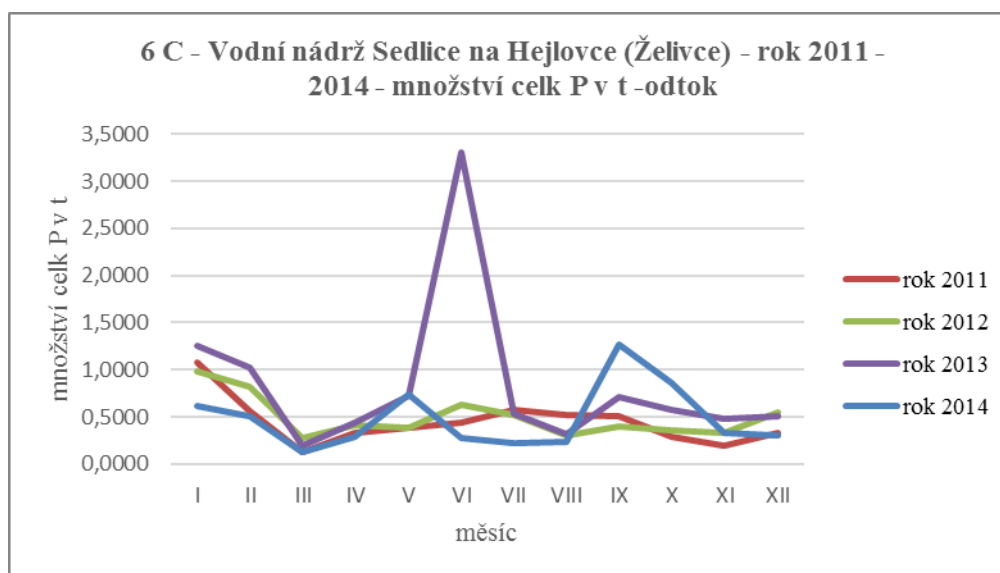
Obr.15 Graf B-VN Trnávka 2011-2014- množství celkového fosforu v t na odtoku



Obr.16 Graf C-VN Sedlice 2011-2014- množství celkového fosforu v t na přítoku



Obr. 17 Graf C-VN Sedlice 2011-2014- množství celkového fosforu v t na odtoku



Roky 2011 a 2012 byly hydrology státního podniku Povodí Vltavy vyhodnoceny jako roky průměrně vodné, rok 2013 byl vodný a rok 2014 byl hodnocen jako rok suchý (na základě dlouhodobého měření průtoku v profilu Želivka Poříčí).

Zjištěné roční průměrné koncentrace fosforu odpovídají vodnosti jednotlivých let (viz obrázky 12 až 17). Z hlediska hydrologie byl rok 2013 nadprůměrný a odpovídal tomu i průměrný roční průtok, který byl u všech nádrží zhruba o polovinu větší. Vysoké hodnoty v červnu 2013 dokládají povodňový stav. Je zde patrný i trend, že v zimním

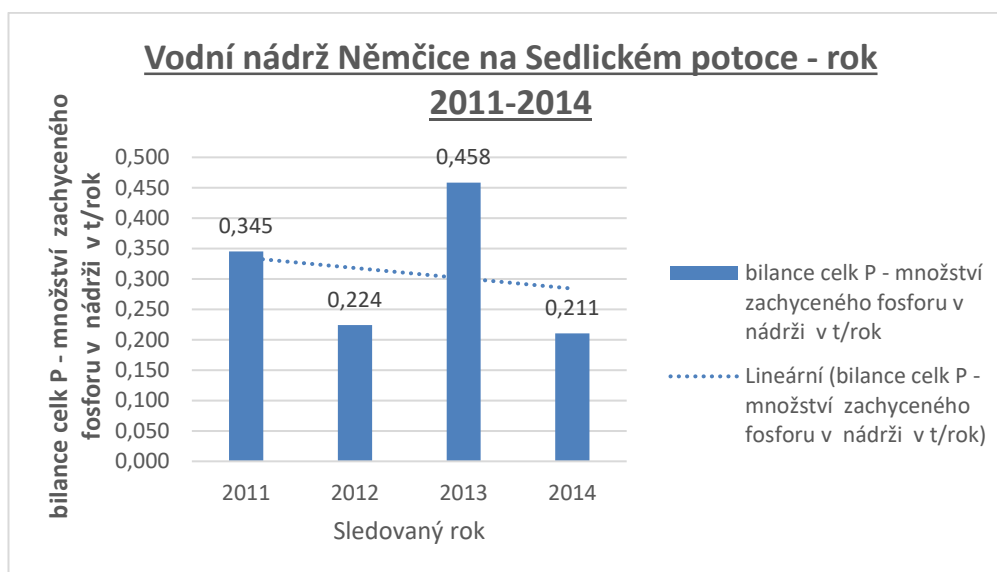
období se obsah celkového fosforu zvyšuje, oproti letním měsícům, kdy dochází ve vrchní vrstvě k jeho vyčerpávání v důsledku růstu biomasy.

## Shrnutí výsledků analýzy zachycování celkového fosforu ve vodě v předřadných nádržích VD Švihov na Želivce

Tabulka 5 Shrnutí analýzy zachycování celkového fosforu ve VN Někčice

<b>Vodní nádrž Někčice na Sedlickém potoce - rok 2011-2014</b>					
sledovaný rok	2011	2012	2013	2014	2011-2014
průměrná roční koncentrace celk. P (mg/l) - přítok	0,078	0,101	0,071	0,093	
průměrná roční koncentrace celk. P (mg/l) - odtok	0,039	0,065	0,050	0,044	
průměrný roční průtok - odtok z nádrží v m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	0,338	0,304	0,550	0,151	
bilance celk. P - přítok do nádrže v t/rok	0,771	0,803	1,275	0,435	<b>3,2</b>
bilance celk. P - odtok z nádrže v t/rok	0,426	0,579	0,817	0,225	<b>2,0</b>
bilance celk P - zachycený P v nádrži v t/rok	0,345	0,224	0,458	0,211	<b>1,2</b>
retence (záchyť) celkového P vyjádřená v %	<b>44,77</b>	<b>27,92</b>	<b>35,95</b>	<b>48,35</b>	<b>39,2</b>

Obr. 18 Graf Množství zachyceného fosforu ve VN Někčice 2011-2014



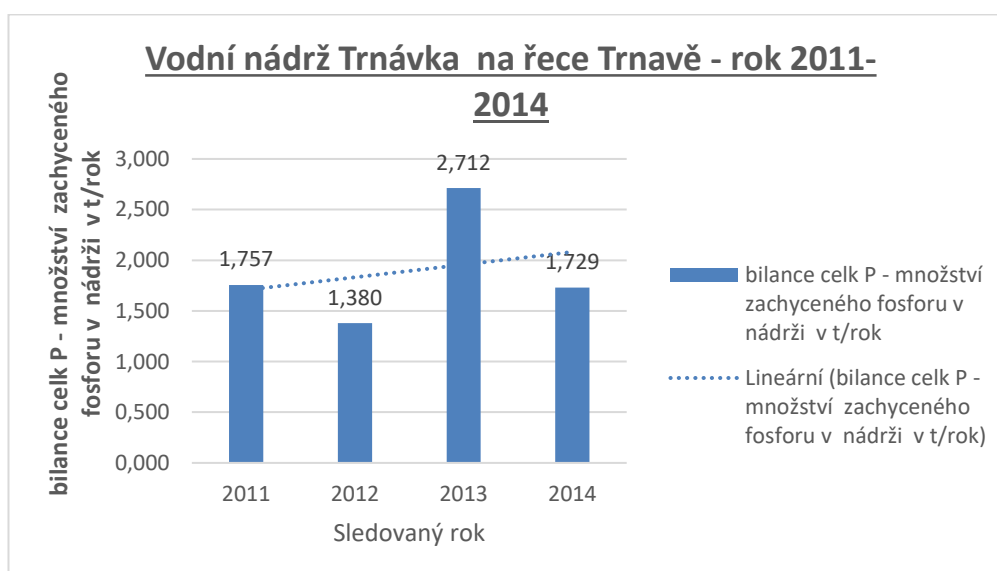
### VN Někčice

Na základě analyzovaných dat (viz tabulka 5) do vodní nádrže Někčice přiteklo v letech 2011 až 2014 cca 3,2 t celkového fosforu. Za stejné časové období z nádrže odteklo cca 2,0 t celkového fosforu. V nádrži bylo zachyceno celkem zhruba 1,2 t celkového fosforu. Nejvyšší záchyť byl zjištěn v roce 2013 a to 0,458 t celkového fosforu (viz obrázek 18). V tomto roce byl také zaznamenán nejvyšší průměrný roční průtok 0,55 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Naopak nejnižší retence celkového fosforu byla v roce 2014, kdy se zachytilo pouze 0,211 t celkového fosforu, což odpovídá nejnižšímu průměrnému ročnímu průtoku, který byl 0,151 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Tabulka 6 Shrnutí analýzy zachycování celkového fosforu ve VN Trnávka

<b>Vodní nádrž Trnávka na řece Trnavě - rok 2011-2014</b>					
sledovaný rok	2011	2012	2013	2014	2011-2014
průměrná roční koncentrace celk. P (mg/l) - přítok	0,079	0,075	0,067	0,091	
průměrná roční koncentrace celk. P (mg/l) - odtok	0,042	0,042	0,042	0,044	
průměrný roční průtok - odtok z nádrží v m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	1,943	1,863	3,325	1,357	
bilance celk. P - přítok do nádrže v t/rok	4,150	3,481	8,125	3,636	<b>19,4</b>
bilance celk. P - odtok z nádrže v t/rok	2,393	2,101	5,413	1,907	<b>11,9</b>
bilance celk P - zachycený P v nádrži v t/rok	1,757	1,380	2,712	1,729	<b>7,5</b>
retence (záchyt) celkového P vyjádřená v %	<b>42,33</b>	<b>39,64</b>	<b>33,38</b>	<b>47,55</b>	<b>40,7</b>

Obr. 19 Graf Množství zachyceného fosforu ve VN Trnávka 2011-2014



### VN Trnávka

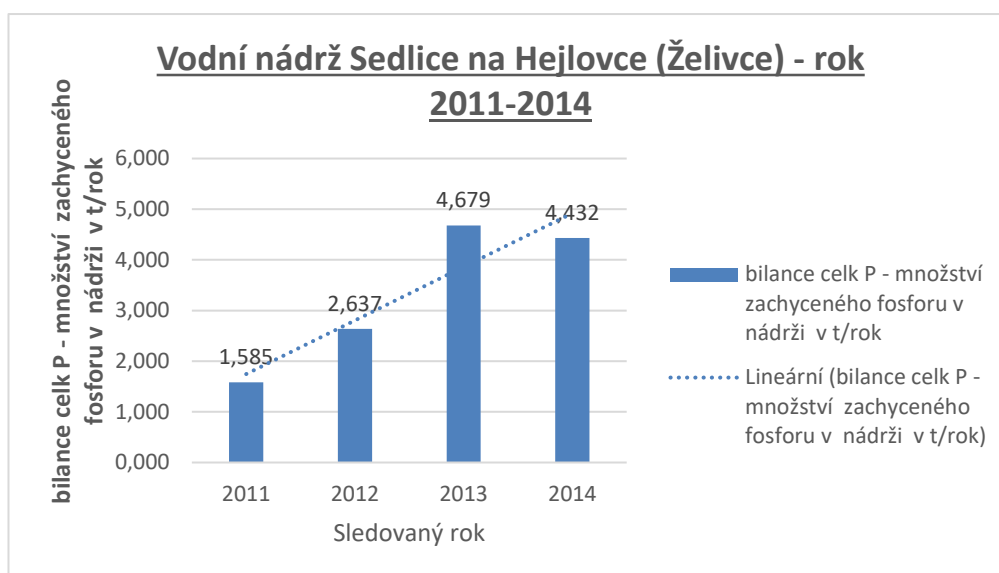
V letech 2011 až 2014 do VN Trnávka přiteklo zhruba 19,4 t celkového fosforu (viz tabulka 6). Ve stejném čase odteklo z nádrže 11,9 t celkového fosforu. Z toho plyne, že v nádrži zůstalo zachyceno cca 7,5 t celkového fosforu. Nejvyšší hodnotu zachyceného celkového fosforu jsem zaznamenala opět v roce 2013- 2,712 t (viz obrázek 19). I když průměrná roční koncentrace celkového fosforu na přítoku byla v tomto roce nejnižší ze všech sledovaných let- 0,067 mg. l<sup>-1</sup>, zvýšený průměrný roční průtok 3,325 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> byl příčinou zvýšeného vnosu celkového fosforu do nádrže. Nejnižší záchyt celkového fosforu 1,380 t jsem zaznamenala v roce 2012.



Tabulka 7 Shrnutí analýzy zachycování celkového fosforu ve VN Sedlice

<b>Vodní nádrž Sedlice na Hejlovce (Želivce) - rok 2011-2014</b>					
<b>sledovaný rok</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2011-2014</b>
<b>průměrná roční koncentrace celk. P (mg/l) - přítok</b>	0,207	0,297	0,283	0,348	
<b>průměrná roční koncentrace celk. P (mg/l) - odtok</b>	0,075	0,099	0,101	0,118	
<b>průměrný roční průtok - odtok z nádrží v m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></b>	2,558	2,397	3,442	1,608	
<b>bilance celk. P - přítok do nádrže v t/rok</b>	6,925	8,611	14,735	10,183	<b>40,5</b>
<b>bilance celk. P - odtok z nádrže v t/rok</b>	5,340	5,974	10,056	5,751	<b>27,1</b>
<b>bilance celk P - zachycený P v nádrži v t/rok</b>	1,585	2,637	4,679	4,432	<b>13,3</b>
<b>retence (záchyt) celkového P vyjádřená v %</b>	<b>22,89</b>	<b>30,62</b>	<b>31,75</b>	<b>43,52</b>	<b>32,2</b>

Obr. 20 Graf Množství zachyceného fosforu ve VN Sedlice 2011-2014



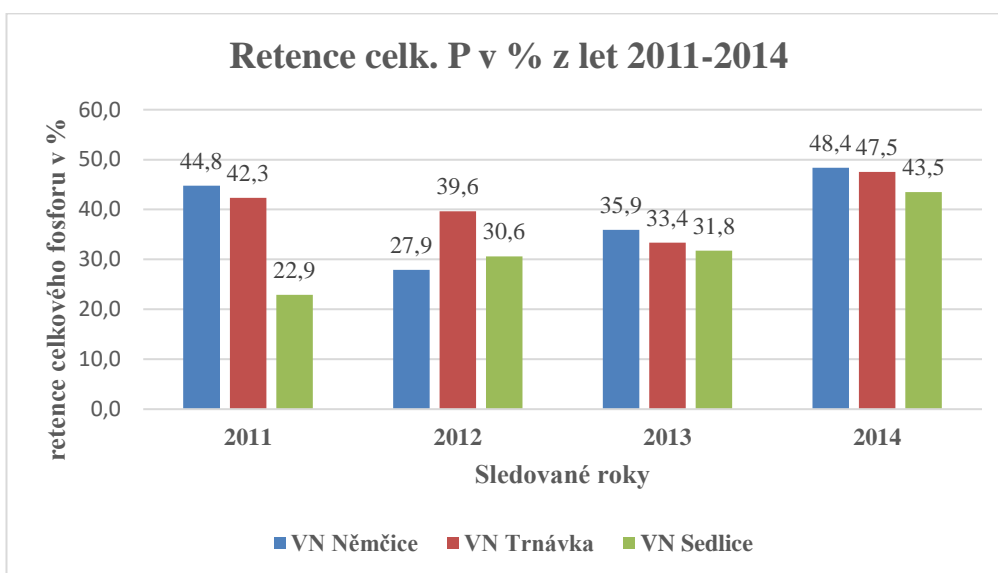
### VN Sedlice

Ve sledovaných letech do VN Sedlice přiteklo celkem 40,5 t celkového fosforu (viz tabulka 7), odteklo cca 27,1 t a v nádrži se zachytilo cca 13,3t. Nejvíce zachyceného celkového fosforu jsem zaznamenala opět ve vodním roce 2013- 4,679 t (viz obrázek 20). Nejnižší hodnota zachyceného celkového fosforu byla vypočtena v roce 2011- 1,585 t. Rok 2014, ačkoli vyhodnocen jako rok suchý a podle průměrného ročního průtoku s nejnižší hodnotou 1,608 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>, měl obdobně vysoké hodnoty zachyceného celkového fosforu 4,432 t jako v roce 2013. Na množství celkového fosforu měla rozhodující vliv rekonstrukce ČOV Pelhřimov.

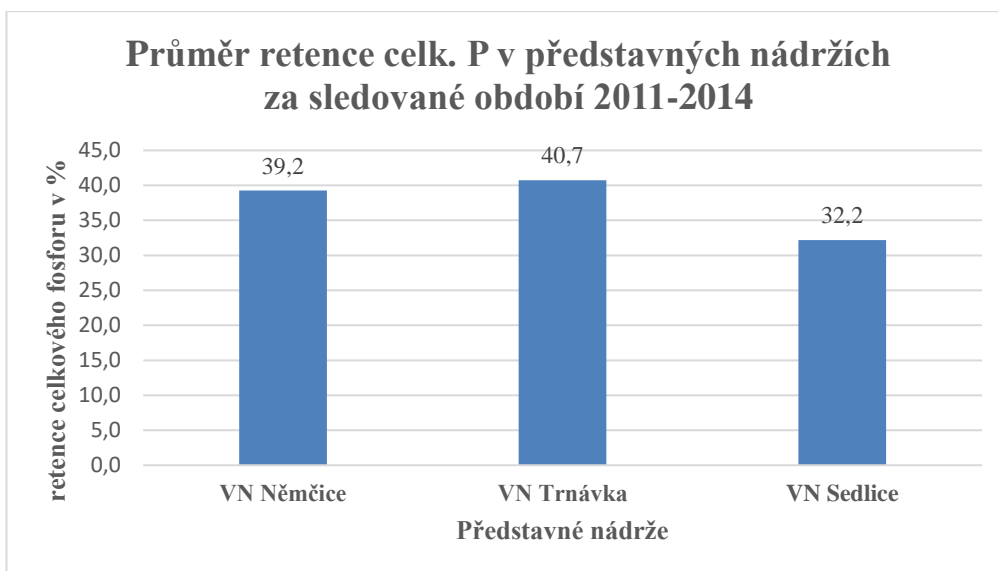
Tabulka 8 Účinnost retence celkového fosforu v % u jednotlivých nádrží z let 2011-2014

Retence (% záchytu celk. P)/rok	2011	2012	2013	2014	průměr za období 2011-2014
VN Němčice	44,8	27,9	35,9	48,4	39,2
VN Trnávka	42,3	39,6	33,4	47,5	40,7
VN Sedlice	22,9	30,6	31,8	43,5	32,2

Obr. 21 Graf Účinnost retence celkového fosforu v % u jednotlivých nádrží z let 2011-2014



Obr. 22 Graf Průměr účinnosti retence celkového fosforu v % z let 2011-2014



Nejvíce fosforu zadržuje VN Němčice (27,9 – 48,4%) a VN Trnávka (33,4 – 47,5%). Ve VN Sedlice se zadržuje fosforu méně (22,9 – 43,5) (viz tabulka 8 a obrázek 21).

Obrázek 22 nabízí průměr účinnosti retence celkového fosforu za sledované roky 2011 až 2014. U VN Němčice byla vypočítána účinnost 39,2%, u VN Trnávky 40,7% a u VN Sedlice je 32,2%.

## 7. DISKUSE

Vyhodnocení záchytu celkového fosforu bylo provedeno na 3 předřadných nádržích, které se od sebe lišily v řadě parametrů.

VN Němčice patří k nejmenším vodním nádržím v povodí VN Švihov, která byla zahrnuta v tomto hodnocení dat. Její vzdálenost od VN Švihov je ze všech předzdrží nejkratší, odvodňuje zemědělsky nejvíce zatíženou oblast. Zejména horní část nádrže trpí zvýšeným zanášením erozním materiálem, a proto už byla za svou existenci 2x čištěna. Sediment pochází ze splachů ze zemědělských ploch a hromadí se především v přítokové oblasti. Z hlediska vnosu fosforu a dusíku patří nádrž k velmi zatíženým, z hlediska blízkosti vodárenskému odběru k potenciálně nebezpečným (Karel Forejt 2017, in verb).

VN Trnávka je objemem vody 6,7 mil.m<sup>3</sup> největší předřadnou nádrží. Odvodňuje rozsáhlé povodí, kde se také ve zvýšené míře provozuje zemědělská činnost, ale v povodí je i značné procento lesních porostů. V přítokové části nádrže nad ponořeným stupněm už byl rovněž odstraňován sediment. V přítokové části nádrže se nachází významný průmyslový podnik papírna Cerepa Červená Řečice. VN Trnávka je z uvedených nádrží nejčistší a zatížena fosforem nejméně. Vzhledem k velké vzdálenosti od vodárenského odběru není její přímý vliv na jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov významný (Karel Forejt 2017, in verb). V hydrologicky suchém roce 2014 jsem při průměrném nejnižším ročním průtoku 1,357 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> předpokládala pokles hodnot celkového fosforu na přítoku i odtoku z nádrže. Přítok celkového fosforu do nádrže byl ale vyšší než v roce 2012, hydrologicky průměrně vodním roce, takže záchyt v roce 2014 byl 1,729 t celkového fosforu s vysokou účinností 47,55%.

VN Sedlice je objemem vody 2,32 mil.m<sup>3</sup> prostřední ze všech tří nádrží. Od předchozích nádrží se liší tím, že se v jejím povodí nachází městská aglomerace Pelhřimov. Nádrž má dva přítoky, povodí Jankovského potoka je spíše zemědělsky využívané, zátoka Želivky je zatížena komunálními vodami. Nádrž Sedlice byla vybudována pro energetické využití, jakost vody na odtoku je ovlivněna špičkováním malé vodní elektrárny, která je v provozu několik hodin denně (Karel Forejt 2017, in verb). Na poměrně vysoké zvýšení hodnot celkového fosforu na přítoku i odtoku z nádrže v roce 2013 měla kromě vyššího průměrného průtoku 3,442 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> vliv i skutečnost, že v té době probíhala rekonstrukce čistírny odpadních vod Pelhřimov

(2012-2014). I na hodnotách v roce 2014 je tato skutečnost znát, i když průměrný roční průtok klesl zhruba na polovinu, množství celkového fosforu na vstupu do nádrže zůstalo vysoké. Současně ale došlo i k vysoké retenci celkového fosforu v nádrži. Bylo zadrženo téměř podobně vysoké množství celkového fosforu-4,432 t, jako v roce 2013-4,679 t. Tudíž účinnost zachycování fosforu ve VN Sedlice byla v roce 2014 43,52 %, oproti 31,75 % v roce 2013.

Bilance fosforu odpovídá množství proteklého fosforu v daném profilu a je funkcí koncentrace, průtoku a doby trvání. Ve sledovaném období došlo k navýšení bilance ve všech nádržích v roce 2013 vlivem vysokých průtoků. U nádrže Sedlice, hlavního přítoku Želivka došlo v letech 2012, 2013, ale i 2014 k navýšení koncentrací fosforu v důsledku rekonstrukce ČOV Pelhřimov.

Retence fosforu je rozdíl mezi bilancí přítoku a odtoku a vyjadřuje se v %. Vypovídá o schopnostech nádrže zachycovat fosfor – o její účinnosti. Nejvíce fosforu zadržuje VN Němčice (27,9 – 48,4%) a VN Trnávka (33,4 – 47,5%). Ve VN Sedlice se zadržuje fosforu méně (22,9 – 43,5). Důvodem je patrně rychlejší obměna vody v nádrži v souvislosti s provozem malé vodní elektrárny Sedlice.

Za sledované období let 2011 až 2014 zadržela VN Němčice cca 1,2 t celkového fosforu (účinnost 39,2%), VN Trnávka cca 7,5 t celkového fosforu (účinnost 40,7%) a VN Sedlice cca 13,3 t celkového fosforu (účinnost 32,2%).

Pro srovnání dat z let 2006 až 2010 byly výsledky následující: VN Němčice zadržela celkem cca 3t celkového fosforu (účinnost 46%), VN Trnávka 12t (účinnost 39%) a účinnost VN Sedlice byla pro nedostatek dat odhadnuta na 20-30% (Dobiáš a kol. 2013).

## 8. ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo na datech poskytnutých státním podnikem Povodí Vltavy (údaje o průměrných měsíčních koncentracích celkového fosforu a průměrných měsíčních průtocích) provést výpočet bilance a retence celkového fosforu a ověřit, že předřadné nádrže zachycují celkový fosfor a plní tak svoji funkci.

Po vyhodnocení je možné konstatovat, že k retenci celkového fosforu v předřadných nádržích dochází. Bilance je závislá na koncentraci celkového fosforu a na průtoku.

Výrazným způsobem se do konečných výsledků promítly zvýšené průtoky v roce 2013, zejména povodňové stavy (červen 2013). Ve stejném roce ještě situaci významně ovlivnila probíhající rekonstrukce ČOV Pelhřimov, což se projevilo na zvýšených koncentracích celkového fosforu ve VN Sedlice.

K retenci celkového fosforu v jednotlivých předřadných nádržích a jednotlivých letech docházelo s účinností od 22,9 % až do 48,4 %.

Za sledované roky 2011 až 2014 zadržela VN Němčice cca 1,2 t celkového fosforu (účinnost 39,2%), VN Trnávka cca 7,5 t celkového fosforu (účinnost 40,7%) a VN Sedlice cca 13,3 t celkového fosforu (účinnost 32,2%).

Z hlediska vodárenské nádrže Švihov na Želivce je žádoucí, aby se v předřadných nádržích zachytilo co největší množství splavenin a živin, zejména pak fosforu. Proto je nutné tyto nádrže sledovat, chránit a provozovat pokud možno naplněné. V pravidelných intervalech pak pravidelně odstraňovat nahromaděný sediment.

## 9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 9.1 Seznam literatury:

DOBIÁŠ, J., FOREJT, K., DURAS, J., MARCEL, M., LIŠKA, M. 2013: Předzdrže v povodí VN Švihov-látková bilance, účinnost retence fosforu. Vodní nádrže, 2013: 64-69.

DOBIÁŠ J., DURAS J., FOREJT K. 2015: Změna vstupu fosforu do vodárenské nádrže Švihov a jejího povodí v období rekonstrukce ČOV Pelhřimov. Sborník konference Vodárenská biologie, Praha, ročník 2015: 84-94.

HARTMAN P., PŘIKRYL I., ŠTĚDRONSKÝ E., 2005: Hydrobiologie. Informatorium, Praha, 359 s.

HEJZLAR J., DURAS J., STAŇKOVÁ B., TUREK J., ŽALOUDÍK J., 2008: Vliv eutrofizace na jakost vody v nádržích: Metodika hodnocení přísunu živin z povodí a protieutrofizační odolnost nádržového ekosystému. Sborník konference Pitná voda 2008: 47-52.

JURSÍK F., 2001: Anorganická chemie nekovů. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha: 228 s.

KOMÍNKOVÁ D., BENEŠOVÁ L., ŠTASTNÁ G.: 2014: Úprava pitných a čištění odpadních vod. ČZU, Praha, 238 s.

LELLÁK J., KUBÍČEK F., 1991: Hydrobiologie. Univerzita Karlova, Praha, 260 s.

LIŠKA M., DURAS J. 2011: VN Švihov – monitoring kvality vody v povodí a jeho výsledky. Vodní hospodářství, Praha, ročník 2011, č. 3: 93-98.

LIŠKA M., KRÁTKÝ M., GOLDBACH J., SOUKUPOVÁ K., FOREJT K. 2012: Největší zdroj pitné vody v České republice – vodárenská nádrž Švihov na Želivce. Vodní hospodářství, Praha, ročník 2012, č.3: 78-82.

MANAHAN S. E., 1991: Environmental chemistry. Fourth edition. Lewis publishers:612 s.

MUCK A., PALETA O. 1998: Základy chemie ke studiu na VŠCHT. Vydavatelství VŠCHT, Praha: 57-59.

PITTER P., 1999: Hydrochemie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 568 s.

PP-17-0 Typy, konzervace, stabilita a mytí vzorkovnic. Pracovní pokyny laboratoře Praha PVL, státní podnik, datum revize 24.3.2016

PP-22 Pracovní pokyny pro přípravu vzorkovnic, konzervaci a předúpravu vzorků vody pro stanovení ICP-MS. Pracovní pokyny laboratoře Praha PVL, státní podnik, datum revize 23.11.2016

Rámcová směrnice o vodách, 2007 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 200/60/ES ze dne 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky

SOP K-34-A Stanovení prvků ICP-MS. Standardizovaný operační postup laboratoře Praha PVL, státní podnik, datum revize 24.2.2015

VACÍK J., 1990: Přehled středoškolské chemie. Státní pedagogické nakladatelství Praha:191-194.



## 9.2 Seznam internetových zdrojů:

URL 11: Fosfor. Wikipedia. Online:<https://cs.wikipedia.org/wiki/Fosfor>, cit. 20.12.2016.

URL 12 [Fosfor, online: http://www.prvky.com/15.html](http://www.prvky.com/15.html), cit. 21.12.2016.

URL 13: Povodí Vltavy, státní podnik, 2016: Nádrže, online:  
<http://www.pvl.cz/portal/Nadrze/cz/pc/?data=1>, cit. 15.10.2016.

URL 2: Vodní nádrž Švihov, online: <http://www.nase-voda.cz/prehrady-cr-iv-vodni-nadrz-svihov/>, cit. 8.10.2016.

URL 5: Povodí Vltavy, státní podnik, 2016: Vodní díla a nádrže, online:  
<http://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vodni-dila-a-nadrze>, cit. 15.10.2016.

URL 7: Povodí Vltavy, státní podnik, 2016: Sedlice, online:  
<http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/sedlice.pdf>, cit. 15.10.2016.

URL 8: Povodí Vltavy, státní podnik, 2016: Němčice, online:  
<http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/nemcice.pdf>, cit. 15.10.2016.

URL 9: Povodí Vltavy, státní podnik, 2016: Trnávka, online:  
<http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/trnavka.pdf>, cit. 15.10.2016.

### 9.3 Seznam obrázků:

Obr. 1 Bílý fosfor (URL1), URL 1: Bílý fosfor, volné dílo, dostupné z <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1311089>

Obr. 2 Červený fosfor (URL 2), URL 2: Červený fosfor, Autor: Ondřej Mangl – ChemSketch, Volné dílo, dostupné z <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2135934>

Obr. 3 Černý fosfor (URL 3), URL 3: Černý fosfor, Autor: Ben Mills – Vlastní dílo, Volné dílo, dostupné z <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4117435>

Obr. 4 Schéma eutrofizace (URL 4), URL 4: Schéma eutrofizace, Wikipedia editováno 4. 1. 2014 v 17:06, dostupné z < <https://cs.wikipedia.org/wiki/Eutrofizace>>

Obr. 5 Limnigrafická stanice na profilu Želivka – Poříčí, zdroj Povodí Vltavy, s. p.

Obr. 6 Schéma povodí VN Švihov, zdroj Povodí Vltavy, s.p.

Obr. 7 Mapa povodí Želivky, zdroj Povodí Vltavy s. p.

Obr. 8 URL 5: ČERVENÝ, B. (1955): Foto - Místo pro vodovodní přehradu k zásobení Prahy vodou, pohled proti proudu Želivky. In: Fotoarchiv České geologické služby [online databáze]. Praha, Česká geologická služba [cit. 2016-12-08].

Dostupné z URL <http://www.geology.cz/foto/8506>

Obr. 9 URL 6: ČERVENÝ, B. (1955): Foto - Přehradní místo pro vodovodní přehradu, pohled po proudu Želivky. In: Fotoarchiv České geologické služby [online databáze]. Praha, Česká geologická služba [cit. 2016-12-08]. Dostupné z URL <http://www.geology.cz/foto/8505>

Obr. 10 URL 7: Vodní nádrž Švihov, dostupné z <http://kalendar.blanicti-rytiri.cz/ostatni/komentovana-prohlidka-na-hraz-vodni-nadrze-svih>

Obr. 11 Malá vodní elektrárna na VD Sedlice, zdroj Povodí Vltavy s. p.

Obr. 12 Graf A-VN Němčice 2011-2014- množství celkového fosforu v tunách na přítoku

Obr. 13 Graf A-VN Němčice 2011-2014- množství celkového fosforu v tunách na odtoku

Obr. 14 Graf B-VN Trnávka 2011-2014- množství celkového fosforu v tunách na přítoku

Obr. 15 Graf B-VN Trnávka 2011-2014- množství celkového fosforu v tunách na odtoku

Obr. 16 Graf C-VN Sedlice 2011-2014- množství celkového fosforu v tunách na přítoku

Obr. 17 Graf C-VN Sedlice 2011-2014- množství celkového fosforu v tunách na odtoku

Obr. 18 Graf Množství zachyceného fosforu ve VN Němčice 2011-2014

Obr. 19 Graf Množství zachyceného fosforu ve VN Trnávka 2011-2014

Obr. 20 Graf Množství zachyceného fosforu ve VN Sedlice 2011-2014

Obr. 21 Graf Účinnost retence celkového fosforu v % u jednotlivých nádrží z let 2011-2014

Obr. 22 Graf Průměr účinnosti retence celkového fosforu v % z let 2011-2014

#### **9.4 Seznam tabulek:**

Tabulka 1 Výpočet měsíčních koeficientů

Tabulka 2 Výpočet bilance celkového fosforu a účinnosti VN Němčice v roce 2011

Tabulka 3 Výpočet bilance celkového fosforu a účinnosti VN Trnávka v roce 2011

Tabulka 4 Výpočet bilance celkového fosforu a účinnosti VN Sedlice v roce 2011

Tabulka 5 Shrnutí analýzy zachycování celkového fosforu ve VN Němčice

Tabulka 6 Shrnutí analýzy zachycování celkového fosforu ve VN Trnávka

Tabulka 7 Shrnutí analýzy zachycování celkového fosforu ve VN Sedlice

Tabulka 8 Účinnost retence celkového fosforu v % u jednotlivých nádrží z let 2011-2014

## 10. PŘÍLOHY

Příloha 1 Tabulka 3 Výpočet bilance celkového fosforu a účinnosti VN Trnávka v roce 2011

<b>B - Vodní nádrž Trnávka na řece Trnavě - rok 2011</b>															
Profil 4801 -- Trnava - přítok do nádrže Trnávka															
ICO	4801	4801	4801	4801	4801	4801	4801	4801	4801	4801	4801	4801			
měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
laboratoř	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL			
průměrná měsíční koncentrace celk. P	0,0907	0,0790	0,0512	0,0472	0,0809	0,1014	0,1065	0,1383	0,0916	0,0658	0,0448	0,0478	<b>koncentrace/rok</b>	<b>0,08</b>	
prům. měsíční průtok-Červená Řečice TRCR Q30	4,8219	2,5244	2,3700	1,9386	1,2958	1,1402	1,2645	1,2346	1,2882	1,1601	1,0108	1,1780	<b>průtok/rok</b>	<b>1,77</b>	
přepočtový koeficient	2,6784	2,4192	0,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784			
<b>množství celk. P v t</b>	<b>1,1714</b>	<b>0,4825</b>	<b>0,0823</b>	<b>0,2372</b>	<b>0,2808</b>	<b>0,2997</b>	<b>0,3607</b>	<b>0,4573</b>	<b>0,3058</b>	<b>0,2045</b>	<b>0,1174</b>	<b>0,1508</b>	<b>bilance vstup t/r</b>	<b>4,15</b>	
Profil 4600 -- Trnava - odtok z nádrže Trnávka															
ICO	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600			
měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
laboratoř	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL			
průměrná měsíční koncentrace celk. P	0,0442	0,0368	0,0276	0,0294	0,0343	0,0448	0,0640	0,0430	0,0518	0,0538	0,0374	0,0320	<b>koncentrace/rok</b>	<b>0,04</b>	
prům. měsíční průtok-Kocanda TRKO Q30	5,5764	3,2360	1,8852	2,0604	1,4730	1,2510	1,1365	1,4591	1,4772	1,2487	1,4130	1,0991	<b>průtok/rok</b>	<b>1,94</b>	
přepočtový koeficient	2,6784	2,4192	0,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784			
<b>množství celk. P v t</b>	<b>0,6602</b>	<b>0,2881</b>	<b>0,0353</b>	<b>0,1570</b>	<b>0,1353</b>	<b>0,1453</b>	<b>0,1948</b>	<b>0,1680</b>	<b>0,1983</b>	<b>0,1799</b>	<b>0,1370</b>	<b>0,0942</b>	<b>bilance výstup t/r</b>	<b>2,39</b>	
<b>Vodní nádrž Trnávka na řece Trnavě</b>									<b>Vstup</b>	<b>Výstup</b>	<b>% zachycení</b>				
<b>Účinnost zachycování celk. P v roce 2011 (t/rok)</b>									<b>4,15</b>	<b>2,39</b>	<b>42,33</b>				

Príloha 2 Tabulka 4 Výpočet bilance celkového fosforu a účinnosti VN Sedlice v roce 2011

<b>C - Vodní nádrž Sedlice na Hejlovce (Želivce) - rok 2011</b>													do nádrže ústí 2 přítoky		
													5600	Kojčice Hejlovka	
													6800	Jankovský potok	
<b>Profil 5600 + profil 6800 - společný přítok do nádrže Sedlice</b>															
ICO	:800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600 ;800+5600														
měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
laboratoř	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL			
průměrná měsíční koncentrace celk. P	0,1015	0,1152	0,1136	0,1570	0,2490	0,2958	0,2875	0,3566	0,2940	0,1664	0,1436	0,2068	<b>koncentrace/rok</b>	<b>0,21</b>	
prům. měsíční průtok HEKO Q30 + JPMI Q30	7,4857	3,7554	3,1415	1,8141	1,3120	1,3848	1,6189	1,3590	1,9164	1,4264	1,0514	1,1981	<b>průtok/rok</b>	<b>2,29</b>	
množství celk. P v t	1,1081	0,5838	0,5026	0,4220	0,5298	0,6413	0,7200	0,7023	0,7181	0,3373	0,2352	0,4247	<b>bilance vstup t/r</b>	<b>6,93</b>	
<b>Profil 5000 -- Želivka v profilu Vřesník -- odtok z nádrže Sedlice</b>															
ICO	5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000														
měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
laboratoř	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL			
průměrná měsíční koncentrace celk. P	0,0613	0,0580	0,0520	0,0594	0,0876	0,0964	0,1065	0,0993	0,0803	0,0643	0,0542	0,0768	<b>koncentrace/rok</b>	<b>0,07</b>	
prům. měsíční průtok ZEVR Q30	6,5920	3,9683	3,4954	2,1287	1,6611	1,7554	2,0333	1,9586	2,4561	1,7046	1,3647	1,5752	<b>průtok/rok</b>	<b>2,56</b>	
přepočtový koeficient	2,6784	2,4192	0,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784			
množství celk. P v t	1,0823	0,5568	0,1233	0,3277	0,3897	0,4386	0,5800	0,5209	0,5112	0,2936	0,1917	0,3240	<b>bilance výstup t/r</b>	<b>5,34</b>	
									<b>Vstup</b>	<b>Výstup</b>	<b>% zachycení</b>				
									<b>6,93</b>	<b>5,34</b>	<b>22,89</b>				
<b>Vodní nádrž Sedlice na řece Hejlovce</b>															
<b>Účinnost zachycování celk. P v roce 2011 (t/rok)</b>															
									<b>6,93</b>	<b>5,34</b>	<b>22,89</b>				