

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí

Program Ekologie a ochrana prostředí, obor Ochrana životního prostředí

Bakalářská práce

Fytoplankton vodárenských nádrží Jizerských hor ve vztahu k upravitelnosti vody

Phytoplankton of drinking water reservoirs in the Jizera Mountains, Czech Republic, in relation to the treatability of water

Anna Čermáková



Vedoucí práce: RNDr. Zuzana Hořická, Ph.D.

Praha, květen 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci s názvem „Fytoplankton vodárenských nádrží Jizerských hor ve vztahu k upravitelnosti vody“ jsem vypracovala sama na základě uvedené literatury a vlastních znalostí.

V Praze dne

.....

Anna Čermáková

1 Obsah

1	OBECNÁ CHARAKTERISTIKA JIZERSKÝCH HOR.....	6
1.1	GEOLOGIE, GEOMORFOLOGIE, PEDOLOGIE	6
1.2	PODNEBÍ.....	6
1.3	HYDROLOGIE	7
1.4	FAUNA A FLÓRA	7
1.5	ACIDIFIKACE JIZERSKÝCH HOR	8
1.6	VODÁRENSKÉ NÁDRŽE JIZERSKÝCH HOR	11
1.6.1	<i>Přehrada Souš</i>	12
1.6.2	<i>Přehrada Josefův Důl</i>	13
1.6.3	<i>Fyzikálně-chemické parametry nádrží</i>	13
1.6.4	<i>Ryby a zooplankton</i>	14
1.6.5	<i>Vápnění</i>	15
2	FYTOPLANKTON VODÁRENSKÝCH NÁDRŽÍ	16
2.1	DINOPHYCEAE – OBRNĚNKY	19
2.2	CRYPTOPHYCEAE – KRYPTOMONÁDY; SKRYTĚNKY	23
2.3	CHRYSOPHYCEAE – ZLATIVKY	24
2.4	CHLOROPHYCEAE – ZELENIVKY	26
2.5	CYANOBACTERIA – SINICE.....	27
3	ÚPRAVA VODY	27
3.1	ÚPRAVA VODY SOUŠ	27
3.2	ÚPRAVA VODY BEDŘICHOV.....	28
3.3	MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ	29
3.4	KOAGULACE	30
3.4.1	<i>Usazovací nádrže</i>	32
3.4.2	<i>Flotační nádrže</i>	32
3.5	FILTRACE.....	32
3.6	DOÚPRAVA A DESINFEKCE	33
4	SOUHRN:	34
	ZDROJE:	36

Abstrakt

Jizerské hory se rozkládají v severních Čechách, které byly ve druhé polovině 20. století významně ovlivněny kyselou atmosférickou depozicí. Tato horská oblast leží na velmi citlivém geologickém podloží krkonošsko - jizerského krystalinika a je charakteristická převládajícím smrkovým porostem, přirozeně kyselými půdami podzolového typu, relativně velkou plochou rašelinišť ve vrcholových partiích hor, drsným klimatem a vysokými ročními úhrny srážek. Z důvodu častých a vydatných srážek a velmi malé infiltrace vody do půdy zde v minulosti často docházelo k povodním, které byly velmi nebezpečné pro osídlené podhůří hor, proto byl na počátku 20. století navržen plán na výstavbu soustavy údolních nádrží, které by tvořily významnou protipovodňovou ochranu oblasti. V 70. letech stoupla potřeba nových zdrojů pitné vody, a proto byla přehrada Souš přebudována na vodárenskou nádrž a v 80. letech byla na řece Kamenici postavena údolní nádrž Josefův Důl. Obě nádrže měly již od počátku dystrofní charakter a nádrž Souš se vyznačovala přirozeně vyššími koncentracemi hliníku. Vzhledem k antropogenní acidifikaci byly obě nádrže a jejich povodí bez ryb až do úspěšného vysazení sivena amerického v 90. letech. Fytoplankton nádrží byl acidifikací také významně ovlivněn a to do takové míry, že po ústupu acidifikace je její vliv stále výrazný a proces zotavování probíhá velmi pomalu. Dominantními představiteli fytoplanktonu obou nádrží jsou již od 80. let zástupci třídy Dinophyceae, a to především druhy *Gymnodinium uberrimum* a *Peridinium umbonatum*. Dále se na celkové biomase fytoplanktonu vodárenských nádrží podílejí zástupci tříd Cryptophyceae, Chrysophyceae a Chlorophyceae. V posledních letech se v přehradních nádržích v letních měsících objevila sinice *Merismopedia tenuissima*. Sinice a řasy vodárenských nádrží jsou indikátory jakosti surové vody a zároveň ve vyšších množstvích velký problém pro její úpravu na vodu pitnou, se kterým souvisí potřeba nových technologických postupů k zajištění požadované kvality pitné vody.

Abstract

The area of the Jizera Mountains (northern Bohemia) was significantly affected by acid atmospheric deposition in the second half of the 20th century. This mountain area has a very sensitive geology and is characterized by the predominance of spruce stands, naturally acidic shallow soils of podzolic type, large areas of peat bogs in the upper plateau, a rough climate, and a very high annual rainfall. The frequent heavy rains and a low infiltration capacity of soils brought about floods in the past, very dangerous for the populated foothills. , so in the early 20th century For that reason, a plan was proposed to construct a system of reservoirs for a flood protection of the area. In the 1970s, the need for new sources of drinking water increased in the area. The Souš retention and recreation reservoir was rebuilt to a drinking water reservoir in 1974, and a new drinking water reservoir Josefův Důl was built in 1982. Both the water bodies have had a dystrophic character since the beginning, and the Souš reservoir suffers from naturally high concentrations of aluminum. Due to the anthropogenic acidification, the reservoirs were fishless until brook charr (*Salvelinus fontinalis*) were successfully (re)introduced in the 1990s, and the diversity and numbers of the zooplankton were very low. The phytoplankton were also significantly affected by acidification, despite the naturally acidic character of the water in the reservoirs, and their recovery from acidification is very slow. Since the 1980s, the dominating phytoplankton in both the reservoirs have been Dinophyceae, namely *Gymnodinium* sp., *Peridinium uberrimum*, and *P. umbonatum*. Minor groups in the total biomass of phytoplankton were Cryptophyceae, Chrysophyceae, and Chlorophyceae in the period of peaking acidification as well as during recovery from acidification. Recently, cyanobacteria (*Merismopedia tenuissima*) occur in the reservoirs, presenting a major concern for the drinking water treatment. As they may affect negatively the drinking water quality, new technologies are needed in the water treatment process.

1 Obecná charakteristika Jizerských hor

1.1 Geologie, geomorfologie, pedologie

Jizerské hory jsou součástí geologického celku, krkonoško - jizerského krystalinika, který je obklopen útvary lugika. Velká část Jizerských hor je tvořena žulovým plutonem variského stáří a v oblasti dále řídce pronikají mladší vulkanity (Knotek, 2009). K nejznámějším vulkanitům, terciárním bazaltickým horninám, patří například lokalita na Bukovci a skála ve Frýdlantu, na které leží tamní zámek. Ve vyšších nadmořských výškách geologické podloží překryto vrstvami rašeliny. V centrální části hor se rozkládá velká náhorní plošina s důkazy mrazového zvětrávání. Celý jizerskohorský masív má mírný sklon na jih a západ, což způsobilo zvětšení spádu vodních toků.

Na území leží často zrašelinělé kambizemní podzoly, ve vyšších polohách se vyskytují klasické podzoly. Na severních svazích najdeme litozemě a rankery. V oblasti náhorní plošiny převládají organozemě vrchovištního typu (Březina a kol., 1997).

1.2 Podnebí

Oblast je mírně chladná a bohatá na srážky. Nejnižší teploty jsou zde v zimních měsících, a to především v prosinci, lednu a únoru. Nad 10 °C se teploty dostávají v nadmořských výškách nad 800 m od června do srpna. Nejtepleji je v červenci, kdy se průměrné teploty pohybují mezi 13,6 - 15,1 °C (Kulasová a Bubeníčková, 2009). Průměrná roční teplota je 4,4 °C (Březina a kol., 1997).

Jizerské hory jsou charakteristické převládajícím severozápadním prouděním vzduchu a srážkami, které vypadávají na návětrné straně hor (Višňák, 2012). Oblast je srážkově nadprůměrná, průměrný roční úhrn srážek činí 800 až 1 600 mm (Kulasová a Bubeníčková, 2009). Měsíce s největším množstvím srážek jsou červenec a srpen a v zimním období prosinec a leden. Naopak nejmenší úhrny srážek jsou v dlouhodobém průměru v měsících únor, březen, někdy i říjen. Ve výškách nad 800 m n. m. se trvalá sněhová pokrývka vyskytuje od listopadu do

konce dubna a dosahuje průměrné výšky 120 cm (Kulasová a Bubeníčková, 2009). Vegetační období ve vyšších nadmořských výškách (650 - 850 m n. m.) trvá přibližně 150 dní (Březina a kol., 1997).

1.3 Hydrologie

Územím Jizerských hor prochází hlavní evropské rozvodí mezi Baltickým a Severním mořem. Leží v povodí Labe a Odry a vyznačuje se extrémními srážkovými poměry. I z toho důvodu zde bylo vybudováno několik vodních nádrží, které měly primárně funkci ochrany před povodněmi. Charakter území je dán specifickými klimatickými podmínkami, geologickou stavbou. V posledních desetiletích, v důsledku acidifikace a úhynu lesa, byla odlesněna značná plocha hor, což mělo negativní vliv i na rašeliniště, ve kterých pramení místní vodní toky. Průtoky vodních toků jsou rozkolísané a významně reagují na aktuální srážkovou situaci (AOPK ČR, 2010). Jizerské hory byly v roce 1978 vyhlášeny Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod, která je rozlohou shodná s CHKO Jizerské hory, která byla vyhlášena v roce 1968 a pokrývá 368 km². Hydroenergetický potenciál všech toků Jizerských hor je vzhledem k příznivým spádovým podmínkám intenzivně využíván (Rous a kol., 2009).

1.4 Fauna a flóra

Z lesních biotopů jsou v Jizerských horách nejvíce zastoupeny acidofilní bučiny (AOPK ČR, 2010). Lesní porosty dle Křečka a Hořické (2001) pokrývaly v roce 2001 83 % plochy hor. Nejvýznamnějšími lesními biotopy jsou zde acidofilní bučiny spolu s třtinovými, podmáčenými a rašelinnými smrčinami (AOPK ČR, 2010). Původními druhy dřevin jsou zde buk lesní (*Fagus sylvatica*), smrk ztepilý (*Picea abies*) a jedle bělokorá (*Abies alba*) (Křeček a Hořická, 2001). V bezlesých oblastech hor se nacházejí zejména vrchoviště, která patří z hlediska ochrany přírody k nejcennějším biotopům celé chráněné krajinné oblasti. Dalším místem s přirozenou vegetací jsou exponované plochy na nejvyšších vrcholech hor. Až 26 % celkové rozlohy hor tvoří v dnešní době nepůvodní porosty jehličnatých dřevin. Lesní skladba je velmi vzdálená původnímu přirozenému složení porostů Jizerských hor. Důvodem jejich vzniku bylo vysazování

náhradního porostu, které bylo realizováno po imisně ekologické kalamitě ze 70. a 80. let (AOPK ČR, 2010).

Nejvýznamnějšími druhy rostlin, které se na území hor nacházejí, jsou například blatnice bahenní (*Scheuchzeria palustris*) a ostřice mokřadní (*Carex limosa*) v cenných rašeliništních společenstvech. Na květnatých loukách lze nalézt vzácné vstavačovitě rostliny jako je prstnatec májový (*Dactylorhiza majalis*) a prstnatec Fuchsův (*Dactylorhiza fuchsii*). Velmi významný je výskyt jalovce obecného nízkého (*Juniperus communis* subsp. *alpina*), který se v České republice nachází pouze v Jizerských horách, Jeseníkách a Krkonoších (Březina a kol., 1997). Po smýcení porostů smrku se novým dominantním společenstvem pramenných oblastí Jizerských hor stalo na holinách společenstvo *Juncus effusi* - *Calamagrostis villosa* (Stuchlík a kol., 1997). To bránilo po smýcení lesa erozi na odlesněných svazích, ale zároveň ztěžovalo opětovné zalesnění hor (Hořická, osobní sdělení).

1.5 Acidifikace Jizerských hor

Jizerské hory leží v oblasti epicentra kyselé atmosférické depozice celé Evropy (Stuchlík a kol., 1997). Oblast se jinak nazývá Černý trojúhelník. Kromě severních Čech sem patří i přilehlé části Německa a Polska. Hlavní příčinou vzniku tzv. kyselých dešťů jsou sloučeniny dusíku a síry emitované především tepelnými elektrárnami, lokálními topeništi, dále vznikají v dopravě a zemědělství. Ty se dostávají zpět na zem v podobě mokré a suché kyselé atmosférické depozice. Pro přehradní nádrže v Jizerských horách je antropogenní acidifikace významná zejména ve vztahu ke kvalitě vody v povodí a jejímu využití pro úpravu na vodu pitnou.

Kyselé depozice jsou nebezpečné především pro specifické oblasti s geologicky citlivým podložím, s nedostatkem bazických kationtů pro neutralizaci kyselin, převážně magmatického původu (žula, rula a svor) (Kalff, 2002) a jehličnatými stejnověkými porosty. Tyto podmínky jsou charakteristické pro nejvíce poškozené oblasti Severních Čech (Krušné a Jizerské hory). V případě Jizerských hor přispívají zároveň k míře acidifikace velmi vysoké roční srážkové úhrny, které patří k nejvyšším v České republice. Pohybují se okolo 1400 až 1600 mm. Vedle toho se zde uplatňuje vysoká přirozená kyselost půd a vod - vodárenské nádrže se nacházejí v oblasti s velkým výskytem rašelinišť, která značně ovlivňují chemismus vod. Z oblastí rašelinišť jsou do

nádrží transportovány organické látky, zejména huminové kyseliny, které ovlivňují pH vod. Ty jsou uvolňovány především porosty rašeliníku (*Sphagnum*).

Faktory, které významně oslabují ekosystémy v rámci acidifikace, jsou okyselování půd a povrchových vod a krátkodobé depozice silně koncentrovaného oxidu siřičitého. Zároveň oblasti s jehličnany na velké rozloze přijímají vzhledem k velkému aktivnímu povrchu jehlic daleko vyšší koncentrace okyselujících látek než listnaté stromy (Hruška a Kopáček, 2005) a otevřené bezlesé krajiny (Stuchlík a kol., 1997). Vlastní příčinou úhynu porostů v postižených oblastech je následný klimatický stres (období sucha, mrazy, náhlé změny teploty v zimním období) a hmyzí a houboví škůdci, nikoliv pouze samotná kyselá depozice (Hruška a Kopáček, 2005). K poškození takových oblastí přispívá i nevhodný lesnický management oblasti. Negativní dopad má hlavně těžba poškozených lesních porostů pomocí těžké mechanizace a neefektivní ochrana proti hmyzím škůdcům (Hořická a Křeček, 2001).

V Jizerských horách se vliv acidifikace na přírodní prostředí začal projevovat nejpozději v 50. letech minulého století (Stuchlík a kol., 1997). Nejvyšší intenzity dosahovalo znečištění v 70. a 80. letech, kdy koncentrace emisí oxidů síry a dusíku dosáhly svého maxima. Poté docházelo k postupnému poklesu koncentrace kyselých imisí v důsledku snižování produkce energie z tepelných elektráren hlavně z Východního Německa a především odsiřováním a důsledným používáním odlučovačů popílku v uhelných elektrárnách. Neméně významným faktorem, který přispěl ke snížení přísunu kyselosti do povodí, bylo velkoplošné smýcení jehličnatých lesů na náhorní plošině hor ve druhé polovině 80. let (Hořická a Křeček, 2001). K výraznému zlomu došlo po roce 1989, kdy v oblasti střední Evropy nastaly velké politicko - ekonomické změny spojené s přechodem centrálně plánované hospodářské politiky na tržní ekonomiku. Důsledkem bylo výrazné snížení spotřeby energie i její výroby. Emise oxidů síry a dusíku značně poklesly.

Kyselá depozice měla velmi významný negativní dopad na vodárenské nádrže a jejich povodí. Jako první vymizely z nádrží rybí populace a poté následovalo radikální snížení rozmanitosti a početnosti zooplanktonu, ve kterém převládalo několik druhů vířníků a korýšů: *Brachionus servus*, *Keratella valga*, *Ceriodaphnia quadrangula* a *Acanthocyclops vernalis*

(Stuchlík a kol., 1997). K úhynu ryb při acidifikaci dochází především kvůli zvýšení koncentrace hliníku v nádržích a jejich povodích. Fytoplankton tvořily druhy velmi odolné vůči kyselosti vody, dominantními druhy se stali někteří zástupci třídy Dinophyceae (*Peridinium umbonatum*, *Gymnodinium uberrimum*) (Hořická a Křeček, 2001). V 70. a 80. letech se výrazně změnil chemismus vod, tyto hodnoty byly zjištěny v rámci hydrologického výzkumu na experimentálním povodí Jizerka, Oldřichov a povodích nádrží Souš, Josefův Důl a Bedřichov Křečkem a Hořickou (2001). Ti zde zjistili, že pH vody ve zkoumaném území se snížilo na hodnotu pH mezi 4 a 5, přitom hodnota pH, při které dochází k poničení organismů sníženým pH, se pohybuje již mezi 5,5 - 6,0 (Doka a kol., 2003). Dle výzkumu prováděného na Kanadských jezerech byla významná hodnota pH mezi 4,7 až 5,6: při této hodnotě zde byl vyčerpán uhličitánový systém a došlo k nejvýraznější změně ve složení fytoplanktonu (Lacoul a kol., 2011). V důsledku poklesu pH se na experimentálních povodích Křečka a Hořické (2001) zvýšila celková koncentrace hliníku na 1 až 2 mg.l⁻¹.

Acidifikace nádrží souvisí také se zhoršením kvality surové vody pro úpravu na vodu pitnou. Nízké pH vody má za následek nadměrné množství Al, Fe, Mn, Cd, Pb a jiných kovů. Koncentrace těchto prvků přesahují povolené limity pro pitnou vodu (Matschullat a Bozau, 1996). Pro usnadnění úpravy surové vody je vodárenská nádrž Souš od roku 1996 pravidelně v jarním období vápněna. Podle autorů Johnson a Angeler (2010) jsou u acidifikovaných jezer větší meziroční změny ve složení fytoplanktonu.

Acidifikace způsobuje dlouhodobé změny ekosystémů stojatých vod. Z hlediska chemismu vod v současné době v Evropě i Severní Americe dochází, po ústupu silné atmosférické depozice, k jednoznačnému zlepšení (Skjelkvåle a kol., 2003). V Jizerských horách byly první známky chemického zotavování z acidifikace patrné již na konci 80. let, kdy došlo ke smýcení značných částí silně poškozeného smrkového porostu na náhorní plošině hor, čímž se snížilo vyčesávání suché depozice z atmosféry. Průměrné pH vody v experimentálním povodí Jizerka se zvýšilo ze 4,0 na 5,3 a zároveň klesly koncentrace sulfátů a nitrátů ve vodách (Hořická a Křeček, 2001). Zotavování živé složky ekosystémů však má daleko dlouhodobější trend. Výsledky biologických výzkumů acidifikovaných vod zatím většinou ukazují na velmi malé změny (Skjelkvåle a kol., 2003). Tento trend je zřejmý i u vodárenských nádrží Souš a Josefův Důl, kdy

se celková biomasa fytoplanktonu prakticky nemění a druhové složení je také pouze částečně pozměněné (Loučková, 2004, Procházková, 2013). Stejný postup zotavování byl pozorován i u fytoplanktonu acidifikovaných oligotrofních jezer na Šumavě (Nedbalová a kol., 2006). I tak se ale může složení a biomasa fytoplanktonu některých acidifikovaných jezer zotavit do podoby stavu jezer při neutrálním pH (Johnson a Angeler, 2010).

I když se oblast Jizerských hor v současné době úspěšně zotavuje z acidifikace, existuje nebezpečí, že se prostředí opět začne znovu okyselovat, jelikož koncentrace oxidů dusíku v ovzduší jsou stále vysoké z důvodů velmi intenzivní automobilové dopravy. Hlavním negativním činitelem by se tedy mohl stát dorůstající smrkový porost v Jizerských horách a zvýšená suchá kyselá atmosférická depozice, která se bude zachycovat na povrchu jehlic. Rostoucí les bude dále odčerpávat velké množství bazických kationtů z půd (Ca a Mg). Tato predikce byla provedena Hruškou a kol. (2012) prostřednictvím modelu MAGIC (Model of Acidification on Groundwater in Catchment). Ke z mírnění nebo eliminaci očekávané „malé“ acidifikace by došlo, pokud by se místo smrkových monokultur vysazovaly smíšené lesy. Zároveň listnaté stromy na svém povrchu zachycují suchou atmosférickou depozici o 30 % méně než jehličnany (Hořická a Křeček, 2001).

1.6 Vodárenské nádrže Jizerských hor

Vodárenské nádrže v Jizerských horách vznikly ve druhé polovině 20. století. Původní soustava údolních nádrží zde byla vybudována z důvodu velmi častých povodní v povodí Černé a Bílé Desné, Kamenice a horní Jizery. Projekt stavby těchto nádrží byl navržen na počátku 20. století (Přehrada Souš, online).

Nejdříve byla zbudována úpravna vody na Souši, následně v 80. letech byla zkonstruována Josefodolská přehrada. Obě dvě nádrže mají přirozeně kyselý charakter, a to vzhledem ke geologicky velmi citlivému podloží, převaze smrkového porostu a přísunu huminových kyselin z rašelinišť v povodí nádrží a také ze zatopených ploch rašelinišť na dně nádrží. V důsledku kyselé atmosférické depozice byly nádrže silně acidifikovány, což výrazným způsobem dále ovlivňovalo charakter jejich surové vody a náročnost její úpravy na vodu pitnou. Ke zlepšení kvality surové vody částečně přispívá to, že nádrže jsou situovány ve vyšších

nadmořských výškách, díky nim je také teplota vody relativně nízká, což omezuje nadměrný rozvoj organismů (Tuhovčák a kol., 2009).

Tab. 1. Základní parametry vodárenských nádrží (Stuchlík, 1997, Rous a kol., 2009)

	Souš	Josefův důl
maximální hloubka (m)	20,5	39,0
zásobní objem (10^6 m^3)	7,561	22,114
délka vzdutí (km)	2,1	2,6
maximální výška hladiny (m n. m)	770,5	733,2
plocha nádrže (ha)	102	150
plocha povodí nádrže (km^2)	13,96	19,80
délka hráze v koruně (m)	364	360
šířka hráze v koruně (m)	7,1	7,5
výška hráze (m n.m)	771,28	735,00
doba zdržení (dny)	179	464

1.6.1 Přehrada Souš

Vodárenská nádrž leží na řece Černá Desná. Byla vybudována mezi lety 1912 - 1915. Hlavním důvodem stavby byla protipovodňová ochrana a odvedení části povodňového průtoku z Bílé Desné (v místě dnešní Protržené přehrady) podzemní štolou, která může také sloužit pro posílení vodního zdroje (Rous a kol., 2009). V září 1916 se protrhla hráz nádrže Bílá Desná ve vedlejším údolí. V souvislosti s touto katastrofou byla v letech 1924 - 1927 přehrada z bezpečnostních důvodů rekonstruována (Přehrad Souš, online). V rámci této rekonstrukce byla zesílena, zpevněna a utěsněna hráz a současně byl zvýšen bezpečnostní přeliv (Přehrada Souš, online). Do 70. let byla využívána jako rekreační oblast. Z důvodu zvyšující se spotřeby pitné vody byla v letech 1970 - 1974 přebudována na vodárenskou údolní nádrž (Rous a kol., 2009). Byla zde vystavěna úpravná surové vody. V dnešní době slouží jako zásobárna pitné vody pro oblast Jabloneckou, Tanvaldskou a Železnobrodskou s využitelným objemem 320 l.s^{-1} , zároveň plní funkci ochran před velkými vodami, nadlepšuje průtok při havarijním

znečištění vody v toku pod nádrží, samostatně nadlepšuje průtok Černé Desné pod nádrží a také je energeticky využitelná ve vodní elektrárně (s maximálním výkonem 22 kW) (Přehrada Souš, online). Přehrada je opatřena zemní sypanou hrází s bočním nehrazeným přelivem (Rous a kol., 2009). Voda je z nádrže odváděna do úpravný věžovým vtokovým objektem s možností jímání vody ze dvou hloubek. Voda je odtud odváděna 220 m dlouhou štolou s ocelovým potrubím o průměru 800 mm do úpravný (Přehrada Souš, online). Voda z údolní nádrže Souš je svými vlastnostmi jedinečná - má velmi nízkou vodivost, nízké pH a přirozeně zvýšené množství hliníku. Úpravna vody se nachází přímo u nádrže (Bálek, 1992).

1.6.2 Přehrada Josefův Důl

Jedná se o jednu z nejmladších údolních nádrží v ČR. Stavba josefodolské přehrady byla započata v roce 1976 a dokončena v roce 1982 (Broža a kol., 2005). Přehrada leží na řece Kamenici. Jejími hlavními funkcemi jsou akumulace surové vody (odtok 502 l s^{-1}) (Přehrada Josefův Důl, online), ochrana proti povodním, nadlepšování minimálního průtoku na Kamenici (Rous a kol., 2009), nadlepšování průtoku při výrazném znečištění vody v toku pod nádrží (Přehrada Josefův Důl, online) a částečně je využívána i k energetickým účelům (Rous a kol., 2009). Přehrada má hlavní hráz o výšce nad základem 44 m a vedlejší hráz, která je vysoká nad základem 20 m (Broža a kol., 2005). Hlavní i boční hráz jsou hráze přímé, zemní s asfaltobetonovým těsněním (Přehrada Josefův Důl, online). K výrobě elektrické energie se zde využívá turbostroj s dosažitelným výkonem 110 kW. K úpravě surové vody dochází v úpravně vody v Bedřichově, kam je voda převáděna štolou o délce 2440 m. Odtud jsou pitnou vodou zásobovány okolní aglomerace, především krajské město Liberec (Rous a kol., 2009). Voda odebíraná pro vodárenskou úpravu železobetonové odběrné věže. Pro odběr je zde umístěno pět vtokových otvorů v různých hloubkách (Přehrada Josefův Důl, online).

1.6.3 Fyzikálně-chemické parametry nádrží

Jedná se o nádrže dimiktické s letní a zimní teplotní stratifikací. Epilimnium nádrží je stabilní a homogenní. Dle výzkumu prováděného na nádržích v roce 1992 Stuchlíkem a kol. (1997) se během letní stratifikace výrazně oddělilo od hypolimnia. Příčinou tohoto jevu může být relativně velká hloubka a silné proudění větru (Stuchlík a kol., 1997). Tento jev je

charakteristických především pro nádrž Josefův Důl (Hořická, osobní sdělení). Termoklina nádrží je obvykle v hloubce 6 - 8 m. Vertikální distribuce rozpuštěného kyslíku je u josefodolské a soušské přehrady klinográdního typu (Stuchlík a kol., 1997). Nádrž Souš má přirozeně dystrofní charakter (Smetanová, 2001, Loučková 2004). Obě nádrže jsou přirozeně kyselé s malým počtem biologických druhů, a proto také velmi snadno podlehly acidifikaci. Přirozeně kyselý charakter je zapříčiněn přísunem huminových kyselin z povodí nádrží (Stuchlík a kol., 1997). Nádrže mají malou průhlednost. Josefodolská přehrada měla dříve průhlednost mezi 2 – 5 m, v posledních letech po ústupu kyselosti se ještě více snížila na 1,5 m. V nádrži Souš se dnes pohybuje okolo 2 m, dříve nabývala hodnot mezi 1,5 - 2,5 m (Hořická, nepublikované údaje).

V roce 1992 byly hodnoty pH u obou nádrží mezi 5 a 5,5. V letních měsících byly naměřeny vyšší hodnoty pH v epilimniu, což mohlo být způsobeno vápněním či alkalizací přítoky z povodí (Stuchlík a kol., 1997). Josefodolská přehrada má celkově nižší pH vody než Souš (Procházková, 2013).

1.6.4 Ryby a zooplankton

Roku 1910 zde byl vysazen siven americký (*Salvelinus fontinalis*), který se v nádržích Bedřichov a Souš udržel až do poloviny 40. let (Stuchlík a kol., 1997). V roce 1949 došlo k hromadnému hynutí ryb, podle tehdejších znalostí v důsledku opakovaného vypouštění přehrad během 2. světové války a přísunu bezkyslíkaté vody při jarním tání (Lhotský, 1963). Acidifikace oblasti způsobila, že od 50. let až do poloviny 90. let 20. století byly nádrže a jejich povodí bez ryb (Hořická a Křeček, 2001). V roce 1986 byl zahájen systematický monitoring povodí vodárenských nádrží Souš a Josefův Důl, který zachytil postupné zlepšování kvality vody, zejména snížení koncentrace celkového hliníku (Koza a Rederer, 2012). Díky tomu bylo možné v polovině 90. let znovu vysadit sivena amerického (*Salvenilus fontinalis*) do nádrží. Tento druh ryb je nejodolnější vůči kyselosti vody (Hořická a Křeček, 2001). V nádržích se úspěšně uchytily (Loučková, 2004). V 1996 byl siven reintrodukován do nádrže Souš. Do vodní nádrže Josefův Důl byl siven vysazen roku 1998 (Hořická, nepublikovaná data). Populace jsou stabilní a přirozeně se rozmnožuje, ale koncentrace hliníku a těžkých kovů v játrech a svalech ryb zůstaly i po ústupu acidifikace nadlimitní, což bylo způsobeno jejich vysokým obsahem v hlavní potravě ryb (bentických larvách jepic a chrostíků) (Hořická a Křeček, 2001). Přežívání rybích populací při

dosud neustáleném chemismu vody ohrožují významné poklesy pH a množství toxické formy hliníku ve vodě. Po roce 2000 byly provedeny úspěšné pokusy o introdukci střevle potoční do josefodolské přehradě a pstruha obecného do nádrže Souš, kde by jeho populace měla nahradit nepůvodní druh - sivena amerického (Švátora a kol., 2012).

V zooplanktonu se před nástupem acidifikace ve vodárenské nádrži Souš nacházely především druhy *Bosmina longistoris* a *Eudiaptomus gracilis* (Jirásek a kol., 1959). V roce 1992 byly hlavními druhy nádrží především *Brachionus sericus*, *Keratella valga* a *Microcodon clavus* (Rotifera), *Ceriodaphnia quadrangula* (Cladocera) a *Acanthocyclops vernalis* (Copepoda) (Stuchlík a kol., 1997). Také nadále od roku roku 1993 dominovala v přehradě Souš perloočka *Ceriodaphnia quadrangula*. Následně, po ústupu acidifikace, se v nádrži objevila i perloočka *Daphnia longispina*, (Loučková, 2001, Z. Hořická, ústní sdělení).

1.6.5 Vápnění

Po smýcení poškozených porostů v povodí Černé Desné se zvýšil transport organických látek spolu s hliníkem do nádrže, což znesnadňovalo úpravu surové vody. Po jarním tání byla situace vždy nejhorší (Přehrada Souš, online). Vápnění na území Jizerských hor bylo prováděno již od minulého století ve snaze o záchranu rybích populací (Lhotský, 1963), zároveň je významné pro zvýšení pH a snadnější úpravu surové vody na pitnou. Od 90. let byla oblast nepravidelně vápněna, ovšem bez dlouhodobějších pozitivních výsledků (Bednářová, 1988). Z toho důvodu je nádrž od roku 1996 vždy po jarním tání vápněna. Nádrž je vápněna letadlem ze vzduchu. K vápnění se používá jemně mletý vápenec v dávkách okolo 10 a 12 g m⁻³ (Přehrada Souš, online). Vápnění zvyšuje pH nádrže a zároveň snižuje toxicitu (Hořická a Křeček, 2001). V případě vodárenské nádrže Souš se jedná o významnou součást předúpravy pitné vody (Přehrada Souš, online). Při zvýšení pH dochází k flokulaci hliníku, čímž se stává surová voda jednodušeji upravitelnou. Vápnění má však i svoji negativní stránku. Velmi rychlá změna pH způsobuje zvýšení biomasy a změnu složení na druhy typické pro neacidifikované oligotrofní nádrže, což způsobuje snížení průhlednosti a zmenšení eufotické vrstvy (Kalff, 2002). Na Souši zůstávají i při vápnění dominantními obrněnky (Loučková, 2004).

2 Fytoplankton vodárenských nádrží

Vzhledem k původnímu přirozeně kyselému charakteru vody byly nádrže málo odolné vůči velmi silné acidifikaci, která se v Jizerských horách nejvýrazněji prosadila v 70. a 80. letech minulého století. Od roku 1974 je nádrž Souš zásobárnou pitné vody pro Jablonec nad Nisou a Tanvald. Přehrada Josefův Důl byla dokončena v roce 1982 a od té doby zásobuje pitnou vodou Liberec. Množství a druhové zastoupení fytoplanktonu může významně ovlivňovat kvalitu pitné vody a technologickou složitost její úpravy.

Acidifikace povrchových vod je celosvětově zkoumaný problém. Ve většině případů se výsledky výzkumů chování biologické složky acidifikovaných jezer a nádrží shodují, i když srovnání mezi nádržemi v Jizerských horách a jinými acidifikovanými jezery je obtížnější, jelikož nádrže Jizerských hor jsou dystrofní, přirozeně kyselé a málo úživné již od počátku (Loučková, 2001). Obecně v oligotrofních neacidifikovaných nádržích či jezerech převládají ve fytoplanktonu především druhy tříd *Chrysophyceae*, *Chlorophyceae* a *Bacillariophyceae*, někdy také sinice – *Cyanophyceae* (Lacoul a kol., 2011). Během nástupu acidifikace se druhové složení mění a dominantními druhy se stávají zástupci tříd *Dinophyceae* a *Cryptophyceae* (Findlay a kol., 1999). Obecně je pro acidifikovaná jezera typická přítomnost malého počtu druhů (Hörnström, 1999). Dle výzkumů na skandinávských jezerech se při $\text{pH} < 5$ zvyšuje celkové množství biomasy fytoplanktonu v epilimniu, a to hlavně kvůli dominanci druhů třídy *Dinophyceae* (obrněnky). Jejich druhová početnost však neroste, jelikož byly nahrazeny malé druhy obrněnek velkými s pevným pancířem tvořeným chitinózními destičkami (Schindler a kol., 1985). Zároveň od pH vody 4,5 a níže tvořily druhy třídy *Dinophyceae* více jak 90 % biomasy (Findlay a kol., 1999). U acidifikovaných jezer nebo vodních nádrží byly pozorovány větší meziroční změny ve složení fytoplanktonu. Změny v celkovém biologickém složení vod nebyly tak významné. Při nástupu acidifikace je reakce fytoplanktonu opožděná, dokud není překročena určitá hodnota pH . Po překročení této hranice je ale reakce okamžitá (Almer a kol., 1974). Při zotavování je naopak oproti reakci na snížené pH daleko pomalejší a pozvolná (Johnson a Angeler, 2010). Při výzkumu na jezerech ve Skandinávii fytoplankton reagoval změnou druhového složení již při poklesu pH pod 6,2 - zvýšil se podíl obrněnek na celkové biomase fytoplanktonu. Při následném dalším poklesu pH se podíl obrněnek na celkové biomase fytoplanktonu dále zvyšoval (Findlay a kol., 1999). Při pH 5,6 - 6,1 převládaly v acidifikovaných nádržích druhy tříd *Chrysophyceae*,

Cyanophyceae a Chlorophyceae. Při poklesu pH pod 5,6 dominovaly obrněnky *Gymnodinium* sp., při dalším postupu acidifikace se dominantním stal druh *Peridinium umbonatum* (Findlay a Kasian, 1986). Při zotavování z acidifikace je změna ve složení a biomase fytoplanktonu daleko komplexnější a pomalejší než změna v chemickém složení (Johnson a Angeler 2010). Důvodem pomalé změny v druhovém složení fytoplanktonu může být nedostatečné množství fosforu, limitujícího biogenního prvku, společně se schopností dominantních druhů přizpůsobit se rostoucímu pH a dalším změnám v chemickém složení vody v nádrži či jezeře (Nedbalová a kol., 2006). V případě acidifikovaných jezer ve Švédsku došlo k významné změně ve složení fytoplanktonu teprve poté, co se zvýšil obsah fosforu a huminových látek ve vodě (Hörnström, 1999), jelikož fosfor je schopen spolu s huminovými látkami a hliníkem tvořit komplexy. To je důvodem, proč vody s organickými kyselinami nemají vysoké koncentrace toxického hliníku, a proto zde mohou organismy přežít i za nižšího pH vody (Pitter, 1981). Zároveň může být významně narušen koloběh dusíku, jelikož s velkým poklesem pH se může celkově snížit množství rozkladných procesů organické hmoty (Driscoll a kol., 2003). Následná odpověď fytoplanktonu na zotavování z acidifikace však může být různá. V některých jezerech se druhové složení zvláště významně nemění a dále zde převládají stejné druhy sinic a řas, jako je tomu v případě šumavských acidifikovaných jezer (Nedbalová a kol., 2006). V jiných případech však může docházet i k výrazné obměně dominantních druhů sinic a řas, jako se stalo ve velmi citlivých acidifikovaných jezerech v Tatrách (Červenková, 2010).

Hlavními zástupci fytoplanktonu v nádrži Souš v letech 1993 – 1997 byly druhy ze tříd Dinophyceae (*Gymnodinium uberrimum*, *Peridinium umbonatum*, *Peridinium cinctum*), Cryptophyceae (*Cryptomonas ovata*, *Cryptomonas marssonii*), Chrysophyceae (*Mallomonas* sp., *Ochromonas* sp., *Chromulina* sp.) a Chlorophyta (*Chlamydomonas* sp.). Všechny druhy, které se v nádrži v tomto období nacházely, jsou bičíkovci. Díky této vlastnosti jsou řasy schopny migrovat za vhodnějšími podmínkami v rámci nádrže (Smetanová, 2001, Loučková, 2004). K výrazným změnám ve složení fytoplanktonu došlo na počátku nového tisíciletí, kdy se v nádržích začaly objevovat nové druhy řas: *Crucigenia tetrapedia* a *Sphaerocystis planctonica* z třídy Chlorophyceae a noví zástupci třídy Chrysophyceae (*Dinobryon bavaricum*, *Dinobryon cylindricum*, *Dinobryon divergens*) a řasa *Synura sphagnicola* ze třídy Synurophyceae. I v tomto období zde však přetrvávaly obrněnky (Dinophyceae) a skrytěnky (Cryptophyceae), které

v nádržích dominovaly i v 90. letech (Procházková a kol., 2013). Z výsledků Procházkové (2013) je patrné, že početnost hlavních druhů a dominance se v obou nádržích v poslední dekádě částečně liší. V roce 1993 byla situace velmi podobná – v obou nádržích dominovalo několik druhů obrněnek (Dinophyceae). V roce 1997, kdy se již fytoplankton začal zotavovat z acidifikace, byla situace v nádržích poněkud rozdílná. Na Souši převládaly v létě zlaté řasy třídy Synurophyceae, konkrétně druh *Synura sphagnicola*, s menším příspěvkem obrněnek, a v podzimních měsících dominovaly obrněnky s malým podílem zlativek (Chrysophyceae). Na Josefově Dole byla situace opačná. V letních měsících roku 1997 zde byly dominantní obrněnky (Dinophyceae) s příspěvkem zlativek (Chrysophyceae) a skrytěnek (Cryptophyceae) a na podzim převládala třída Chrysophyceae s menším zastoupením tříd Cryptophyceae a Dinophyceae. Od roku 2007 bylo každým rokem na Josefově Dole zaznamenáno významné množství zástupců sinice *Merismopedia tenuissima*, a to v průběhu celého roku. Na údolní nádrži Souš se tato sinice také vyskytla, ale jen v malém zastoupení – převládajícími organismy jsou v posledním desetiletí opět obrněnky (L. Procházková a kol., 2013, L. Procházková, nepublikovaná data). Jak uvádí např. Hörnström (1999), zmíněné dominantní skupiny řas (především Dinophyceae a Chrysophyceae) jsou charakteristickými zástupci fytoplanktonu v acidifikovaných jezerech či nádržích.

Sinice a řasy jsou vzhledem ke své malé velikosti a životní strategii (krátkému životnímu cyklu) často schopny reagovat rychle na změny podmínek (Procházková a kol., 2013), proto může při epizodické acidifikaci např. po jarním tání sněhu či přílivových deštích docházet k náhlým změnám jejich druhového složení (Lacoul a kol., 2011).

Celková objemová biomasa fytoplanktonu nádrží se pohybovala v roce 1992 mezi 1,00 - 5,30 mm³·l⁻¹. Většina biomasy se v obou nádržích nacházela v horních 5 metrech vodního sloupce. V letech 1993 – 1997 byla hodnota biomasy 0,17 – 4,70 mm³·l⁻¹. Nejvyšší hodnoty (okolo 10 mm³·l⁻¹) byly zaznamenány v červenci 1997. Nejnižší hodnoty byly naměřeny v letech 1996 a 1997 s absolutně nejnižší hodnotou v nádrži Souš (0,17 mm³·l⁻¹) 22. 6. 1997. Celková biomasa od té doby nepatrně vzrostla. Dle výsledků Loučkové (2004) se začátkem tisíciletí, oproti období 1993 - 1997, výrazně zvýšila abundance obrněnek a naopak se snížilo množství představitelů tříd Chrysophyceae a Chlorophyceae. V roce 2002 byly naměřeny hodnoty

v rozmezí 0,39 až 11,30 mm³.l⁻¹ s nejvyšší hodnotou naměřenou na podzim (říjnové odběry) v hladinovém vzorku. K výraznému nárůstu celkové biomasy v podzimních měsících docházelo z důvodu přívalových dešťů, kdy se splachem z povodí dostává do nádrží více živin (Loučková, 2004). Během celého roku se maxima biomasy fytoplanktonu nacházela v 1 - 2 m pod hladinou. V roce 2003 se celková biomasa pohybovala mezi 0,13 až 4,70 mm³.l⁻¹. Na rozdíl od předešlého roku nebyly rozdíly v hodnotách během roku tak výrazné, jelikož území nepostihly extrémní přívalové deště jako v roce 2002 (Loučková, 2004). V nádrži Josefův Důl ani na Souši nebyly v letech 1993 - 2012 zjištěny významné změny v celkové biomase fytoplanktonu, ale zmenšila se velikost buněk obrněnek a zvýšila se jejich početnost. Tuto změnu spolu s výrazným nárůstem biodiverzity potvrdily Procházková a kol. (2013).

Ke změnám v druhovém složení začalo docházet až na konci 90. let, což znamená, že fytoplankton do té doby téměř nereagoval na velmi výrazné snížení emisí síry a méně výrazného poklesu emisí dusíku z kyselé atmosférické depozice (s výjimkou zvýšení druhové rozmanitosti). Přes to dominující obrněnky byly několikrát nahrazeny zlatou řasou *Synura spagnicola* ze třídy Synurophyceae, což bylo patrně umožněno dočasnými podmínkami a aktuálním stavem nádrží (Procházková a kol., 2013). V šumavských ledovcových jezerech byla odpověď fytoplanktonu na zvyšování hodnot pH vody dosti podobná. V jezerech se v roce 2003 nacházelo 15 - 27 druhů planktonních řas. Dominantními skupinami většiny jezer byly obrněnky, Dinophyceae (druhy *Peridinium umbonatum*, *Gymnodinium uberrimum*) a zlativky, Chrysophyceae (především rod *Dinobryon*) a maxima jejich biomasy se nacházela až na výjimky v epilimniu (Nedbalová a kol., 2006). Významná byla přítomnost obrněnky *Katodinium plannum* v letech 1993 a 1997 (Procházková a Hořická, 2012).

2.1 Dinophyceae – obrněnky

Obrněnky jsou nejpočetnější skupinou fytoplanktonu jizerskohorských nádrží a zároveň jsou typickými představiteli vod se sníženým pH. V 80. letech 20. století dokonce způsobily svým přemnožením problémy při úpravě pitné vody (Stuchlík a kol., 1997). Množství obrněnek v pitné vodě bylo takové, že bylo zakázáno ji pít bez převaření (Lhotský, 1986). Na začátku výzkumu nádrží v Jizerských horách v roce 1992 byly dominantními druhy nádrže Souš i Josefův Důl rody *Peridinium* a *Gymnodinium*. Tito zástupci třídy Dinophyceae tvořili 63 - 99 % celkové biomasy

řas (Stuchlík a kol., 1997). V letech 1993 - 1995 představovaly obrněnky 80 - 96 % celkové biomasy fytoplanktonu, od října 1996 byl jejich podíl nižší, ale stále značný (43 - 92 %) (Smetanová, 2001). V údolní nádrži Josefův Důl taktéž dominovaly po celou dobu výzkumu (Procházková a Hořická, 2012). V letech 2002 a 2003 byly opět dominantní skupinou (Loučková, 2004). Dominovaly i v období nejsilnější acidifikace a i dnes při zotavování vodárenských nádrží z acidifikace jsou významnou skupinou fytoplanktonu. Naznačuje to velmi široké rozmezí podmínek, za nichž jsou tyto organismy schopné žít, zároveň však tento fakt může znamenat, že zotavování organismů z acidifikace je dlouhodobý proces, který bude trvat více než 20 let od snížení emisí síry (Procházková, 2013).

Obrněnky jsou z velké části bičíkovci, pouze několik zástupců jsou nepohyblivé řasy (Hindák a kol., 1978). Bičíkatí jedinci mají buňku rozdělenou příčnou rýhou (Kalina a Váňa, 2005). Bičík obrněnkám umožňuje pohyb v nádrži do míst s nevhodnějšími podmínkami pro jejich existenci (Nedbalová a kol., in press). Některé buňky jsou obaleny slizem (Procházková, 2004), který spolu s mnohvrstevnatou thékou chrání před působením toxických forem hliníku ve vodách s nízkými hodnotami pH (Vrba a kol., 2006). Tyto organismy jsou velmi citlivé na koncentraci chloridů ve vodách (tolerují koncentrace do 100 mg l⁻¹) a vyhýbají se znečištěným vodním nádržím – většina druhů upřednostňuje vody bohaté na kyslík (Hindák a kol., 1978). Dominantními zástupci této třídy ve studovaných nádržích jsou *Gymnodinium uberrimum* a *Peridinium umbonatum*. Jedná se o bičíkovce s velkými buňkami, kteří jsou typickými obyvateli acidifikovaných jezer a nádrží (Findlay a kol., 1999). Díky své velikosti jsou velmi obtížnou kořistí pro zooplankton (Hindák a kol., 1978). Jejich další výhodou je, že při poklesu množství živin v důsledku acidifikace jsou schopné žít se mixotrofně (Procházková a kol., 2013). Mixotrofii využívaly obrněnky v nádrži Souš především na podzim a v zimě (Loučková, 2004). Dále jsou schopny migrovat ve vodním sloupci do vrstvy s vhodnějšími podmínkami pro přežití, obvykle do méně kyselého epilimnia či metalimnia (Cook a kol., 1986). Proto se vyskytují převážně v epilimniu. V roce 1997 se druh *Gymnodinium uberrimum* vyskytoval především v 0 - 1 m. Druh *Peridinium umbonatum* se také soustřeďoval především u hladiny, ale je schopný migrovat dolů až k vrchní hranici hypolimnia (Smetanová, 2001).

***Gymnodinium uberrimum*:** Má oválné až kulovité buňky s hlubokou příčnou rýhou. Epitéka je stejně vysoká jako hypotéka ((Allman) Kofoid et Swezy). Obrněnky rodu *Gymnodinium* nemají

pevný buněčný obal. Průměrný rozměr jejich buněk je 32 x 29 μm (Smetanová, 2001). V letech 2002 a 2003 byly naměřeny průměrné rozměry buněk tohoto druhu stejné, 37 x 32 μm (Loučková, 2004).

Peridinium umbonatum: Buňky jsou vejcovitého tvaru, mírně dorzoventrálně zploštělé s výrazným pevným pancířem z celulózových destiček (Stein). Průměrný rozměr buněk je 19 x 18 μm (Smetanová, 2001). V letech 2002 a 2003 byly naměřeny průměrné rozměry buněk 26 x 22 μm . Největších velikostí dosahovaly tyto obrněnky na jaře a na podzim. Jejich velikost se zvětšovala s hloubkou (Loučková, 2004).

Obrněnka *Peridinium umbonatum* je velmi hojná v planktonu a nárostech jezírek, rybníků, rašelinišť a údolních nádrží (Hindák a kol., 1978). Druhy *Peridinium umbonatum* a *Gymnodinium uberrimum* jsou odolné vůči nízkému pH a vysokým koncentracím toxických forem hliníku (Nedbalová a kol., in press). Žijí v oligotrofních údolních nádržích s pH nižším než 7 a nízkou alkalinitou (Hindák a kol., 1978).

Podrobnější výzkum fytoplanktonu byl proveden především na vodárenské nádrži Souš. Ze vzorků odebraných v období 1993 – 1997 vypracovala Karolína Smetanová v roce 2001 diplomovou práci. Z let 1993 - 1996 byly k dispozici pouze hladinové vzorky, studium vertikální distribuce bylo možné pouze ze vzorků z roku 1997. Na počátku sledovaného období (v roce 1993) v nádrži Souš převládala větší druh *Gymnodinium uberrimum*. Po zbytek sledovaného období byla dominantním druhem menší obrněnka *Peridinium umbonatum*, která dosahovala 4 – 5 krát vyšší abundance než druh *Gymnodinium uberrimum* již od léta 1993. Nejvyšší početnosti dosáhl tento druh v létě 1995 (736 - 762 ind ml^{-1}). V letních měsících 1993 a 1997 se zde také nacházel druh *Katodinium plannum* (Smetanová, 2001). V létě 1997 se tato obrněnka objevila také v josefodolské přehradě, kde se vyskytovala již krátce po dostavění nádrže (Procházková a Hořícká, 2012).

Vertikální distribuce fytoplanktonu byla na přehradě Souš zkoumána pouze v roce 1997. Maxima celkové biomasy se po celý rok nacházela v oblasti epilimnia, minima nade dnem. Převážnou část celkové biomasy tvořily po celý rok obrněnky (80 % biomasy). Celková biomasa dosahovala maxima v červenci, kdy však obrněnky tvořily pouze nepatrnou část biomasy. Největší zastoupení měly naopak v květnu na hladině a v hloubce 1 m. Většinu zástupců

obrněk tvořil druh *Peridinium umbonatum* (263 ind ml⁻¹), který se také většinou vyskytoval pouze u hladiny. V červnu 1997 bylo možné jeho zástupce nacházet i ve větších hloubkách (3 - 5 m). V říjnu 1997 se vyskytoval 13 m pod hladinou. Významné pro toto podzimní období bylo, že se rod *Peridinium* vyskytoval v celém vertikálním profilu v přibližně ve stejném zastoupení (Smetanová, 2001), což bylo pravděpodobně způsobeno podzimním mícháním. Nejnižší zastoupení mělo u dna. V červnu 1997 dominoval druh *Gymnodinium uberrimum*, a to v hloubkách 0, 1 a 3 m. Nejčastěji se v průběhu sezóny vyskytoval u hladiny a v hloubce 1 m. V menším zastoupení ho bylo možno nalézt i ve větších hloubkách (až 13 m pod hladinou), a to hlavně v srpnu a říjnu. Z říjnového měření 1997, prováděného Karolínou Smetanovou, vyplývá, že v profilu nádrže převládali především zástupci druhu *Peridinium umbonatum* v hloubkách od 0 do 13 m. Druhým nejčastějším druhem byla v tomto období obrněnka *Gymnodinium uberrimum*. Obrněnka *Peridinium cinctum* se vyskytovala v nádrži pouze v červnu a červenci 1997. V červnu se vyskytovala v hloubkách 1, 3 a 7 m s největším zastoupením v hloubce 3 m. V červenci dosáhla nejvyšší abundance (41 %) v hloubce 7 m (Smetanová, 2001).

Jiné malé druhy obrněnek dosáhly svého největšího rozvoje v květnu, kdy tvořily 18 % celkové biomasy a vyskytovaly se především u hladiny a v hloubce 1 m (Smetanová, 2001).

Za celé sledované období 1993 - 1997 nebyl podle Smetanové (2001) zaznamenán žádný důkaz o změně druhového složení fytoplanktonu ani jeho celkové biomasy, který by souvisel se zotavováním z acidifikace.

Při měření prováděném Pavlou Loučkovou v letech 2002 a 2003 (Loučková, 2004) opět byly dominantními druhy z třídy Dinophyceae. Obrněnka *Peridinium umbonatum* se v roce 2002 vyskytovala nejčastěji na jaře, během letních měsíců její abundance poklesla a znovu se zvýšila na podzim. V období podzimního a jarního míchání se nejčastěji nacházela u hladiny. Během léta bylo její maximum v hloubce 2 m. V letních měsících 2002 byla na Souši zjištěna přítomnost také malé formy druhu *Peridinium umbonatum* (Loučková, 2002).

Druh *Gymnodinium uberrimum* dosáhl nejvyšší početnosti v říjnu 2002. Od června 2002 byly obrněnky rodu *Gymnodinium* dominantními zástupci fytoplanktonu ve vodárenské nádrži a největší zastoupení u hladiny.

V roce 2003 byla na jaře dominantním druhem obrněnka *Peridinium umbonatum*. Její početnost v průběhu sezóny klesala a dominantní postavení na hladině převzal druh *Gymnodinium uberrimum*. Nárůst obrněnek rodu *Peridinium* byl zaznamenán opět až na podzim. Po celý rok dominovaly ve větších hloubkách než ve vzorcích z jiných let a maxima početností dosahovaly v hloubce 4 m (Loučková, 2004).

2.2 Cryptophyceae – kryptomonády; skrytěnky

Kryptomonády jsou převážně bičíkovci se dvěma různě dlouhými bičíky. Buňky mají dorzoventrální zploštělou stavbu s jícnem nacházejícím se na předním konci. Povrch buňky pokrývá tuhý periplast s velmi složitou stavbou (Kalina a Váňa, 2005). Jejich povrch je velmi málo odolný, proto je určování fixovaného materiálu složité. Z tohoto důvodu jsou významnou potravou zooplanktonu, pro který jsou jejich buňky velmi dobře stravitelné. Skrytěnky jsou velmi odolné vůči nízkým teplotám (Kaštovský a Hauer, 2013). Vyskytují se hlavně v jarních a podzimních měsících v údolních nádržích a rybnících, na jaře jsou prvními primárními producenty. Dle odborné literatury, řasy ze třídy Cryptophyceae preferují prostředí ve větších hloubkách. V oligotrofních jezerech se nacházejí na hranici kyslíkaté a bezkyslíkaté vrstvy. Jejich optimum hloubky se nachází mezi 15 až 20 m (Kugrens a Clay, 2003). Stejně jako obrněnky jsou schopné migrovat ve vodním sloupci (Kalina a Váňa, 2005). Migrace využívají k aktivnímu vyhledávání prostředí s optimální koncentrací živin a intenzitou světla (Pouličková a Jurčák, 2001).

V roce 1992 tvořily řasy ze třídy Cryptophyceae v obou nádržích 2 - 15 % z celkové objemové biomasy. V té době byly jejich hlavními zástupci některé druhy rodu *Cryptomonas* (Stuchlík a kol., 1997). Ve vodárenské nádrži Souš se vyskytovaly druhy *Cryptomonas ovata*, *Cryptomonas marssonii*, *Rhodomonas pusilla*. Tyto kryptomonády se v období 1993 – 1997 vyskytovaly pouze ve vzorku ze srpna 1996, kdy se druh *Cryptomonas ovata* podílel na celkové biomase ze 49 % a druh *Cryptomonas marssonii* z 5 % (Smetanová, 2001). Také v letech 2002 a 2003 byla na Souši zjištěna přítomnost různých druhů tohoto rodu (*Cryptomonas* spp.). Během následujícího výzkumu P. Loučkové (Loučková, 2004) byly v letech 2002 a 2003 kryptomonády druhou nejpočetnější skupinou fytoplanktonu. Druh *Cryptomonas marssonii* se vyskytoval v nádrži po celou sezónu roku 2002 bez velkých výkyvů v početnosti, maxima dosáhl na jaře v odběru, z 28. 4. 2002, v hloubkách 7 a 10 m. V sezóně 2003 dosáhl tento druh nejvyšší

abundance v letních měsících, zatímco na jaře a na podzim byly jeho abundance minimální. Druh byl velmi rovnoměrně rozložen na vertikálním profilu. Druh *Cryptomonas ovata* neměl v sezóně 2002 vyrovnané zastoupení – maxima biomasy dosáhl na podzim a nejmenší zastoupení měl v letních měsících. V roce 2003 dosáhl svého početního maxima v září a říjnu. Druh *Rhodomonas pusilla* nebyl v nádrži Souš velmi početný. V nejvyšších abundancích se v obou těchto letech vyskytoval v letních měsících s maximy výskytu v metalimniu nebo ve spodní části epilimnia (Loučková, 2004).

Cryptomonas marssonii má buňky kapkovitého tvaru, apikální část je nejširší, široce zaokrouhlená, protilehlá strana je zúžená.

Cryptomonas ovata je typická oválnými buňkami, které jsou laterálně zploštělé s vyklenutou dorzální stranou a rovnou nebo mírně vyklenutou ventrální částí.

2.3 Chrysophyceae – zlativky

Zlativky jsou organismy žijící převážně ve sladkých vodách. Jsou to především bičíkovci. Druhy s améboidní, kapsální či koloniální stélkou se vyskytují spíše ojediněle. Žijí volně nebo přichycené na různých podkladech, nejčastěji na vláknitých řasách. Bičíkovci mají dva nestejně dlouhé bičíky rostoucí z předního konce buňky (Hindák a kol., 1978). Buňky zlativek jsou většinou nahé, některé mají schránku (loriku) tvořenou mikrofibrilami celulózy či chitinu. Významná je také tvorba stomatocyst. Stomatocysty jsou křemičité nepohlavní spóry vznikající endogenně uvnitř vegetativních buněk zlativek (Kalina a Váňa, 2005). Některé druhy zlativek mají loriku tvořenou křemičitými šupinami (např. rod *Synura*) (Kaštovský a Hauer, 2013). Zlativky obývají vnitrozemské i mořské vody. Sladkovodním zlativkám nejvíce vyhovují vody s mírně nižším nebo spíše neutrálním pH mezi 6 – 7 (Nicholls a Wujek, 2003), nižší vodivostí a nižším obsahem živin (Kaštovský a Hauer, 2013). Dále jsou běžné ve vodách s vyšším množstvím huminových kyselin (Nicholls a Wujek, 2003). Tyto druhy žijí ve stojatých i tekoucích vodách. Můžeme je nalézt v rašeliništích, rybnících, jezerech, kalužích či ve vnitrozemských slaných vodách. Velmi často se vyskytují v chladných vodách v zimě, na jaře a na podzim. Při jejich přemnožení v chladném období vzniká charakteristické zlatavé zbarvení vodní plochy (Hindák a kol., 1978). Zlativky rodů *Synura*, *Dinobryon*, *Mallomonas* a *Uroglena* vypouštějí do vody látky,

které negativně ovlivňují organoleptické (senzorické) vlastnosti vody. Tento problém může způsobit velké potíže při úpravě surové vody z vodárenských nádrží.

V roce 1992 zlativky tvořily 2 - 16 % z celkové biomasy fytoplanktonu jizerskohorských nádrží. Nejvýznamnější zastoupení měly rody *Chrysococcus* a *Ochromonas* (Stuchlík a kol., 1997). Ve vzorcích z let 1993 – 1997 se zástupci této třídy v hladinových vzorcích vodárenské nádrže Souš pravidelně objevovali. Oproti roku 1992 nebyl za toto období ani jednou nalezen rod *Chrysococcus*. Do roku 1996 tvořily zlativky 10 % celkové biomasy fytoplanktonu. Nejčastěji byl zastoupen rod *Mallomonas*, který dokonce v odběru z 25. 7. 1997 dominoval u hladiny. V některých měsících roku 1997 se stal dominantním druhem nádrží Josefův Důl a Souš druh *Synura sphagnicola*. Na Souši byl pozorován v červenci 1997 vodní květ této zlativky (Procházková, nepublikovaná data). Dále se zde nepravidelně vyskytovaly zlativky *Ochromonas* sp., *Chromulina* sp., *Dinobryon bavaricum* a *Dinobryon sertularia*. Rod *Ochromonas* se pravidelně vyskytoval v nádrži Souš vždy na jaře a na podzim. Tento rod je velmi odolný vůči nízkému pH. Na základě výzkumů silně kyselých jezer v Itálii byla zjištěna jeho tolerance vůči sníženému pH, a to až k hodnotám okolo 1,8. Tomuto druhu nejvíce vyhovuje pH mezi 2,0 až 6,0 (Albetrano a kol., 1994).

V letech 2002 a 2003 bylo množství zástupců této třídy z hlediska celkové biomasy fytoplanktonu velmi malé, a to především kvůli jejich malým rozměrům. Pravidelně se vyskytujícím rodem ve vzorcích byla zlativka *Chromulina*. Ta dosáhla svého maxima na jaře 2002 a 2003, a to vždy v hloubce 1 m pod hladinou. V průběhu sezóny 2002 se vyskytovala pravidelně skoro ve všech vzorcích, na rozdíl od roku 2003, kdy kromě května byla její přítomnost ve vzorcích zanedbatelná. V nižších abundancích se zde v této době dále nacházely rody *Chrysococcus*, *Mallomonas* a *Ochromonas*. Zástupci rodů *Mallomonopsis* a *Dinobryon* dosáhli během sezóny vyšších abundancí, a to v letních měsících. Zlativky rodu *Mallomonopsis* dosáhly svého maxima v červenci v oblasti metalimnia (5 m pod hladinou) a u rodu *Dinobryon* v červnu v 1 m pod hladinou. Během jarního a podzimního odběru v roce 2003 byla zjištěna přítomnost cyst zlatých řas. Od začátku nového tisíciletí se v nádržích taktéž začaly objevovat druhy *Dinobryon bavaricum*, *Dinobryon cylindricum*, *Dinobryon divergens* a *Synura petersenii* (Procházková a kol., 2013).

2.4 Chlorophyceae – zelenivky

Pravé zelené řasy jsou volně žijící bičíkovci, kapsální a kokální řasy. Bičíkovci mají téměř souměrnou buňku, na jejímž konci vyrůstají dva, čtyři i více stejně dlouhých bičíků bez mastigonem. Sladkovodní bičíkovci mají pulzující vakuoly a většinou i stigma. Značnou část jejich buňky zaujímá chloroplast s jedním či více pyrenoidů. U zástupců této skupiny můžeme nalézt více druhů buněčných stěn. Například druhy rodů *Scenedesmus*, *Desmodesmus* a *Tetraedron* mají polysacharidovou buněčnou stěnu se sporopoleninem, který patří k chemicky nejodolnějším látkám v rostlinné říši. Druhy z řádů *Chlamydomonadales* a *Volvocales* mají glykoproteinovou buněčnou stěnu s vysokým obsahem hydroxyprolinu (Kalina a Váňa, 2005). Zástupci této třídy se vyskytují na mnoha místech. Můžeme je pozorovat v planktonu a litorálu stojatých i tekoucích vod. Lze je nalézt v kalužích, na vlhkých místech, močálech, jarním tajícím sněhu a dokonce i v půdě (Hindák a kol., 1978).

V jizerskohorských nádržích se tyto řasy vyskytovaly nepravidelně v malých abundancích. V roce 1992 se tato skupina v nádržích nacházela, oproti druhům tříd *Chrysophyceae*, *Cryptophyceae* a *Dinophyceae*, v zanedbatelném množství (Stuchlík a kol., 1992). Ze zelených řas se ve vodě pravidelně nacházel pouze rod *Chlamydomonas*, jež svou přítomností tvořil 9 % z celkové biomasy fytoplanktonu v roce 1994 (Smetanová, 2001). V roce 1997 se spolu s rodem *Chloromonas* objevili také zástupci rodu *Chlamydomonas* a na jaře 1997 dosáhli 13 % celkové biomasy v hloubce 5 m. Ostatní zástupci třídy *Chlorophyceae*, *Scenedesmus* sp., *Tetraedron minimum*, *Arthrodesmus triangularis* a *Cosmarium obliquum*, se vyskytovali v nádrži pouze ojediněle (Smetanová, 2001). Stejně tomu bylo i v letech 2002 a 2003, kdy se z této skupiny v nádrži vyskytovaly převážně rody *Chloromonas* a *Chlamydomonas* a řasy z řádu *Chlorococcales*. Nejvyšší početnosti dosáhly v jarním odběru. V roce 2003 se v nádrži ve vyšší početnosti objevil také rod *Desmodesmus*. Podle výzkumu prováděného L. Procházkovou (nepublikovaná data) se po roce 2000 začaly v nádržích vyskytovat nové druhy sinic a řas. Z třídy *Chlorophyceae* se zde objevily druhy *Crucigenia tetrapedia* a *Sphaerocystis planctonica*.

2.5 Cyanobacteria – sinice

Sinice jsou autotrofní organismy žijící jednotlivě, v koloniích nebo tvoří vlákna. Na rozdíl od řas se jedná prokaryontní organismy z říše Bacteria. Nápadné jsou především planktonní druhy sinic, které v letním období při přemnožení tvoří tzv. vodní květ. Sinice produkují toxiny jedovaté především pro obratlovce, nikoliv pro jejich predátory a konkurenty (Kaštovský a Hauer, 2013). Sinice se vyskytují téměř ve všech typech biotopů. V oblasti mírného pásu dominují především v letních měsících při dostatku slunečního záření a přísunu živin. Buňky sinic jsou schopné vázat vzdušný dusík (*Anabaena*, *Nostoc*).

Sinice druhu *Merismopedia tenuissima* byla pozorována poprvé v roce 1993 na Souši a Josefově Dole a následně i v roce 2007 pouze na josefodolské přehradě.

3 Úprava vody

Surová voda z nádrže Josefův Důl je odváděna štolou do nedaleké úpravně vody v Bedřichově. Voda z vodárenské nádrže Souš je upravována v úpravně, situované přímo u nádrže, pod hrází. Obě nádrže jsou významnými zdroji pitné vody pro města Jablonec nad Nisou, Tanvald a Liberec. Kvalita vody (základní fyzikální a chemické parametry, bilance základních živin, koncentrace organických látek, kovů a hydrobiologické a mikrobiologické parametry) v těchto nádržích je soustavně monitorována pracovníky hydrobiologického oddělení vodohospodářských laboratoří Povodí Labe v Hradci Králové již od roku 1986, což je velmi významné, protože reálnou kvalitu pitné vody, která je odváděna do úpravně, je možné hodnotit pouze na základě odběrů ze samotné nádrže, nikoliv přítoků (Koza a Rederer, 2012).

3.1 Úpravna vody Souš

Přehradní nádrž Souš byla v 70. letech minulého století přebudována na vodárenskou nádrž. V roce 1974 byla dokončena výstavba její úpravně. Voda jímáná z nádrže Souš je typická vyšším obsahem huminových látek, nižším pH, nízkou mineralizací a vysokým obsahem hliníku a železa (SVS a.s., online). Voda z nádrže je upravována jednostupňově (Bálek, 1992). Během úpravárenského procesu je z vody odstraňován hliník, organické látky a je upravováno pH na vhodnou hodnotu. Během úpravárenského procesu je upravovaná voda stabilizována přidávkem vápenné vody a oxidu uhličitého. Projektovaný výkon úpravně je 300 l s⁻¹.

V současné době je provozní výkon úpravny 200 - 250 l s⁻¹ (SVS a.s., online). Jakost vody z nádrže Souš byla podle informační zprávy o jakosti vody Povodí Labe v roce 2012 bezproblémová. Jako opatření proti zhoršení kvality vody je nádrž od roku 1996 v jarním období vápněna (Přehrada Souš, online).



Obr. 1. Úpravna vody Souš (převzato z SMP CZ, online).

3.2 Úpravna vody Bedřichov

Úpravna vody Bedřichov se nachází v obci Bedřichov, pod vodárenskou nádrží Josefův Důl, odkud přichází voda potrubím na úpravnu. Přirozený gravitační spád vody je zde využíván ve vodní elektrárně umístěné mezi vodárenskou nádrží a úpravnou. Vodárna Bedřichov má kapacitu pro zásobování až 310 000 obyvatel. Momentálně zásobuje pitnou vodou 100 000 lidí (SČVK, a.s., ústní sdělení). V roce 2012 představoval problém významný rozvoj sinice *Merismopedia tenuissima*, proto byly v úpravně prováděny poloprovozní zkoušky technologií pro odstraňování mikroorganismů ze surové vody. Pro odstraňování tohoto problematického mikroorganismu byl na základě rozvahy investičních a provozních nákladů doporučen proces flotace společně s dvouvrstvou filtrací „filtralite“ (SČVK, a.s., ústní sdělení).



Obr. 2. Úpravna vody Bedřichov (převzato z SVS a.s., online)

3.3 Mechanické předčištění

Prvním krokem při jímání vody dobré kvality je zvolení vhodného odběrového objektu. Jímadlo by mělo zaručovat odběr nejkvalitnější vody v rámci aktuální situace v přehradní nádrži. Pro splnění tohoto požadavku je nejlepší takové odběrové zařízení, které má možnost měnit odběrové hloubky vodního sloupce. Počet odběrů a jejich umístění by mělo být navrhováno pro každou nádrž zvlášť (Strnadová a Janda, 1995).

Vtoková místa by měla být chráněna před vstupem tuhých látek. Každý otvor musí být vybaven stavidly či hradidly pro možnost uzavření odtoku. Voda z nádrže je jímána z tzv. funkčního prostoru nádrže, který je ohraničen spodní výpustí a hranou přelivného zařízení. Funkční prostor slouží také jako ochrana před povodněmi, k nadlepšení průtoku toku pod hrází a také pro vodárenské účely (Strnadová a Janda, 1995).

Při odběru vody z povrchových zdrojů je nutné použít postupy pro odstranění zákalu, organických látek, suspenzí a v některých případech je nutné zlepšovat i organoleptické vlastnosti vod (Tuhovčák a kol., 2006).

Josefův Důl a Souš jsou dimiktické nádrže. Vzhledem k letní a zimní stratifikaci, kdy se kvalita vody v různých hloubkách liší, jsou přehradní nádrže vybaveny odběrovými zařízeními, která jsou schopna jímat vždy nejkvalitnější vodu z různých hloubek nádrží (Tuhovčák a kol., 2006).

Předúprava pitné vody je prováděna před samotným čištěním v úpravnách. Může k ní docházet ve zdroji, při odběru nebo při přívodu do vodárny (Tuhovčák a kol., 2006). V případě vodárenské nádrže Souš se používá vápnění (Přehrada Souš, online).

K předčišťování se mohou využívat česle, mikrosíta či lapáky písku. Na česlích jsou odstraňovány plovoucí a unášené částice větších rozměrů, například listí, větve a další organický i anorganický materiál (Tuhovčák a kol., 2006). Na česlích hrozí nárůst vláknitých řas, na nichž se mohou pomnožovat bakterie, plísně a mikromycety, které mohou dále způsobovat problémy v úpravnách. Tento problém je řešen pravidelnou údržbou či mechanickým odstraňování nárostů (Ambrožová, 2001). Dalším typem předúpravy jsou bubnová mikrosíta, která jsou využívána především u eutrofizovaných vod. Zde se zachycují suspendované částice i fytoplankton. Výhodou mikrosít je, že se zde řasy a sinice zachycují v neporušeném stavu. Při porušení buněk by se do upravované vody mohla vylít jejich toxická protoplazma, která může zapáchat (Ambrožová, 2001). Další možností úpravy vody jsou lapáky písku, kde se odstraňují nežádoucí složky vody procesem sedimentace. Sedimentace částic je zajištěna velkým snížením rychlosti proudění (Tuhovčák a kol., 2006).

Další součástí úpravy vody po lapácích písku je aerace, odkyselování vody a oxidace. Kyselý charakter vody a obsah některých plynů, které jsou v surové pitné vodě rozpuštěné, způsobuje mnoho technických a organoleptických problémů. Pro dobrou kvalitu vody je nutné vodu odkyselit a odpachovat (odstranit sirovodík a jiné rozpuštěné plyny). Zároveň je dobré vodu obohatit o rozpuštěný kyslík (Tuhovčák a kol., 2006).

3.4 Koagulace

Koagulace je fyzikálně-chemický proces, kterým se z vody odstraňují koloidní látky organického původu (huminové látky, bílkoviny, mýdla apod.). Jedná se o shlukování koloidních částic do větších agregátů. Následným procesem je **separace** vytvořených agregátů (pomocí usazování, filtrace nebo flotace), při které se uplatňuje i sorpce vysokomolekulárních látek na vytvořených agregátech (Žáček, 2000, Zainal-Abideen, 2012).

Koagulace koloidně dispergovaných částic se dosahuje odstraněním příčiny jejich stálosti, tj. snížením elektrokinetického potenciálu pod kritickou hodnotu 30 mV úpravou pH do

izoelektrického bodu. V technologii úpravy vody se uplatňuje pouze koagulace vyvolaná koagulačními činidly (čiřidla, srážedla).

Rozlišují se dvě stádia koagulace:

- **Perikinetická** koagulace – proces je v počátečním stádiu a proto není vidět (tvoří se mikrovločky). Probíhá krátce (několik vteřin) za rychlého míchání v rychlomísíči – buď hydraulicky za využití dutých clony s otvory pro výtok koagulantu, klapek, vodních skoků, náraz vytékající vody na pevnou stěnu, hydraulických mísičů s výtoky dvou paprsků vody proti sobě, nebo mechanicky s použitím vrtulových míchadel v nádobách se zarážkami proti vzniku víru).
- **Ortokinetická** koagulace – intenzita shlukování částic se projevuje pozorovatelnými změnami (změnou zákalu, barvy, viditelnými vločkami, sedimentací vloček). Probíhá po dobu desítek minut za pozvolného míchání hydraulického ve vločkovacím žlabu se svislými a vodorovnými přepážkami pro vytvoření meandrovitého proudění nebo v kónické nádrži s rozšiřováním průtočné plochy a excentrickým napouštěním nebo mechanického, což umožňují pádlová míchadla ve vločkovacím žlabu, či v patrové vločkovací nádrži.

V praxi jsou do vody dávkovány železité nebo hlinité soli, které hydrolyzují, reagují s upravovanou vodou za vzniku meziproductů – tzv. polyhydroxikomplexů, které zde plní funkci koloidů. Tyto látky nábojově neutralizují nečistoty, které voda obsahuje (Janda, 1999).

Tvorba vloček a účinnost koagulace závisí na pH prostředí: pro tvorbu $\text{Al}(\text{OH})_3$ se pH pohybuje mezi 4,5 - 7,0, pro tvorbu $\text{Fe}(\text{OH})_3$ mezi 4,6 - 6,0 – hovoříme o kyselém čiření (aplikuje se zejména při úpravě povrchových vod). Provozní dávka koagulantu se po teoretickém výpočtu upřesňuje vždy na základě výsledků koagulačního (sklenicového) pokusu. Proces koagulace je možno intenzifikovat přidáním flokulantů (pomocných flokulantů, zatěžkávad). Tyto látky zvyšují rychlost tvorby vloček a zlepšují jejich separační schopnost. Lze je rozdělit podle původu na anorganické (kyselina křemičitá, bentinit, montmorillonit, kaolín a další) a organické (škrob a deriváty celulózy), podle způsobu přípravy na přirozené a syntetické (polymerní flokulanty, jejichž makromolekuly jsou lineární nebo existují jako rozvětvené polymery), podle elektrického náboje na anionické, kationické a neiontové. Pomocné koagulanty pomáhají tvořit větší nebo kompaktnější vločky.

3.4.1 Usazovací nádrže

Usazovací nádrže se využívají pro usazování suspenzí vzniklých během procesu koagulace, dále také při odželezňování a odmanganování a při zahušťování vodárenských kalů v čiřičích (Strnadová a Janda, 1995). Při sedimentaci dělají řasy velký problém. Nejen že se obtížně zachytávají ve vločkách, ale zároveň zhoršují sedimentaci. Řasy mají tendenci se ve vodě vznášet a zároveň v důsledku fotosyntetických pochodů zvyšují během dne přítomnost kyslíku, což způsobuje jejich samovolné vyplouvání k hladině. Sinice a řasy jsou navíc přirozeně vzplývavé a jejich bičíkaté formy se z vloček velmi snadno uvolňují (Ambrožová, 2001).

3.4.2 Flotační nádrže

Při procesu flotace dochází k vynášení pevných částic k hladině prostřednictvím mikrobublinek plynu. Tento způsob separace pevných částic suspendovaných ve vodě je nejvhodnější metodou pro odstraňování sinic a řas z upravované vody (Ambrožová, 2001).

Jedním z možných způsobů je tzv. flotace rozpuštěným vzduchem (DAF – Dissolved Air Flotation), bez předchozího vyvločkování suspenze, by mohl být předřazený před pískovou filtrací. Tento způsob flotace by výrazně přispěl ke snížení množství organismů přítékajících s vodou (Ambrožová, 2001) a mohl by představovat řešení problému s přemnoženými bičíkatými řasami.

3.5 Filtrace

K filtraci zředěných suspenzí se u pitných vod používá především objemová filtrace, která odstraňuje jemnou suspenzi v celém objemu filtračního lože (Strnadová a Janda, 1995). Filtračním materiálem může být křemičitý písek, křemelina, antracit, plast atd. Nejvyužívanější jsou křemičitý písek a antracit. Tento materiál musí být chemicky stálý a dostatečně odolný vůči otěru (Tuhovčák a kol., 2006). Objemová filtrace je cyklický proces, při kterém se střídají dvě fáze (filtrační a prací). Filtry je nutno pravidelně regenerovat. O procesu praní se rozhoduje na základě nárůstu tlakových ztrát, které jsou způsobovány zachycenou suspenzí ve filtru, proto se v této části procesu úpravy sleduje koncentrace Al a Fe. Druhým významným faktorem je průnik suspenzí do filtrátu. Tento faktor se hodnotí na základě požadavků na kvalitu pitné vody (Strnadová a kol., 1995). Praní, při kterém dochází k regeneraci filtru, je prováděno proháněním

hnacího média filtrem, přičemž hnacím médiem může být vzduch či voda (Ambrožová, 2001). Doba provozu rychlofiltru je ovlivňována také velikostí zrn a množstvím a druhem suspendovaných částic (Tuhovčák a kol., 2006).

Filtrace je vhodný a účinný proces pro odstraňování buněk řas. Nejvhodnější metodou pro odstraňování vodního květu sinic je kombinace aktivního uhlí během filtrace a následné ozonizace. V pískových filtrech se zachycují zelené řasy, sinice a mnoho dalších organismů. V závislosti na světelných podmínkách v prostoru filtru se zde mohou rozmnožovat rozsivky, které tvoří hnědé povlaky (Ambrožová, 2001). Rozsivky mají velmi odolné schránky z oxidu křemičitého, které ucpávají pískové filtry i po odumření buněk. Zároveň se po popraskání buněk do vody uvolňuje volutin, který velmi nevhodně ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody (Ambrožová, 2001).

3.6 Doúprava a desinfekce

Při doúpravě může být pitná voda v závislosti na svém charakteru následně upravována zvyšováním tvrdosti vody a odstraňováním nežádoucích organoleptických vlastností.

Voda může mít z mnoha příčin nevhodnou příchuť či pach. Její kvalita může být ovlivněna například vegetativní činností fytoplanktonu (např. rozsivek mikroorganismů) či jiných mikroorganismů. Pro odstranění těchto závad se ve vodárnách využívají fyzikální a chemické metody. Fyzikální metody jsou založené na principu adsorpce na aktivním uhlí a na provzdušňování vody. V případě chemických metod je využívána oxidace chlórem, chlornany, oxidem chloričitým, manganistanem draselným nebo ozonem (Tuhovčák a kol., 2006).

4 Souhrn:

V rámci bakalářské práce jsem se snažila postihnout problematiku fytoplanktonu vodárenských nádrží Jizerských hor (Souše a Josefova Dolu), které jsou specifické svým přirozeně kyselým charakterem a silnou antropogenní acidifikací ve druhé polovině minulého století, a vliv těchto aspektů na úpravu surové vody.

Acidifikace oblasti tzv. Černého trojúhelníku měla významný vliv na chemismus a oživení půd a povrchových vod. Důsledkem snížení pH vody a zvýšení koncentrace hliníku a jiných kovů z nádrží vymizely rybí populace, snížila se druhová rozmanitost a početnost zooplanktonu a ve fytoplanktonu převládly druhy typické pro vody horských jezer a nádrží.

Acidifikace vrcholila v 80. letech, od konce 80. let se oblast Jizerských hor začala zotavovat z acidifikace po stránce chemického složení a posléze i biologie.

Fytoplankton nádrží byl svým druhovým složením charakteristický pro acidifikovaná horská jezera a nádrže i v 90. letech minulého století, ačkoliv již míra acidifikace v té době výrazně ustupovala. Dominantními řasami nádrží Souš a Josefův Důl byly převážně druhy ze třídy Dinophyceae (obrněnky) a spolu s nimi, již v menším zastoupení, druhy tříd Cryptophyceae (skrytěnky) a Chrysophyceae (zlativky). Nejméně a nepravidelně se objevovali zástupci třídy Chlorophyceae (zelenivky). V průběhu 90. let se druhové složení fytoplanktonu výrazně nezměnilo, pouze v některých měsících převládaly druhy jiných tříd řas. Mezi nimi byly například *Synura sphagnicola* (Synurophyceae) či skrytěnka *Cryptomonas ovata*. K významnějším změnám začalo docházet teprve na přelomu tisíciletí, kdy se v nádržích začaly objevovat nové druhy řas a také sinic. Novými druhy byly zelené řasy *Crucigenia tetrapedia*, *Sphaerocystis planctonica*, a jiní zástupci zlatých řas (*Dinobryon bavaricum*, *Dinobryon cylindricum*, *Dinobryon divergens*) a druh *Synura sphagnicola*. Na nádrži Josefův Důl byl od roku 2007 pozorován hojný výskyt sinice *Merismopedia tenuissima*.

Objemová biomasa fytoplanktonu se v nádržích v dlouhodobém měřítku výrazně nemění, významně se však zvýšil počet druhů.

Problém mohou představovat výrazné krátkodobé změny druhového složení a početnosti fytoplanktonu, ke kterým dochází v důsledku přívalových dešťů či naopak nepravidelného vápnění, jaké bylo aplikováno v 80. letech minulého století.

Nepředvídatelný rozvoj obrněnek na Souši v 90. letech či hojný výskyt rozsivek, řas rodu *Synura* nebo sinice *Merismopedia tenuissima* v současné době může velmi znesnadňovat úpravu vody v úpravárnách a negativně ovlivňovat kvalitu upravené vody. Nádrže Souš i Josefův Důl jsou významnou zásobárnou pitné vody pro oblasti Jablonecka, Tanvaldska a Liberecka. Úprava vody z těchto nádrží je komplikována kyselostí vody, vysokým obsahem organických kyselin, v případě Souše také obsahem hliníku ve vodách a celkovou abundancí a druhovým složením sinic a řas. V rámci úpravy mohou velmi nepříznivě ovlivňovat sedimentaci, ucpávat pískové filtry a způsobovat nevhodné organoleptické vlastnosti upravené vody. Velkým potenciálním problémem může být významné přemnožení rozsivek, obrněnek, řas rodu *Synura* a sinic v nádržích. Především obrněnky mohou proces úpravy vody komplikovat z důvodu své velikosti a odolnosti buněk. Příkladem je situace z 80. let, kdy došlo k výraznému přemnožení obrněnek, které se následně objevily i v upravené vodě. Pro eliminaci vlivu sinic a řas na úpravu vody je důležité poznat podrobně charakter fytoplanktonu v nádrži a jeho vývoj v čase a prostoru a na základě těchto poznatků navrhnout vhodná opatření pro proces úpravy vody. Této problematice bych se ráda věnovala v rámci své diplomové práce.

Zdroje:

Albertano, P., Pinto, G., Pollio, A. (1994): Ecophysiology and ultrastructure of an acidophilic species of *Ochromonas* (Chrysophyceae, Ochromonadales). Arch. Protistenkd. 144: 75-82.

Almer, B., Dickson, W., Ekstrom, C. Hornstrom, E., Miller, U. (1974): Effects of Acidification on Swedish Lakes. Ambio, **3(1)**, 30–36 s.

Ambrožová, J. (2001): Aplikovaná a technická hydrobiologie, VŠCHT, Praha, 226 s. ISBN 80-7080-463-7 .

AOPK ČR, (2010): Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Jizerské hory pro období 2011-2020., Správa CHKO Jizerské hory: 105 s.

Bálek, M. (1992): Úpravna Souš – strašák vodárenských technologů. In: Dolejš, P., Kalousková, N. (eds), Sborník 2. celostátní konference Pitná voda z údolních nádrží 1992 (optimalizace kvality surové pitné vody a úpravy pitné vody), Tábor, Česká republika, 25.-28.5.1992. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Federální výbor pro životní prostředí, nakladatelství W&ET Team: 9-16 s.

Bednářová, M. (1988): Sledování kvalitativních ukazatelů povrchových vodv pramenných oblastech Jizerských hor. VÚV Praha. 7 s.

Broža, V., Bláha, J., Vinklát, P.D. (2005): Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Povodí Labe. Knihy 555, Liberec: 17-71s. ISBN 80-86660-11-7.

Březina, P., Burda, J. Dolak, J., Farský, K., Hušek, J., Mejzrová, J., Pavlů, L., Pelc, F., Švejdová, K., Vetešník, P., Vlk, Z., Vonička, P., Vršovský V. (1997): Plán péče CHKO Jizerské hory. CHKO Jizerské hory, Liberec: 131 s.

Cook, R.B., Kelly, C.A., Schindler D.W, Turner, M.A.(1986): Mechanisms of hydrogen ion neutralization in an experimental acidifies lake. Limnology and Oceanography, 31(1): 134-148 s.

Červenková, L. (2010): Fytoplankton tatranských ples:faktory ovlivňující druhové složení a biomasu. Diplomová práce, PŘF UK: 171 s.

Doka, S.E., McNikol, D.K., Mallory, M.L., Wong, I., Minns, C.K., Yan, N.D. (2003): Assessing potential for recovery of biotic richness and indicator species due to changes in acidic deposition and lake pH in five areas of southeastern Canada. Environ Monit Assess 88 (1-3): 53-101 s.

Driscoll, CH.T., Driscoll, K.M., Mitchell, M.J., Raynal, D.J. (2003): Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State. Environmental Pollution 123 (3): 327-336 s.

Findlay, D.L., Kasian, S.E.M (1986): Phytoplankton community response to acidification of Lake 223, Experimental lakes area, northwestern Ontario. *Water Air Soil Pollution* 30(3-4):719–726 s.

Findlay, D.L., Kasian, S.E.M., Turner M.T., Stainton, M.P. (1999): Response of fytoplankton and epilithon during acidification and early recovery of a lake. *Freshwater Biology* 42 (1): 159-175 s.

Hindák, F., Cyrus, Z., Marvan, P., Javornický, P., Komárek, J., Ettl, H., Rosa, K., Sládečková, A., Popovský, J., Punčochářová, M., Lhotský, O. (1978): Sladkovodné riasy. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava, 724 s.

Hörnström, E. (1999): Long-term phytoplankton changes in acid and limed lakes in SW Sweden. *Hydrobiologia* 394(0): 93-102 s.

Hruška, J., Kopáček J. (2005): Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. *Planeta* 13(5): 24 s.

Hruška, J., Fottová, D., Oulehle, F. (2013): Regenerace chemismu vod v povodí Uhlířská a predikce vývoje do roku 2060 – možný návrat acidifikace jako důsledek růstu lesa. Abstrakt. In: Bercha, Š., Kodešová, R. (eds), Sborník příspěvků ze semináře Jizerské hory. Setkání napříč vědeckými disciplínami, Praha, Česká republika, 11.12.2012. ČHMÚ a ČZU v Praze, Nakladatelství Český hydrometeorologický ústav, Praha: 19 s. ISBN 978-80-87577-14-1.

Jirásek, J., Hochman, L. & Losos, B. (1959): Výzkum dystrofních vod na Liberecku v roce 1959. [Závěrečná zpráva.] Brno. 19 s.

Johnson R.K., Angeler, D.G. (2010): Tracing recovery under changing climate: response of phytoplankton and invertebrate assemblages to decreasing acidification. *Journal of the North America Benthological Society* 29(4): 1472-1490.

Kalff, J. (2002): Limnology: inland Water Ecosystems. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 592 s. ISBN 0-13-033775-7.

Rous, I., Hudousková, I., Karpaš, R., Němec, L. 2009):Rybníky, přehrady a další vodní díla In: Karpaš, R. (ed.), Jizerské hory 1 – o mapách, kamení a vodě. Vydavatelství Roman Karpaš, Liberec: 496-547 s.

Kulasová, A., Bubeníčková, L. (2009): Podnebí a počasí Jizerských hor. In: Karpaš, R. (ed.), Jizerské hory 1 – o mapách, kamení a vodě. Vydavatelství Roman Karpaš, Liberec: 342-383 s.

Knotek, Z. (2009): Geologie Jizerských hor In: Karpaš, R. (ed.), Jizerské hory 1 – o mapách, kamení a vodě. Vydavatelství Roman Karpaš, Liberec: 104-141 s.

Koza, V., Rederer, L. (2013): Monitoring v povodí vodárenských nádrží Souš a Josefův Důl. Abstrakt. In: Bercha, Š., Kodešová, R. (eds), Sborník příspěvků ze semináře Jizerské hory. Setkání

napříč vědeckými disciplínami, Praha, Česká republika, 11.12.2012. ČHMÚ a ČZU v Praze, Nakladatelství Český hydrometeorologický ústav, Praha: 20 s. ISBN 978-80-87577-14-1.

Křeček, J., Hořická, Z. (2001): Degradation and recovery of mountain watersheds: the Jizera Mountains, Czech Republic. *Unasyuva* 207 (52): 43-49.

Kugrens, P., Clay, B.L. (2003): Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification, Cryptomonads In: Wehr, J.D., Sheat, R.G. (eds), Elsevier Inc. , (2003) : 715-755 s . ISBN 978-0-12-741550-5.

Lacoul, P., Freedman, B., Clair, T. (2011): Effects of acidification on aquatic biota in Atlantic Canada. *Environ. Rev.* 19: 429-460.

Lhotský, O. (1963): Dystrofní údolní nádrže Jizerských hor. *Vodní hospodářství* 5: 166-168 s.

Lhotský, O. (1986): Vodárenské nádrže a biologická kontrola kvality vody. Sborník

semináře „Aktuální otázky vodárenské biologie“, Praha: 145-148

Loučková, P. (2004): Dynamika fytoplanktonu v údolní nádrži Souš. Diplomová práce, PŘF UK. 109 s. "

Matschullat J., Bozau, E. (1996): Atmospheric element input in the Eastern Ore Mountains. *Applied Geochemistry* 11(1-2): 149-154 s.

Nicholls, K.H., Wujek, D.H. (2003): In: Freshwater algae of North America, Ecology and classification, Chrysophycean algae. In: Wehr, J.D., Sheat, R.G. (eds), Elsevier Inc. , Chrysophycean algae(2003) : 471-509s. ISBN 978-0-12-741550-5.

Nedbalová, L., Skácelová, O., Šťastný, J. (in press): Sinice a řasy Jizerských hor. In: Karpaš, R. (ed.), *Jizerské hory 2 – o lesích, květeně a zvířeně*. Vydavatelství Roman Karpaš, Liberec.

Nedbalová, L., Vrba, J., Fott, J., Kohout, L., Kopáček, J., Macek, M., Soldán, T. (2006): Biological recovery of the Bohemian Forest lakes from acidification. *Biologia*, Bratislava 61(20): 453-465 s.

Økland, J., Økland, K.A. (1986): The effects of acid deposition on benthic animals in lakes and streams. *Experimentia* 42(5): 471-486 s.

Pitter, P. (1981): Hydrochemie. Nakladatelství technické literatury, Praha: 376 s.

Pouličková, A., Jurčák, J. (2001): Malý obrazový atlas našich sinic a řas. Univerzita Palackého, Olomouc: 91 s.

Procházková, L., Hořická, Z., (2012): Fytoplankton přehradních nádrží Jizerských hor v období acidifikace a zotavování z acidifikace. Abstrakt. In: Čiamporová-Zaťovičová, Z. (ed.), *Zborník*

príspevkov 16. konferencie Slovenskej limnologickej spoločnosti a České limnologickej společnosti, Jasná, Slovensko, 25.-29.6.2012: 208. ISBN 978-80-971056-0-0.

Procházková, L., Loučková, P., Smetanová, K., Hořická Z. (2013): Dlouhodobé změny ve složení fytoplanktonu vodárenských nádrží Jizerských hor (Souš, Josefův Důl) v souvislosti s jejich zotavením z acidifikace. In: Říhová Ambrožová, J. (ed.), Vodárenská biologie 2013, Praha, Česká republika, 6.-7.2.2013: 91-95. ISBN 978-80-86832-70-8.

Schindler, D.W., Mills, K. H., Malley, D. F., Findlay, D. L., Shearer, J. A., Davies, I. J., Turnes, M. A., Linsey & G. A., Cuikshank, D. R. (1985): Long-Term Ecosystem Stress: The Effects of Years of Experimental Acidification on a Small Lake. *Science*, **228**:1395–1401 s.

Skjelvåle, B. L., Evand, CH., Larssen, T., Hindar, A. & Raddum, G. G. (2003): Recovery from Acidification in European Surface Waters: A View to the Future. *Ambio*, **32(3)**, 170–175 s.

Smetanová, K. (2001): Fytoplankton acidifikovaných přehrad Jizerských hor v letech 1993 – 1997. Diplomová práce, PŘF UK. 116 s.

Strnadová, N., Janda, V. (1996): Technologie vody I. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 226 s. ISBN 80-7080-348-7 .

Stuchlík E., Hořická, Z., Prchalová, M., Křeček, J., Barica, J.(1997): Hydrobiological investigation of three acidified reservoirs in the Jizera Mountains, the Czech Republic, during the summer stratification. In: Smith, D., Davies, I. (eds), International co-operative programme on assessment and monitoring of acidification of rivers and lakes: 8th task force meeting, 1992. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2155: 56-64 s.

Švátora M. a kol. (2013): Reintrodukce lososovitých ryb do nádrží Jizerských hor a ichtyofauna Jizerských hor a její výzkum v letech 1995 – 2012. Abstrakt. In: Bercha, Š., Kodešová, R. (eds), Sborník příspěvků ze semináře Jizerské hory. Setkání napříč vědeckými disciplínami, Praha, Česká republika, 11.12.2012. ČHMÚ a ČZU v Praze, Nakladatelství Český hydrometeorologický ústav, Praha: 28 s. ISBN 978-80-87577-14-1.

Tuhovčák, L., Adler, P., Kučera, T., Raclavský, J. (2006): Vodárenství a úprava vody. VUT, Brno, 155 s.

Višňák, R. (2012): Plán péče PR Na Čihadle na období 2010-2021. CHKO Jizerské hory: 59 s.

Vrba, J., Kopáček, J., Bittl, T., Nedoma, J., Štrojsová, A., Nedbalová, L., Kohout, L., Fott, J. (2006): A key role of aluminium in phosphorus availability, food web structure and plankton dynamics in strongly acidified lakes. *Biologia*, Bratislava, 61(20): 441-451 s.

Zainal-Abideen, M., Aris, A., Yusof, Z., Abdul-Majid, Z., Selamat, A., Omar, S. (2012): Optimizing the coagulation process in drinking water treatment plant – comparison between

traditional and statistical experimental design jar test., Water Science and Technology: a journal of the international association on water pollution research 65(3): 496-503 s.

Žáček, L. (2000): Chemické a technologické procesy úpravy vody. Nakladatelství technické literatury, Praha: 37-126 s. ISBN 80-86020-22-2.

Internetové zdroje:

Kaštovský, J., Hauer, T., Skripta pro velkou fykologii, Fykologická laboratoř, katedra botaniky PŘF JU [online]. [cit. 22.5. 2013]. Dostupné :<http://www.sinicearasy.cz/>

Přehrada Souš, Povodí Labe [online]. [cit. 22.5. 2013]. Dostupné :

http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_sous.pdf

Přehrada Josefův Důl, Povodí Labe [online]. [cit. 22.5. 2013]. Dostupné :

http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_josefuvdul.pdf

Úpravna vody Souš, její rekonstrukce v rámci integrovaného projektu "Lužická Nisa" a kvalita dodávané vody. Severočeská vodárenská společnost a.s. [online]. [cit. 23.5. 2013]. Dostupné: http://www.svs.cz/cz/pro_novinare/tiskove_zpravy/upravna-vody-sous-a-jeji-rekonstrukce-v-ramci-integrovaneho-projektu-luzicka-nisa.html

Rederer Luděk, Ing.: Vyhodnocení vývoje jakosti vody v nádržích na území ve správě státního podniku Povodí Labe, 9. duben 2013[online]. [cit. 23.5.2013]. Dostupné: [http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/\(A\(1MJDMvmBywEkAAAAYTc4ZDc2NDUtZGU1Zi00ZDE5LTk4NTUtNGY5NDQyODg5MGY2mtWKO10rZCZN5f44Z7AOTz1mQo1\)\)/cs/obsah/informace-o-jakosti-vody_745.html](http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/(A(1MJDMvmBywEkAAAAYTc4ZDc2NDUtZGU1Zi00ZDE5LTk4NTUtNGY5NDQyODg5MGY2mtWKO10rZCZN5f44Z7AOTz1mQo1))/cs/obsah/informace-o-jakosti-vody_745.html)

Foto ÚV Bedřichov. Severočeská vodárenská společnost a.s. [online]. [cit. 23.5. 2013]. Dostupné: http://www.svs.cz/cz/pro_novinare/fotogalerie/uv-bedrichov.html.

Foto ÚV Souš. SMP CZ [online]. [cit. 23.5. 2013]. Dostupné: <http://www.smp.cz/-rekonstrukce-upravny-vody-sous>