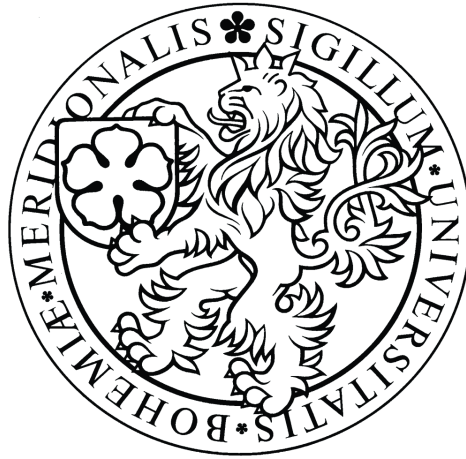


Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



**Cyanobakteriální biofilmy nadeliminátorového prostoru
chladících věží s přirozeným tahem**

Bakalářská práce

Petra Böhmová

Školitel: RNDr. Tomáš Hauer, Ph.D.

České Budějovice 2012

Böhmová, P., 2012: Cyanobakteriální biofilmy nadeliminátorového prostoru chladících věží s přirozeným tahem. [Cyanobacterial biofilms above eliminators in cooling towers. Bc. Thesis, in Czech.] – 24 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace: Cyanobacteria present a dominant compound of biofilms in natural draught cooling towers. The thesis is aimed on detailed study of cyanobacterial diversity in towers of two power plants. The samples for my bachelor thesis were collected in Temelín nuclear power plant and Chvaletice power plant. Substrates for this blue-green algae were concrete treated with a protective painting. the inner part of towers. Cyanobacteria were determined using a light microscope. Altogether 25 taxa have been found. A review on Cyanobacterial biofilms, which colonize towers and buildings has been included in this work.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

České Budějovice, 26. 4. 2012

.....
Petra Böhmová

Poděkování: V první řadě bych chtěla poděkovat Tomášovi Hauerovi za obrovskou trpělivost, cenné rady i dobré biče, dále pak všem kolegům algologům za veselé pracovní prostředí. Též bych chtěla poděkovat Honzovi Kučerovi za určení mechů. Zvláštní dík patří pracovníkům elektráren Temelín a Chvaletice za velkou ochotu, spolupráci během sběru vzorků i po něm i za odborné odpovědi na všechny mé všetečné dotazy. V neposlední řadě děkuji svojí rodině a přátelům za všechno.

Obsah:

1. Úvod.....	1
1. 1. Cíle práce.....	1
1. 2. Charakteristika jednotlivých lokalit.....	1
1. 3. Věže typu Iterson.....	3
2. Sinice ve věžích.....	4
2. 1. Biofilmy a budovy.....	5
3. Metodika.....	6
3. 1. Odběr vzorků.....	6
3. 2. Zpracování vzorků.....	8
4. Výsledky.....	9
4. 1. Nalezené druhy.....	11
5. Diskuze.....	12
6. Závěr.....	15
7. Seznam použité literatury.....	16
8. Přílohy.....	20
Příloha 1: Chvaletice.....	20
Příloha 2: Temelín.....	22
Příloha 3: Mikroskopické snímky.....	24

1. Úvod

Sinice jsou velmi malé a velmi jednoduché prokaryotické organismy, pozorovatelné zejména pod mikroskopem. Jejich specialitou je osídlování extrémních biotopů, jako jsou horké prameny, vnitřky kamenů, fasády budov či smáčené stěny. Existuje velké množství studií na téma sinice - už jen kvůli tomu, že se vyskytují opravdu po celém světě. Nalezneme studie biogeografické, biochemické i klimatické. Já jsem se ve své literární rešerši zaměřila na teplomilnou skupinu organismů. A to na převážně aerofytické sinice, které osidlují horní partie vnitřku chladících věží typu Iterson.

1.1. Cíle práce

- Literární rešerše pramenů, které se zabývají cyanobakteriálními biofilmy chladících věží a jejich vlastnostmi
- Analýza složení sinicových biofilmů z vybraných chladících věží
- Testování vlivu geografické expozice na složení biofilmu

1.2. Charakteristika jednotlivých lokalit

Pro mou bakalářskou práci byly odebírány vzorky ze dvou lokalit v České republice a to z tepelné elektrárny Chvaletice a jaderné elektrárny Temelín.

Tepelná elektrárna Chvaletice leží asi 20 km západně od Pardubic v nadmořské výšce asi 220 m. n. m. a na souřadnicích 50°1'43" s. š., 15°27'10" v. d.

Stavba tepelné elektrárny byla zahájena v roce 1973 a postupně v letech 1977 až 1978 byly spuštěny všechny čtyři bloky, každý o výkonu 200 MW, plného výkonu poté dosáhla v roce 1979 (Štefek, 2000).

Problémem v každé tepelné elektrárně, která spaluje hnědé uhlí, jsou samozřejmě emise oxidu siřičitého, které znečišťují ovzduší. V tepelné elektrárně Chvaletice byl problém vyřešen díky metodě odsíření, která je zde v provozu od roku 1998 a to jako první v České Republice (Teplý, 2004).

V této elektrárně je použito odsířovací zařízení pracující na principu mokré vápencové vypírky. Kouřové plyny z elektrostatických odlučovačů jsou tlačeny kouřovými ventilátory kotlů přes dva kouřovody do dvou absorberů. V absorberu procházejí kouřové plyny

sprchou vodní suspenze jemně mletého vápence, ve které dochází k vymývání oxidů síry z kouřových plynů, a to s účinností převyšující 95%.

Zvláštností této stavby je vyvedení spalin do chladících věží. Chladicí věže jsou zde čtyři, každá o výšce 100 m a průměru 60 m. Maximální průtok vody je 25 000 m³/hod. Věže jsou v krajině viditelné zhruba ze vzdálenosti 25-35 km.

Jedná se o věže typu Iterson, tedy o věže ve tvaru hyperboloidu s přirozeným tahem, které podrobněji popisují v kapitole 1.3.

V nových plánech chce společnost ČEZ postupně ukončit výrobu elektrické energie v této elektrárně. V roce 2013 ukončí provoz první dva bloky a o tři roky později ukončí provoz i zbývající dva bloky. V roce 2016 tak bude výroba elektřiny ve Chvaleticích definitivně ukončena.

V této elektrárně bylo odebráno 35 vzorků pouze z jedné věže.

Věž, ze které byly vzorky odebrány, je málo používaná. Do provozu se zapojuje pouze v případech velmi vysokých venkovních teplot, kdy je potřeba chlazení vyšší. Druhá věž, která měla být odebrána a zpracována, byla kompletně bez osídlení (Obr. 7), což je dáno kyselostí prostředí věže - kyselé prostředí obecně, je pro sinice i jiné organismy velmi nevhodné a těžce obyvatelné. Třetí věž, která zde měla být odebrána, byla zavrhnuta z důvodu nevyhovujícího přístupu.

Jaderná elektrárna Temelín leží v blízkosti stejnojmenné jihočeské obce v okrese České Budějovice na souřadnicích 49°10'48" s. š., 14°22'47" v. d., v nadmořské výšce asi 500 m. n. m. Jedná se o elektrárnu s největším instalovaným výkonem v České Republice. Temelín má v provozu dva bloky, každý s výkonem 1000 MW. Předpokladem je, že třetí blok elektrárny by se mohl zprovoznit v roce 2020 (ČEZ, 2010).

Voda potřebná k chlazení se odebírá z vltavské nádrže Hněvkovice a zpětně se vypouští do Vltavy v prostoru nádrže Kořensko. Elektrárna za plného provozu spotřebovává přibližně 2–3 m³/s vody (Hezoučský, 2004).

Elektrárna má 4 chladicí věže typu Iterson vysoké 154,8 m. Jejich průměr u paty je 130,7 m. Maximální průtok vody je 17,4 m³.s⁻¹. Chladicí věže elektrárny tvoří dominantu

celého okolí a jsou vidět ze vzdálenosti 40 km, pára nad nimi až ze 70 km. Přestože je pára odcházející z chladicích věží zdaleka viditelná, její skutečný vliv na hydrometeorologickou situaci v okolí je nepatrný – průměrná teplota v okruhu 5 km je vyšší jen o 0,02 – 0,06 °C, vlhkost vzduchu je jen o 0,006 g/ m⁻³ vyšší. Předpokládá se mírný nárůst tzv. hydrometeorů (námraza, mlha, jinovatka) v bezprostředním okolí elektrárny, meteorologická měření však zatím neprobíhají dostatečně dlouho na to, aby to mohlo být potvrzeno. Vlivy elektrárny, které byly potvrzené, se týkají podloží stavby. Zde byly pozorovány evidentní změny teplot již v průběhu stavby, kdy teplota vzrostla a vlhkost se snížila. S uvedením elektrárny do provozu však došlo k ještě většímu nárůstu teploty povrchu, ale zároveň i ke zvýšení vlhkosti. Rovněž ostatní (neekonomické) vlivy elektrárny na okolí jsou nepatrné (Hais *et al.*, 2005).

V této elektrárně bylo odebráno 166 vzorků ze všech čtyř věží.

1.3. Věže typu Iterson

Chladicí věž typu Iterson je věž s přirozeným tahem, která využívá pro proudění komínového efektu. Tahový komín je tvořen tenkostěnnou skořepinou proměnlivé tloušťky. Výška takových staveb se může pohybovat od 30 do 200 metrů. Již zmíněná skořepina může být monolitická železobetonová konstrukce, železobetonový skelet či opláštěná ocelová konstrukce. Ve spodní části tahového komína se nachází bazén, který je opatřen odtokovými objekty pro odvod zchlazené vody (Šubert *et al.*, 2008).

Ve spodní čtvrtině věže je voda rozvedena soustavou trubek po celé půdorysné ploše a pomocí trysek je rozstříkována na chladicí výplň. Ta má v procesu chlazení asi největší význam, protože zde dochází k přestupu tepla, na rozhraní voda-vzduch. Vzduch nasycený vodní parou proudí horní částí chladicí věže do atmosféry a ochlazená voda z chladicí výplně naopak padá do sběrného bazénu, který je umístěn pod chladicí věží. Odtud je pak vracena do oběhu chlazení. Aby se při provozu chladicí věže zabránilo vynášení drobných kapek rozstříknuté vody mimo prostor věže, jsou nad rozvodem vody umístěny po celé půdorysné ploše eliminátory, které mají rozhodující vliv na celkové ztráty vody způsobené úletem. Slouží k odloučení drobných kapek vody z proudícího vzduchu, jejich zachycení a odvedení zpět do chladicí soustavy. (Šubert *et al.*, 2008)

Ideální typ eliminátoru je takový, který nevytváří tlakovou ztrátu a zachytí všechny prolétávající kapky. Princip fungování eliminátoru je zhruba následující: proudící vzduch je spolu s unášenou kapalnou fází veden soustavou zakřivených kanálů, ve kterých dochází k výrazným změnám směru a rychlosti. Vzhledem k setrvačným účinkům nedokážou jednotlivé kapičky sledovat směr proudění a jsou odstředovány směrem ke stěnám eliminátoru, na kterých vytváří vodní film, který stéká zpět do prostoru chladicí věže. (Šubert *et al.* 2008)

2. Sinice ve věžích

Sinice, jak je již psáno v úvodu, osidlují mnoho biotopů a výjimkou nejsou ani betonové stavby (Rindi & Guiry, 2004). Osidlují tedy i chladicí věže elektráren kde, zejména uvnitř, mají takřka ideální prostředí pro svůj úspěšný růst.

Tyto chladicí věže jsou zhruba z jedné čtvrtiny vyplněny, ale zbylé tři čtvrtiny jsou v podstatě volné betonové zdi, bez přímého kontaktu s chlazenou vodou. Vládnu tu velmi stálé podmínky, zvláště co se týče vlhkosti, teploty, proudění vzduchu i nabídky živin porovnááme-li vnitřní zdi chladicí věže s přirozenou nabídkou okolního prostředí (Hauer, 2010).

Mnoho studií se zmiňuje o řasách, které se vyskytují ve spodní části věže (Sládečková & Sládeček, 1958), a to hlavně z důvodu hrozby poškození chlazení a následně i chladicího systému nebo ucpání chladicí výplně a snížení účinnosti chlazení (Liou, 2009) a pak také kvůli možné přítomnosti patogenů jako je například bakterie *Legionella* (Gobin, 2009), která může způsobit různé zdravotní komplikace (Heuner & Swanson, 2008). Nicméně o osídlení sinic z horní části věže není téměř nic známo a to i přes to, že i zde mohou způsobit poškození, a to ve formě biofilmu, který postupně narůstá, může se utrhnout a spadnout do chladicí výplně, kterou následně může ucpat a snížit tak účinnost chlazení.

Povrchy chladicích věží jsou zpravidla ošetřeny speciální barvou, která slouží jako ochrana proti korozi betonu i ocelové výztuže (Hauer, 2010), nárosty sinic mohou významnou měrou přispívat k degradaci ochranného nátěru, dosud však nebyly studovány mechanismy této degradace. První možností je cesta chemická, pomocí jejich vlastní metabolické aktivity (Brehm *et al.*, 2005) vedoucí k postupnému narušování nátěru nebo cesta

mechanická pomocí změn objemu jejich slizových pochev z důvodu jejich vysychání a opětovné rehydratace (Gorbushina, 2007).

2.1. Biofilmy a budovy

Pro sinice, které ke svému životu potřebují pouze světlo, vodu a oxid uhličitý, není problémem kolonizace nových povrchů, jako jsou například fasády budov. Sinicové biofilmy se postupně vytvářejí jak na moderních budovách, tak i na starých památkách (Gaylarde *et al.*, 2012) a jejich složení je ovlivněno zejména chemickým složením materiálu, na kterém se biofilm vytváří a samozřejmě i podmínkami okolního prostředí.

Tyto biofilmy způsobují estetické problémy, stejně jako chemické a fyzikální narušení povrchu, které je velmi nežádoucí z hlediska možné kolonizace povrchů dalšími organismy jako jsou houby, následně mechy a dokonce i vyšší rostliny. Tento problém je patrný hlavně u velmi starých památek (Ramirez *et al.*, 2010), pro které tento proces kolonizace může být přímo zničující. (Shirakawa & Gaylarde, 2011).

Podrobné zkoumání složení společenstva v takových biofilmech je dáno zejména potřebou se alespoň pokusit o odstranění biofilmu, například pomocí vysokotlakého čištění vodním proudem (Shirakawa & Gaylarde, 2011) a také snahou fasády budov chránit například různými nátěry.

Nátěry bohužel nejsou úplně vhodnou metodou - jak dokázaly různé pokusy, kolonizaci sice zpomalí, ale nezabrání jí. Pokud by měly být účinné, musely by být velmi často opakovány (Gaylarde & Gaylarde, 2000). Tyto pokusy byly prováděny zejména na materiálech, jejichž hlavní složkou byl přírodní vápenec nebo na umělých materiálech typu cement. Zde se ukázalo, že cement, je na rozdíl od přírodního vápence kolonizován mnohem rychleji, což je dáno jeho vyšší porositou a tedy i snadnou prostupností pro mikroorganismy (Crispim *et al.*, 2003).

Jako příliš účinné se neukázalo ani vysokotlaké čištění vodním proudem. Určitý úbytek mikroorganismů po jeho provedení byl patrný, ale rod *Gloeocapsa*, který se ukázal jako nejodolnější a snadno kolonizující, odstraněn nebyl a dokonce se ani příliš nezměnila jeho četnost, což může být dáno jak složením substrátu, případně nátěru, tak i schopností rodu *Gloeocapsa* se zapouzdřit (Shirakawa & Gaylarde, 2012).

Sinice, které kolonizují fasády budov a památky byly zkoumány zejména ve střední a jižní Americe (Gaylarde & Gaylarde, 2000; Gaylarde & Gaylarde, 2005) a Indii (Sethi *et al.*, 2012; Rossi *et al.*, 2012, Pandey, 2011). Biofilmy byly často světle šedé, tmavě šedé až černé. Toto zbarvení může být způsobeno rodem sinic *Scytonema* a jeho barvivem zvaným scytonemin, které se objevuje v jejich slizovitých pochvách tmavě hnědé barvy (Gaylarde *et al.*, 2007). Nicméně tmavé zbarvení na stěnách budov nemusí působit pouze mikroorganismy, ale může být zapříčiněno například chemickými sloučeninami, pokud je okolní prostředí příliš znečištěné (Gaylarde *et al.*, 2007). Velmi častým zbarvením je také světle růžová barva, která přechází v lehce načervenalé plošky, které nám ukazují přítomnost velmi odolného rodu *Gloeocapsa*, který je velmi často jeden z prvních kolonizujících organismů.

Nejčastější mikroorganismy, které se objevují na budovách a památkách jsou uvedeny v následující tabulce I. (Gaylarde *et al.*, 2007; Pandey 2011).

Tab. I. : Nejběžnější rody sinic na stavbách

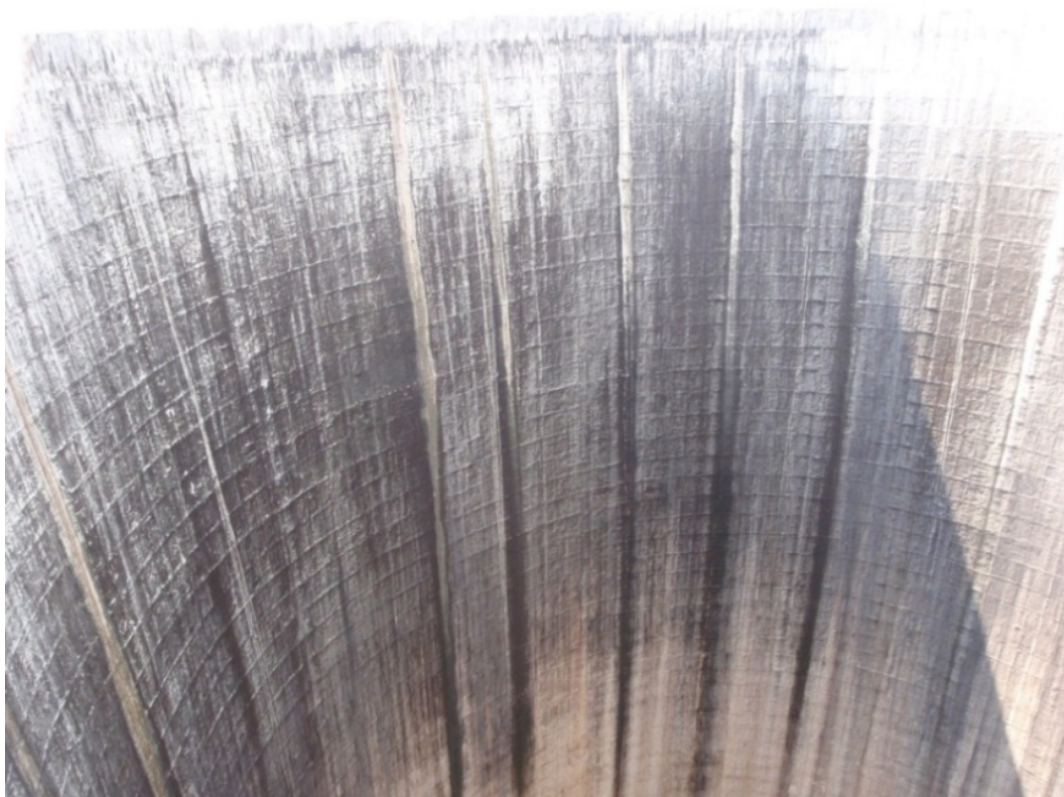
1.	<i>Scytonema</i>
2.	<i>Mastigocladus</i>
3.	<i>Gloeocapsa</i>
4.	<i>Oscillatoria</i>
5.	<i>Synechocystis</i>
6.	<i>Microcoleus</i>
7.	<i>Nostoc</i>
8.	<i>Tolypothrix</i>

3. Metodika

3.1. Odběr vzorků

Vzorky pro praktickou část mé bakalářské práce byly odebrány v červenci a v průběhu prosince 2011, za asistence pracovníků jednotlivých provozů, ve dvou různých elektrárnách patřících pod skupinu ČEZ. Cílem sběrů byly biofilmy (Obr. 1, Obr. 2) nad eliminátory. Červencové vzorky byly odebrány v tepelné elektrárně Chvaletice. Bylo zde odebráno 35 vzorků a to pouze z jedné věže ze čtyř. Odebíráno bylo z věže, která je

používaná velmi zřídka a samotný sběr vzorků proběhl za pomoci čistého, ostrého nožiku z ochozu, který se nachází na vrcholu věže. Vzorky zde byly odebírány po třiceti stupních. Orientace proběhla za pomoci buzoly. Prosincové vzorky byly odebrány v jaderné elektrárně Temelín. Bylo zde odebráno 166 vzorků. Sběr vzorků proběhl na všech čtyřech věžích za běžného provozu a stejným způsobem jako v elektrárně Chvaletice. Orientace na věži byla ztížena povětrnostními vlivy a také běžným provozem věže. Mimo buzoly tedy byla použita ještě GPS jednotka Garmin 550t, která bohužel byla ovlivněna elektromagnetickými poli, k další orientaci byly použity také hromosvody, které byly umístěny zhruba po třiceti stupních.



Obr. 1: Dobře viditelné biofilmy uvnitř chladicí věže



Obr. 2 : Detail biofilmu

3.2. Zpracování vzorků

Celkový počet 201 vzorků byl podroben mikroskopické analýze na světelném mikroskopu Olympus BX 51, který je vybaven Nomarského diferenciálním interferenčním kontrastem s vysokým rozlišením, digitální kamerou Olympus DP71 a softwarem DP Controller (Olympus Inc.). Nalezené sinice byly určovány podle prací Komárka a Anagnostidise (1998, 2005) a Geitlera (1932).

Vzorky z elektrárny Chvaletice byly odebrány v již v suchém stavu. Proto, pro jejich analýzu, bylo nezbytné je zvlhčit vodou a poté rozmělnit. Vzorky z elektrárny Temelín byly z velké části mikroskopovány čerstvé, pouze jedna čtvrtina byla analýze podrobena v suchém stavu. Usušeny byly za běžné pokojové teploty a uchovány v ledničce, proces zpracování těchto suchých vzorků proběhl stejně jako v předchozím případě.

Pro zjištění relativních abundancí jednotlivých druhů ve vzorcích byla použita obdoba Braun-Blanquetovy stupnice v rozsahu od „+“ které udává velmi řídké zastoupení druhu ve vzorku až po označení 6, které udává jednoznačnou dominanci druhu v daném vzorku (Kaštovský *et al.*, 2008).

Během sběru vzorků, na základě makroskopického vzhledu biofilmů ve věžích, jsem si vytvořila nulovou hypotézu, že druhové složení biofilmu není ovlivněno světovou stranou. Vzhledem k povaze mých vzorků jsem pro statistické zpracování vybrala programový balík Canoco for windows 4.56 (Biometris - Plant Research International). Jako vhodný typ analýzy jsem určila lineární přímou metodu RDA, tedy redundanční analýzu. Po provedení analýzy jsem vytvořila ordinační diagram pomocí programu CanoDraw for windows 4.14 (Obr. 3).

4. Výsledky

Celkem bylo odebráno 201 vzorků z pěti věží a všechny byly podrobeny mikroskopické analýze. Sinice byly, dle očekávání, zaznamenány v každém z nich. Jako dominantní druhy se ukázaly zejména rody *Gloeocapsa* a *Scytonema*. Hojně zastoupen byl také rod *Leptolyngbya* a *Aphanothece*. Vzorky ve kterých byly tyto sinice nalezeny, pocházejí z vnitřní části věže, ale také z hran ochozu a samotného chodníčku na vrcholu věže. Dalšími organismy, které tvořily nárostové společenstvo, byly také lišejníky, mechy a ve větším množství i houby.

Celkem bylo nalezeno 25 druhů sinic, z nichž 19 se podařilo určit blíže do druhu. Porovnání se seznamem sinic ČR (Kaštovský et al. 2010) ukázalo, že mezi určenými morfotypy není žádný nový nález pro Českou republiku. Výčet druhů s lokalitou nalezení následuje níže (Tab. II.). Jako nejhojněji osídlená věž, se jeví temelínská věž číslo 2. Odpovídá tomu i počet odebraných vzorků následuje věž 4, věž 3 spolu s chvaletickou věží, a věž 1. Naopak nejméně osídlenou věží byla jednoznačně věž elektrárny ve Chvaleticích, s vyvedeným odsířením, kde vládne příležitostné kyselé prostředí pro sinice velmi nevhodné.

Další zajímavostí, která byla pozorována během mikroskopické analýzy vzorků je měnící se společenstvo věže v závislosti na světové straně - tedy i míře a délkou ozáření slunečním svitem. Teorie této závislosti byla následně potvrzena statistickou analýzou programu Canoco, metodou RDA (viz. Obr. 3). Proveden byl Monte Carlo permutační test. Počet permutací byl 4 999. P - value 0, 0160, f - ratio 1,89. Mohu tedy zamítnout nulovou hypotézu na pětiprocentní hladině významnosti. Z této analýzy je zřejmé, že například *Gloeocapsa compacta* preferuje na jih orientovanou stranu, zatímco například rod

Leptolyngbya má velmi úzký profil výskytu vázaný na severní orientaci. U těchto dvou rodů je preference světové strany opravdu markantní a dobře pozorovatelná i během mikroskopické analýzy.

Během svého výzkumu jsem si potvrdila domněnku o degradaci ochranného nátěru, ke kterému sinicové biofilmy významnou měrou přispívají. Různé narušení bylo na betonových stěnách pozorovatelné pouhým okem. Narušení, která zde sinice způsobují, otevírají cestu k tomuto biotopu dalším organismům, jako jsou houby, lišejníky a mechy. Časem by se určitě objevily i vyšší rostliny. Já jsem našla pouze jednu mikroskopickou houbu a 2 druhy blíže nespécifikovaných lišejníků. Mechy už zde zahájily sukcesí větší měrou. Našla jsem 3 druhy (*Bryum sp.*, *Barbula unguiculata* a *Ceratodon purpureus*), v poměrně výrazném počtu.

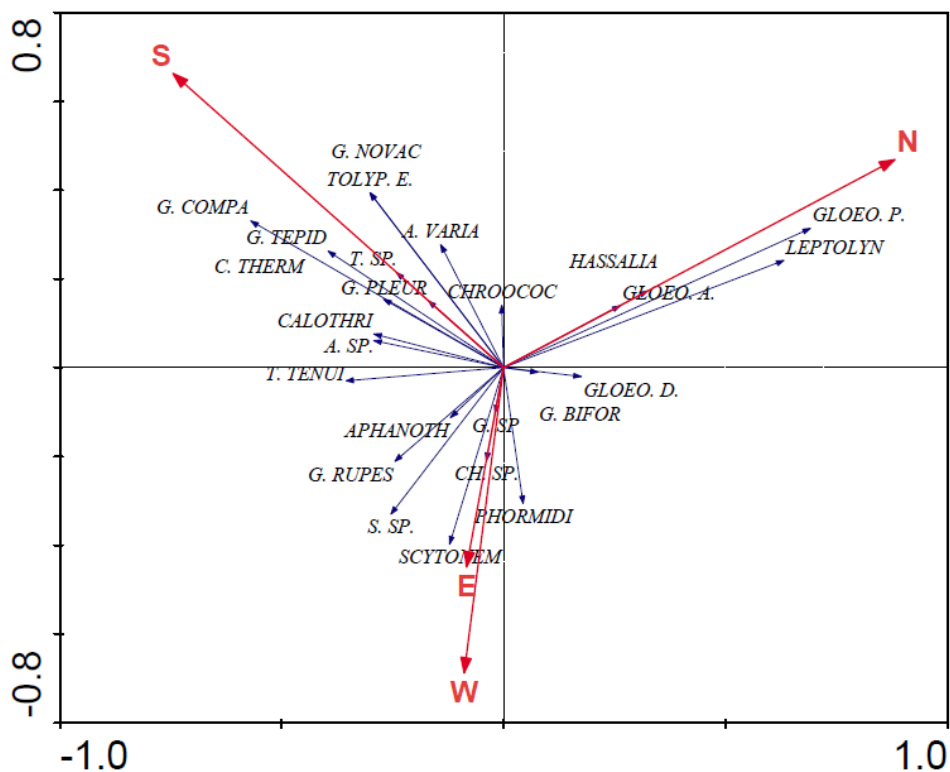
Určovala jsem i relativní abundanci jednotlivých druhů, která je uvedena v Tab. II. a můžeme z ní snadno vyčíst, že nejhojněji zastoupeným druhem je *Gloeocapsa compacta*, která tvoří dominantu na všech věžích. Byla přítomna asi v sedmdesáti procentech vzorků. V tabulce Tab. II. můžeme zároveň vidět seznam všech nalezených sinic a také lokality nálezu.

Po mikroskopické analýze vzorků, jsem došla k závěru, že zastoupení druhů můžeme přibližně odhadnout například již při sběru vzorků na základě zbarvení biofilmu. Růžová a červená barva nárstu jasně ukazuje na přítomnost rodu *Gloeocapsa* ve větším počtu. Tmavě zelená barva většinou ukazovala přítomnost rodů *Phormidium* a *Chroococcus*. V černých biofilmech byl obvykle nalezen rod *Scytonema* a také rod *Gloeocapsa*, který byl v těchto případech velmi tmavě červený nebo tmavě fialový. V některých případech barva biofilmu určí i druh. Například biofilm, od pohledu zabarvený fialově, obsahoval ve všech případech sinici *Gloeocapsa alpina*. Charakteristické červené zbarvení povrchu (Obr. 10) je způsobené rodem *Gloeocapsa novacekii*.

4.1. Nalezené druhy

Tab. II: Seznam nalezených druhů (věž 1-4 Temelín, věž 5 Chvaletice)

	věž 1	věž 2	věž 3	věž 4	věž 5
<i>Aphanothece bullosa</i> (MENEHINI) RABENHORST 1865		+	+		
<i>Aphanothece caldariorum</i> RICHTER 1880	3	3	2	2	3
<i>Aphanothece</i> sp.					2
<i>Calothrix</i> cf. <i>parietina</i> (NÄGELI) THURET 1875		2	1	2	
<i>Calothrix thermalis</i> (SCHWABE) HANSGIRG		+			
<i>Gloeocapsa alpina</i> (NÄGELI) BRAND		+	+		
<i>Gloeocapsa biformis</i> ERCEGOVIĆ		2	2	+	
<i>Gloeocapsa compacta</i> KÜTZING	4	3	3	3	4
<i>Gloeocapsa novacekii</i> KOMÁREK et ANAGNOSTIDIS		4	3	+	
<i>Gloeocapsa rupestris</i> KÜTZING		4	3	+	
<i>Gloeocapsa</i> sp.		1	+	+	
<i>Gloeocapsopsis dvorakii</i> (NOVÁČEK) KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS 1986	+	+	1	+	
<i>Gloeocapsopsis pleurocapsoides</i> (NOVÁČEK) KOMÁREK et ANAGNOSTIDIS 1986	1	2	1	1	
<i>Gloeothece palea</i> (KÜTZING) RABENHORST	+	+		+	
<i>Gloeothece tepidariorum</i> (A. BRAUN) LAGERHEIM	+	1	1	1	
<i>Hassallia byssoidea</i> HASSALL ex BORNET et FLAHAULT		+	+		+
<i>Chroococcus cohaerens</i> (BRÉBISSON) KÜTZING	+			+	1
<i>Chroococcus</i> sp. NÄGELI					+
<i>Leptolyngbya</i> sp.	+	2	2	2	
<i>Phormidium</i> sp.	1	3	2	2	
<i>Scytonema myochorus</i> C. AGARDH ex BORNET et FLAHAULT		2	1	+	+
<i>Scytonema</i> sp.		1	+		
<i>Tolypothrix elenkinii</i> HOLLERBACH	+	2	1	1	
<i>Tolypothrix tenuis</i> KÜTZING 1843	+		+		
<i>Tolypothrix</i> sp.		+			



Obr. 3: Výsledky analýzy RDA preference světových stran jednotlivými druhy

5. Diskuze

Ve své literární rešerši jsem se zaměřila na články, které by se daly rozdělit do dvou skupin. Jednu velmi početnou a druhou velmi omezenou. První skupinu tvoří články, které se zabývají sinicemi na budovách a památkách, druhou pak články, které se zabývají věžemi samotnými.

Na první skupinu bylo nahlíženo zejména z technologického pohledu - tedy jak co nejúčinněji redukovat sinicové biofilmy na památkách a budovách. Pro tuto skupinu článků je velmi typické určování organismů pouze do rodů (Gaylarde *et al.* 2007, Crispim *et al.* 2003, Shirakawa *et al.* 2012). Tyto práce poskytují pouze velmi omezené informace o druhovém složení biofilmů v daném prostředí. Nicméně primárním účelem těchto prací bývá snaha o omezení barevných změn povrchu či zamezení narušování stavebních materiálů. Můžeme proto předpokládat, že takovéto povrchní znalosti jsou v tomto případě plně dostačující. Ovšem pro podrobnější výzkum, ať už floristický či biogeografický jsou taková data nepoužitelná. Organismy jsou určovány pouze do rodů a stává se, že jsou

použity zastaralé názvy a v případě vyložení technicky orientovaných prací jsem se setkala i se špatným určením organismu jako takového v práci Joha & Leeho (2012). V těchto pracích navíc většinou chybí podrobná metodika odběru a zpracování a odběry nejsou pravidelně opakovány, lokality nejsou sledovány. Tyto problémy shledávám jako komplikaci pro výzkum sinic na těchto substrátech. Stačilo by se více zaměřit na determinaci organismů.

Druhá skupina prací se týká chladících věží a je velmi omezená. Práce se týkají zejména spodní třetiny věže. Zřejmě kvůli relativně snadné dostupnosti, přítomnosti patogenů a také díky sinicím, které se hojně vyskytují na podpůrných sloupech, a vnitřních konstrukcích (Liou 2009, Sládečková & Sládeček 1958). Horní část věže byla zkoumána velmi málo (Hauer 2010, Hindák *et al.* 2011). Například práce Hindáka a kolektivu (2011) je zaměřena na jeden nalezený druh a jeho zevrubný popis. Tímto druhem je *Scytonema myochorus*. Ostatním organismům není věnována téměř žádná pozornost. Práce Hauera (2010) zahrnuje poměrně velké množství nalezených druhů, které se často podařilo určit do druhů, ovšem z několika různých míst v České republice. Autor se věnoval i dvěma věžím elektrárny Temelín, ale našel zde pouhých 7 druhů sinic. Já jsem ve své práci na stejných dvou věžích našla 19 druhů sinic. Jak se ukázalo, je pro získání reprezentativního přehledu o složení biofilmu klíčové odebrat vzorky z horní části věže. Tedy neshbírat jen utržené kusy biofilmů, které spadnou na eliminátory.

Porovnáním mé práce s prací Hauera (2010), která byla pilotní studií v této oblasti výzkumu sinic, zjišťuji, že počet nalezených organismů ze skupiny Cyanobacteria je stejný, ale jejich složení nikoliv. Našla jsem 12 druhů, které pilotní studie neuvádí. Celkový počet sinic, nalezených ve věžích, kterými se zabývají tyto dvě studie, se tedy zvýšil na 37 druhů.

Poměrně zvláštní bylo osídlení jednotlivých věží, které se velmi lišilo, věž od věže a bylo patrné i z makroskopického pohledu. Například na temelínské věži číslo 1 bylo velmi málo narostlých biofilmů a naopak, na temelínské věži číslo 2 bylo makroskopicky patrné vícero zabarvení biofilmu. Biofilmy na této věži bylo zelené, růžové, černé i červené. Tyto rozdíly byly dále patrné i při mikroskopické analýze vzorků, kdy věž 1 byla nesrovnatelně chudší než věž 2. Tyto rozdíly mohou být zapříčiněny různým managementem věží. To znamená, že všechny věže jsou sice opravovány, ale ne ve stejný čas. Některá věž tak

může být bez opravy 5 let, jiná naopak může být rok po opravě. Je samozřejmé, že opravená věž, která je ošetřena například novou vrstvou nátěru bude mnohem méně kolonizována než věž neopravovaná a bude to na ní poznat jak makroskopicky tak i mikroskopicky.

Samotný odběr vzorků na věžích proběhl za orientace pomocí buzoly a GPS jednotky Garmin 550t, ale jak se ukázalo, ani jeden ze způsobů nebyl úplně ideální. Je zde určité riziko, že vzorky nebyly odebrány přesně po třiceti stupních a to ze dvou důvodů, které mohly ovlivnit funkčnost přístrojů. Prvním je přítomnost samotné stavby, která je ze železobetonu a může tedy ovlivnit funkci buzoly. Tento důvod přisuzuji zejména elektrárně Chvaletice. Druhým důvodem, který považuji za více pravděpodobný, je přítomnost velmi silných elektromagnetických polí, které pocházejí z vedení velmi vysokého napětí. Tento důvod přisuzuji především elektrárně Temelín, kde se toto vedení vyskytuje v celém areálu elektrárny. Maximální odchylku odhaduji na pět stupňů.

Ve všech vzorcích dominovaly kokální typy. Zejména převládal rod *Gloeocapsa* (obr. 12), který bych celkově označila jako nejvíce se vyskytující. Může to být dáno například tím, že prostředí ve věži mu opravdu vyhovuje. I v běžných podmínkách ho nalzáme na smáčených stěnách, které jsou podobné těm v chladících věžích. Navíc tento rod disponuje mocnými slizovými pochvami - může tak přežít velmi dlouhou dobu v neaktivní, tedy suché, věži. Dalším častým rodem byl rod *Scytonema* a častý byl i *Tolypothrix elenkinii*. Naopak velmi okrajově byl zastoupen například *Tolypothrix tenuis*, rod *Chroococcus*, *Hassallia byssoidea* (Obr. 12) a dále například *Aphanothece bullosa*. Zvláštností mé práce je, že byl nalezen pouze jediný termofilní rod v podobě *Calothrix thermalis* (Obr. 13). Vzhledem k podmínkám, které ve věži panují, jsem předpokládala, že termofilní rody budou častější. Podmínky by teoreticky měly vyhovovat přesně jejich potřebám, ale zřejmě tomu tak není. Například v práci Hauera (2010) byly nalezené 2 termofilní druhy z rodů *Aphanocapsa* a *Brasilonema*, ale ani to mi nepřipadá dostatečné.

V mé práci vyšla jasně najevo preference druhů ke světovým stranám, předpokládám, že je to způsobeno různou schopností sinic si vytvářet ochranu před UV zářením - v podstatě jsou to jejich „opalovací krémy“ (Gao & Pichel, 2011). V této schopnosti se projevil jako velmi schopný rod *Gloeocapsa*, který má poměrně velké slizové obaly, do kterých ukládá různá barviva, právě jako ochranu před slunečním zářením. Tato barviva sloužící jako

„opalovací krém“, který pak barví slizové pochvy organismu do oranžova, červena nebo fialova. Toto zbarvení je považováno za determinální znak, ale některými autory je tato teorie zpochybňována z důvodu možnosti ovlivnění barvy například přítomností železa, hodnotou pH nebo mírou ozáření (Jaag 1945, Adbelahad & Bazichelli, 1991). Nicméně, v mojí práci se opravdu projevila preference tohoto rodu k jižní orientaci. Naopak rod *Leptolyngbya*, se vyskytoval pouze v úzkém rozpětí severu. U těchto dvou rodů byl jejich výskyt v závislosti na světové straně skutečně nejmarkantnější.

Má pozorování také dokládají, že sinicové biofilmy zpřístupňují biotop dalším organismům, jako jsou mechy, lišejníky nebo houby. Degradace materiálu je pozorovatelná pouhým okem, a prostředí, které je velmi vlhké a plné jemných poškození je přímo určeno pro usazování spor.

6. Závěr

Literární rešerše se zabývá zejména chladicími věžemi typu Iterson a také budovami a zčásti i památkami. Práce, které jsou zaměřeny na nárosty sinic těchto substrátů, pocházejí především z Latinské Ameriky, Indie a Indomalajské oblasti. Přednostně se zabývají moderními budovami a také stavbami, které zůstaly po mayské kultuře.

Práce, které by podrobněji zkoumaly osídlení chladících věží, obzvláště v horní části, téměř neexistují. Pokud ano, jsou velmi obecné a ne příliš podrobné. V celkovém počtu 201 vzorků bylo nalezeno 25 sinic a 19 jich bylo určeno do druhu. Domnívám se tedy, že má práce by mohla být nápomocná k podrobnějšímu prozkoumání a poznání kolonizátorů v těchto lokalitách, díky čemuž by se v budoucnu dalo zabránit například poškozování ochranných nátěrů.

7. Seznam použité literatury:

ABDELAHAD, N., BAZICHELLI, G. (1991). The genus *Gloeocapsa* KÜTZ. (Cyanophyta) on Calcareous Rock Surface in the Upper Halley of the river Anione (Latium, Italy). – *Cryptogamic Botany* **2/3**: 155-160.

BREHM, U., GORBUSHINA, A., MOTTERSHEAD, D. (2005). The role of microorganisms and biofilms in the breakdown and dissolution of quartz and glass. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **219**:117–129

CRISPIM, C A. & GAYLARDE, C.C. (2005). Cyanobacteria and biodeterioration of cultural heritage: A review. *Microbial Ecology* **49**: 1-9.

CRISPIM, C.A., GAYLARDE, P.M., & GAYLARDE, C.C. (2003). Algal and cyanobacterial biofilms on calcareous historic buildings. *Current Microbiology* **46**: 79-82.

GAO, Q., PICHEL, G.F. (2011). Microbialultraviolet sunscreens. *Nature reviews* **9**: 791 - 802.

GAYLARDE, C.C. & GAYLARDE, P.M. (2005). A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America. *International Biodeterioration & Biodegradation* **55**: 131-139.

GAYLARDE, C.C., ORTEGA-MORALES, B.O., & BARTOLO-PEREZ, P. (2007). Biogenic black crusts on buildings in unpolluted environments. *Current Microbiology* **54**:162-166.

GAYLARDE, C. C., RODRÍGUEZ, C. H., NAVARRO-NOYA, Y.E., ORTEGA-MORALES B.O. (2012). Microbial biofilms on the sandstone monument sof the Angkor wat komplex, Cambodia. *Current microbiology* **64**: 85-92

GAYLARDE, P.M. & GAYLARDE, C.C. (2000). Algae and cyanobacteria on painted buildings in Latin America. *International Biodeterioration & Biodegradation* **46(2)**: 93-97

GEITLER, L. (1932). Cyanophyceae. In *Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. (Rabenhorst, L., editor), 1196. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.

GOBIN, I., NEWTON, P., HARTLAND, E., NEWTON, H. (2009). Infections caused by nonpneumophila species of Legionella. *Reviews Medical Microbiology* **20**:1–11

GORBUSHINA, A.A. (2007). Life on the rocks. *Environmental Microbiology* **9**: 1613-1631.

HAIS, M., WOTAVOVÁ, K., PROCHÁZKA, J., BROM, J., PECHAROVÁ, E. (2005). The effect of Temelín nuclear power plant on temperature and wetness parameters of land cover. *Ekológia (Bratislava)* **24**: 438-448

HAUER, T. (2010). Phototrophic biofilms on the interior walls of concrete Iterson-type cooling towers. *Journal of Applied Phycology* **22**: 733-736

HEZOUČKÝ, F. (2004). Technické problémy při uvádění Jaderné elektrárny Temelín do provozu [online]. www.cvut.cz/pracoviste/odbor-rozvoje/.../hab.../hp2005-05.pdf

HINDÁK, F., WOLOWSKI, K., HINDÁKOVÁ, A. (2011). The epilithon of a cooling tower of the power plant at Bełchatów, Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies* **40**: 38-43

JAAG, O. (1945). Untersuchungen über die Vegetation und Biologie der Algen des nackten Gesteins in den Alpen im Jura und im Schweizerischen Mittelland. – 560 p., Böhler & Co., Bern.

JOH, G., LEE, J. (2012). Cyanobacterial biofilms on sedimentation basins in a water treatment plant in South Korea. *Journal of Applied Phycology* **24**: 285-293

KAŠTOVSKÝ, J., HAUER, T., KOMÁREK, J., SKÁCELOVÁ, O. (2010) : The list of cyanobacterial species of the Czech Republic to the end of 2009. *Fottea* **10**: 235–249.

KAŠTOVSKÝ, J., ŘEHÁKOVÁ, K., BASTL, M., VYMAZAL, J., & KING, R.S. (2008). Experimental assessment of phosphorus effects on algal assemblages in dosing mesocosms. In *The Everglades Experiments*. (Richardson, C., editor), 461–476. Springer, New York.

KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. (1998). Cyanoprokaryota I. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1*. (Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H., & Mollenhauer, D., editors), 548. GustavFischer, Stuttgart – Jena.

KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. (2005). Cyanoprokaryota II. In *Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2*. (Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner, G., & Schagerl, M., editors), 759. Elsevier/Spektrum, München.

LIU, H. T. (2009). An on-site cooling tower treated by stand-alone low-concentration dissolved ozone. *Ozone-Science & Engineering* **31**:53–59

PANDEY, V. D. (2011). Epilithic cyanobacteria occurring on the temple of Uttarakhand, India. *Plant Archives* **11**: 1057-1060

RAMIREZ, M., HERNANDEZ-MARINE, M., NOVELO, E., & ROLDAN, M. (2010). Cyanobacteria-containing biofilms from a Mayan monument in Palenque, Mexico. *Biofouling* **26**: 399-409.

RINDI, F., GUIRY, M. D. (2004). Composition and spatial variability of terrestrial algal assemblages occurring at the bases of urban walls in Europe. *Phycologia* **43**:225–235

ROSSI, F., MICHELETTI, E., BRUNO, L., ADHIKARY, S. P., ALBERTANO, P., DE PHILIPPIS, R. (2012). Characteristics and role of the exocellular polysaccharides produced by five cyanobacteria isolated from phototrophic biofilms growing on stone monuments. *Biofouling* **28**: 215-224

SETHI, S. K., SAMAD, L. K., ADHIKARY, S. P. (2012). Cyanobacteria and micro-algae in biological crusts on soil and sub - aerial habitats of eastern and north eastern region of India. *Official Journal of Phycological Society, India* **42**: 1-9

SHIRAKAWA, M.A., LOH, K., JOHN, V. M., GAYLARDE, C. C. (2012). Resistance of cyanobacterial fouling on architectural paint films to clearing by water jet. *Current Microbiology* **64**: 312-316

SLÁDEČKOVÁ A., SLÁDEČEK V. (1958). Der Aufwuchs auf den Kühltürmen der Dampfkraftwerke und einige einfache Abhilfemassnahmen. *Hydrobiologia* **12**: 43–54

ŠTEFEK, P. (2000). Chvaletické vlečky [online]. <http://spz.logout.cz/trate/echva.html>

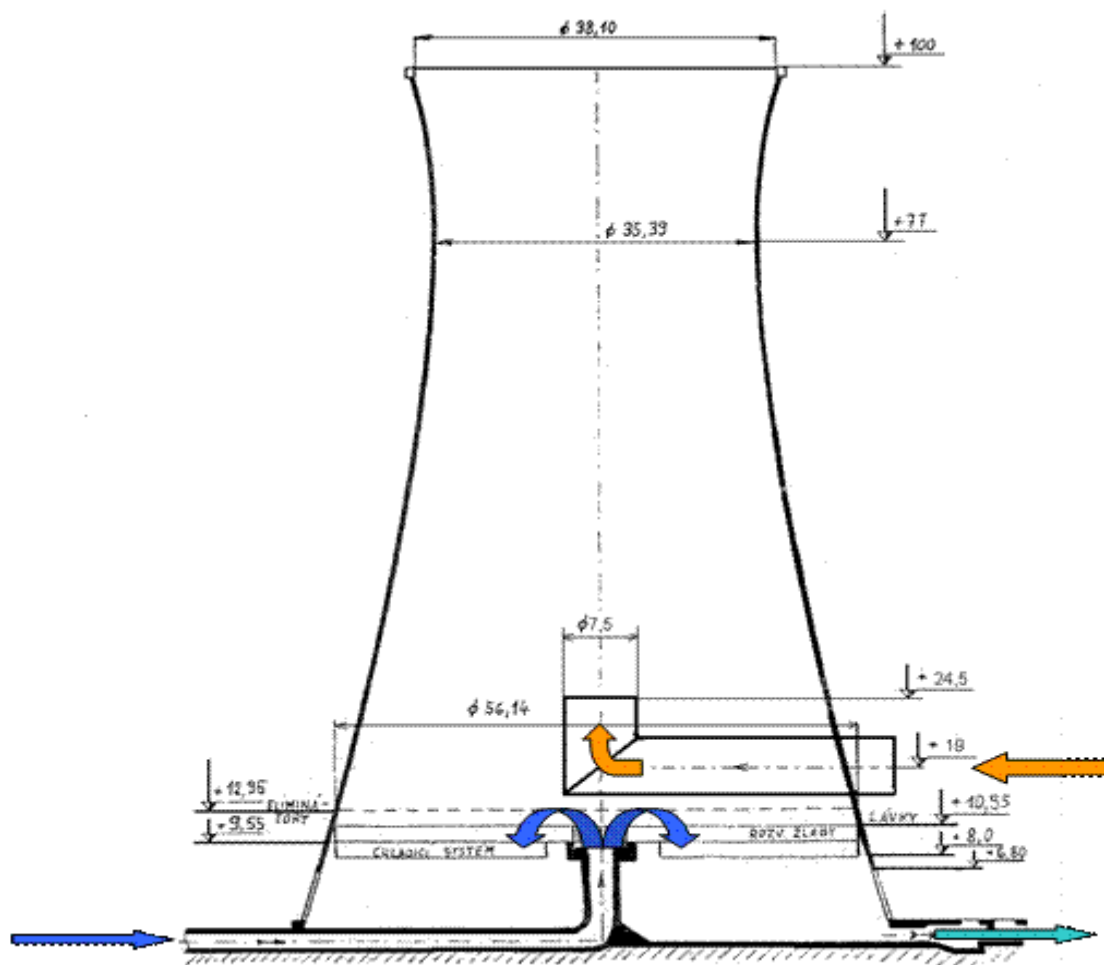
ŠUBERT, O., ČÍŽEK , J., NOVÁKOVÁ, L. (2008). Model chladicí věže [online]. http://stc.fs.cvut.cz/History/2008/Sbornik/S2/Subert_Ondrej_12107.pdf

8. Přílohy

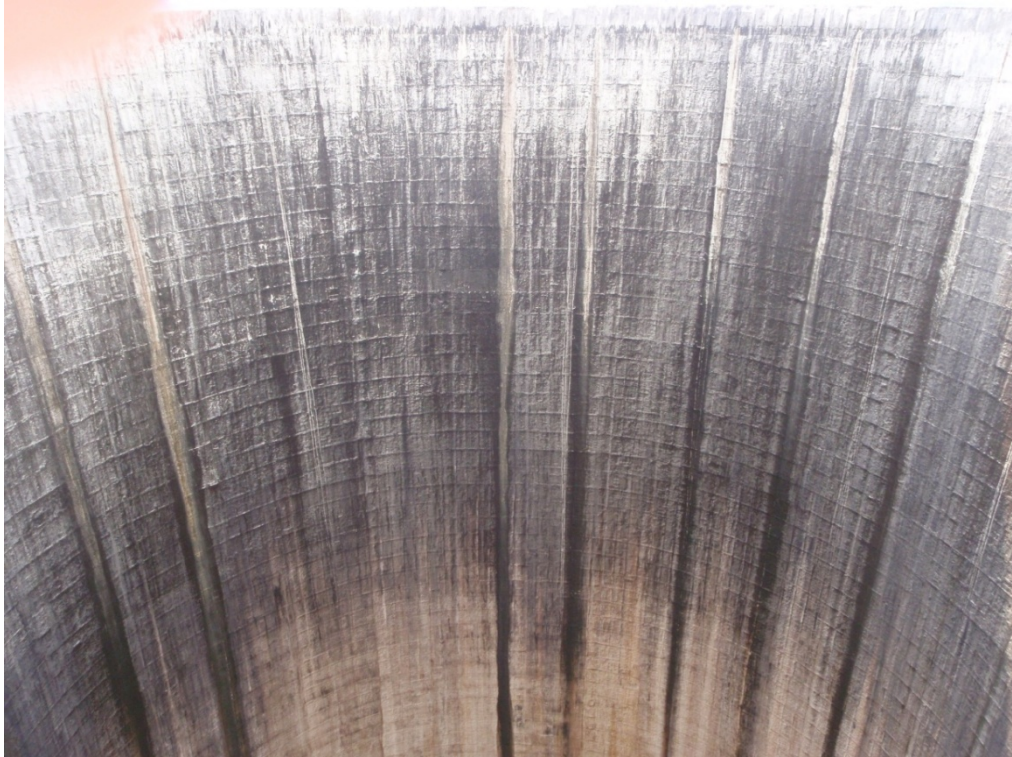
Příloha 1: Chvaletice



Obr. 4: Pohled na vývod odsíření z vnitřní části věže (zdroj: ČEZ)



Obr. 5: Náčrt věže včetně vyvedeného odsíření spalin (zdroj: ČEZ)



Obr. 6: Pohled na věž se zřetelným biofilmem



Obr. 7: Pohled do aktivní věže s vyvedeným odsířením, která je zcela bez osídlení

Příloha 2: Temelín



Obr. 8: Celkový pohled na temelínské věže (zdroj: <http://toscali-veda-technika.blogspot.com/2010/01/temelin-jaderna-elektrarna.html>)



Obr. 9: Ochoz - jedno z míst odběru vzorků

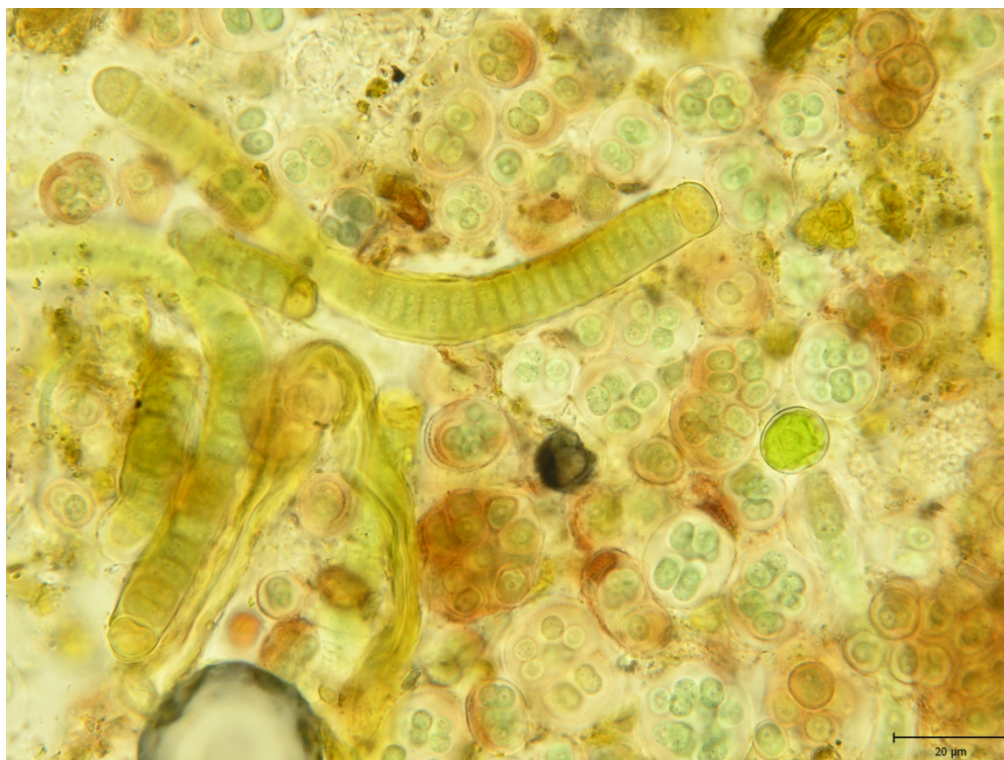


Obr. 10: Červené zbarvení biofilmu způsobené rodem *Gloeocapsa*



Obr. 11: Pokročilá míra sukcese - ohoz je již obydlen mechem

Příloha 3: mikroskopické snímky



Obr. 12: rod *Hassalia* a *Gloeocapsa*



Obr. 13: *Calothrix thermalis*