Zhodnocení environmentálního dopadu přípravku ALGIFLASH

Dagmar Baštová

Bakalářská práce
2024

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Dagmar Baštová**
Osobní číslo:	**T21364**
Studijní program:	**B0711A130009 Materiály a technologie**
Specializace:	**Ochrana životního prostředí**
Forma studia:	**Kombinovaná**
Téma práce:	**Zhodnocení environmentálního dopadu přípravku ALGIFLASH**

Zásady pro vypracování

Vypracujte literární rešerši zaměřenou na popis vlastností vláknitých řas, schopných růstu v systémech elektrárenských chladících vod.
Zhodnoťte environmentální dopady přípravku ALGIFLASH při dlouhodobém používání v reálném systému chladících vod.
Získané poznatky přehledně zpracujte a práci odevzdejte v tištěné i elektronické formě v řádném termínu.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Gallardo-Rodriguez J. J. a kol.: A critical review on control methods for harmful algal blooms. Reviews in Aquaculture, 2019, 11, 661–684.
Maršálek B., Jančula D.: Critical review of actually available chemical compounds for prevention and management of cyanobacterial blooms. Chemosphere, 2011, 85, 1415–1422.
Vědecké zdroje zahrnuté v databázích Web of Science a ScienceDirect.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.**
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Jaroslav Filip, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 6. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORKY
BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá enviromentálními dopady přípravku Algiflash na vodní ekosystém recipientu Jihlavy při jeho dlouhodobém používání k potlačení růstu vláknitých řas, především *Cladophora glomerata*, v systému chladících vod na Jaderné elektrárně Dukovany.

První část obsahuje stručný popis chladícího systému jaderné elektrárny. Dále je zde podrobně charakterizován algicidní přípravek Algiflash, jehož účinnou složkou je benzalkonium chlorid (BAC). BAC při jisté míře naředění patří k dobře biologicky rozložitelným látkám. Práce se také věnuje nejvýznamnějším vodním mikroorganismům ze skupiny sinic a řas, jejichž výskyt může být tímto přípravkem ovlivněn.

Druhá část bakalářské práce shrnuje výsledky monitoringu vod na recipient Jihlavu z hlediska ekotoxikologie za období duben až říjen v letech 2019, 2021 a 2023. Výsledky ekotoxikologických testů jsou doplněny o stručné hydrobiologické hodnocení dominantních druhů organismů v daných odběrových profilech.

Klíčová slova: algicid, benzalkonium chlorid, biologická rozložitelnost, biotest, ekotoxicita, chladící systém, řasy

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the environmental impacts of the Algiflash preparation on the aquatic ecosystem of the Jihlava recipient during its long-term use to suppress the growth of filamentous algae, especially *Cladophora glomerata*, in the cooling water system at the Dukovany Nuclear Power Plant.

The first part contains a brief description of the nuclear power plant's cooling system. It also provides a detailed characterization of the algicidal preparation Algiflash, the active ingredient of which is benzalkonium chloride (BAC). BAC, when diluted to a certain degree, belongs to biodegradable substances. The work also focuses on the most significant aquatic microorganisms from the group of cyanobacteria and algae, whose occurrence can be influenced by this preparation.

The second part of the bachelor's thesis summarizes the results of water monitoring on the recipient Jihlava in terms of ecotoxicology for the period from April to October in 2019, 2021, and 2023. The results of ecotoxicological tests are supplemented by a brief hydrobiological evaluation of the dominant species of organisms in the given sampling profiles.

Keywords: algicide, benzalkonium chloride, biodegradability, biotest, ecotoxicity, cooling system, algae

Poděkování:

Velké poděkování patří vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. RNDr. Janu Růžičkovi, Ph.D., zejména za jeho ochotu, odborné vedení, rady a připomínky k mé práci a za trpělivost a maximální vstřícnost při zpracovávání bakalářské práce. Dále děkuji panu prof. Ing. Blahoslavu Maršálkovi, CSc. za jeho podporu a cenné rady k tématu této práce.

V neposlední řadě patří mé poděkování rodině, která mi byla v průběhu bakalářského studia značnou oporou.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Obsah

ÚVOD DO PROBLEMATIKY A CÍLE PRÁCE **9**
1 TEORETICKÝ VÝKLAD **10**
1.1 JADERNÁ ELEKTRÁRNA **10**
1.1.1 CHLADICÍ SYSTÉMY JE DUKOVANY 10
1.1.2 HYDROLOGICKÉ POMĚRY JE DUKOVANY 13
1.2 ELIMINACE RŮSTU ŘAS **14**
1.2.1 OŠETŘENÍ SLOUPŮ 14
1.2.2 OŠETŘENÍ VODY 16
1.3 ALGICIDNÍ PŘÍPRAVKY **16**
1.3.1 EXPERIMENTÁLNÍ HODNOCENÍ ALGICIDNÍCH PŘÍPRAVKŮ 17
1.3.2 ALGIFLASH 18
1.3.3 TOXICITA 22
1.4 SLEDOVANÉ SKUPINY MIKROORGANISMŮ **25**
1.4.1 SINICE – *CYANOBACTERIA* 25
1.4.2 ŘASY – *ALGAE* 26
1.4.3 CLADOPHORA GLOMERATA 32
1.4.4 VODNÍ KVĚT 34
2 APLIKACE A MONITORING ÚČINKU ALGIFLASH **37**
2.1 APLIKACE ALGIFLASH V JE DUKOVANY **38**
2.2 MONITORING **40**
2.2.1 POUŽITÉ METODIKY 41
2.3 VÝSLEDKY EKOTOXIKOLOGICKÝCH BIOTESTŮ A HYDROBIOLOGICKÉ HODNOCENÍ **42**
2.3.1 VÝSLEDKY ZA OBDOBÍ 2019 43
2.3.2 VÝSLEDKY ZA OBDOBÍ 2021 44
2.3.3 VÝSLEDKY ZA OBDOBÍ 2023 46
2.3.4 ZHODNOCENÍ A DISKUSE 47
3 ZÁVĚR **49**
4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **51**
5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK **56**
6 SEZNAM OBRÁZKŮ **58**
7 SEZNAM TABULEK **59**

ÚVOD DO PROBLEMATIKY A CÍLE PRÁCE

V současnosti se celosvětově potýkáme s problémem masivního množení řas. Tento jev je způsoben jak přirozenou eutrofizací, tak i eutrofizací vyvolanou lidskou činností. Výsledkem je zarůstání vodních ploch řasami a sinicemi, což vede k nežádoucím změnám v ekosystémech a k rozšíření často nechtěných organismů. Ačkoli řasy na rozdíl od sinic netvoří toxiny, mohou způsobit značné technické problémy.

Jaderná elektrárna Dukovany se přibližně před dvaceti lety začala potýkat s problémem nárostů zelených vláknitých řas v chladicích věžích, které způsobovaly technické a finanční potíže pro chod celé elektrárny. K rozvoji řas docházelo především během letních měsíců, kdy jsou nejvhodnější příznivé podmínky, jako je teplo a světlo.

Chladicí věže jsou součástí chladícího systému a slouží k ochlazování vody z turbínových kondenzátorů. Jako zdroj chladící vody je využívána povrchová voda z vodní nádrže Mohelno. Spolu s vodou se do chladicích systémů dostávají i organismy, které způsobují uvedené potíže. Jedná se o řasy, které se usazují na betonových konstrukcích chladicích věží a následně se uvolňují do bazénu pod věžemi vlivem proudění vody. Řasy pak zůstávají na filtračních sítech (česlech), které je nutné pravidelně čistit. Pro efektivní provoz chladicích věží je tedy nutné řasy eliminovat.

Z důvodu redukce růstu těchto vláknitých řas se do systému chladících věží JE Dukovany začal dávkovat přípravek Algiflash. Při eliminaci řas je však nutné dbát i na ochranu životního prostředí, proto souběžně s dávkováním se provádí pravidelný monitoring potenciálních vlivů na vodní ekosystém recipientu. Tato práce vznikla na základě spolupráce JE Dukovany a Flos Aquae Team Brno.

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit environmentální dopady přípravku Algiflash při dlouhodobém používání v reálném systému chladících vod.

1 TEORETICKÝ VÝKLAD

V této části bakalářské práce je obecné seznámení se základní funkcí jaderné elektrárny a jejím chladícím systémem. Dále je zde charakterizován algicidní přípravek Algiflash, jeho složení, vlastnosti a biologická rozložitelnost. Posledním tématem jsou mikroskopické organismy ve vodách, jejichž výskyt může být tímto přípravkem ovlivněn.

1.1 Jaderná elektrárna

Jaderná elektrárna je komplex několika průmyslových budov, kde se zajišťuje provoz elektrárny a nakládání s palivem. V jaderné elektrárně dochází k transformaci tepelné energie na energii elektrickou stejným způsobem jako v klasických elektrárnách. Rozdíl je pouze ve způsobu získávání tepelné energie (Škorpík, 2022). Každá jaderná elektrárna se skládá ze tří částí: primární okruh, sekundární okruh a chladící okruh (Jaderná elektrárna, 2007).

V primárním okruhu obíhá chladící médium, které chladí reaktor a předává získané teplo v parogenerátoru přes teplosměnnou plochu do okruhu sekundárního, který je tvořen klasickým parním tepelným oběhem a technologiemi k nim náležejícími (Škorpík, 2022). Sekundární okruh pracuje stejně jako u tepelné elektrárny. Jeho částí je parní turbína. Její lopatky roztáčí přehřátá pára. Po výstupu z turbíny se svádí do kondenzátoru, kde se ochladí a kondenzuje na vodu. Tuto vodu je možné opět ohřát, přeměnit v páru a celý proces se opakuje. Kondenzátor je ovšem nutné neustále chladit proudící vodou, aby kondenzační proces správně probíhal. Chladící voda proudí v tzv. chladicím okruhu. (Jaderná elektrárna, 2007)

V chladícím okruhu odchází ohřátá voda z kondenzátorů do chladicí věže. Zde se sprchovými hlavicemi rozstřikuje, v kapkách padá dolů a ochlazuje se proudícím vzduchem. Ochlazená voda se shromažďuje v bazénu pod věží, odkud je následně čerpána zpět do kondenzátorů. Jelikož se část chladící vody ve věžích odpaří, je třeba vodu do tohoto okruhu dodávat. (Jaderná elektrárna, 2007)

1.1.1 Chladicí systémy JE Dukovany

Vnější chladicí okruhy jsou systémy, které jsou schopny přebírat nízkopotenciální tepelnou energii z vnitřních chladicích okruhů elektrárny (sekundárního okruhu, vložených okruhů chlazení primární i sekundární části), popř. jednotlivých zařízení a předávat ji přes speciální tepelné výměníky (např. chladicí věže) do atmosféry (Kolektiv autorů, 2023).

Mezi vnější chladicí okruhy JE Dukovany patří:

1. Okruh cirkulační chladicí vody (CCHV)
2. Systém technické vody důležité (TVD)
3. Okruh technické vody nedůležité (TVN)

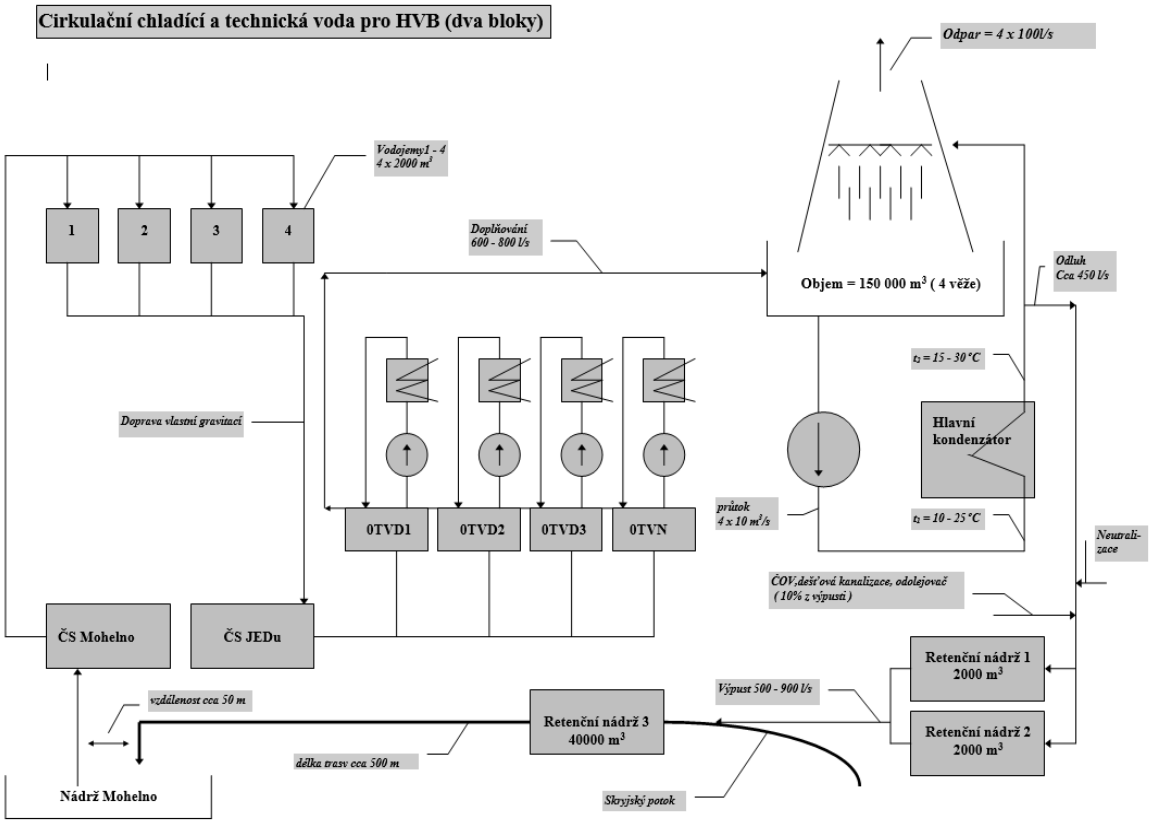
Okruh cirkulační chladicí vody (CCHV) slouží k odvodu tepla z kondenzátorů turbín a ostatních spotřebičů do okolí pomocí chladicích věží. V jaderné elektrárně Dukovany jsou dva okruhy CCHV označené 0CHV, pro hlavní výrobní blok 1 (HVB1) a 7CHV, pro hlavní výrobní blok 2 (HVB2). Každý z těchto dvou okruhů se skládá:

- 1x Čerpací stanice cirkulační chladicí vody (CČS)
- Soustavy potrubních tras
- 4x Chladicích věží (CHV) se spojovacími kanály

Po průchodu CCHV spotřebiči se jako oteplená (ohřátá o cca 11 °C) zavádí potrubními trasami do chladících věží. Zde se samospádem rozlévá soustavou betonových kanálů, které ji rozvádějí po celé ploše chladící věže až k tryskám. Tryskami je voda rozstřikována a padá v podobě kapek do bazénu, který se nachází pod každou chladící věží. Ochlazená voda je z bazénu čerpána zpět do kondenzátorů (Svetenergie.cz, 2020).

Obrázek 1. Chladicí věže HVB I (CHV 1 až 4) (Kolektiv autorů, 2023)

Každá čtveřice chladicích věží (obrázek 1) je propojena spojovacími kanály a vyspádovaným kanálem odtéká do vtokového objektu Čerpací stanice cirkulační chladicí vody. Protože ve chladicích věžích dochází k odvodu tepla do atmosféry mimo jiné i částečným odparem, cirkulační chladicí voda má tendenci se zahušťovat (zvyšuje se koncentrace solí ve vodě). Aby byl zachován pokud možno stabilní chemický režim, je nutné část chladících vod odpouštět - tzv. odluhovat - a na druhé straně doplňovat o ztráty. Odluh se odvádí do kanalizace. Ztráty chladících okruhů jsou dány hlavně odparem a úletem na chladících věžích. Doplňování okruhu se provádí oteplenou chladicí vodou z okruhů TVD a TVN. Schéma proudění chladící vody je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2. Cirkulační chladící a technická voda pro HVB1 (Kolektiv autorů, 2023)

Vstupní vodou do JE Dukovany je povrchová voda z nádrže Mohelno. Hlavní účel použití odebrané povrchové (surové) vody je doplňování ztrát chladících okruhů a výroba demineralizované vody.

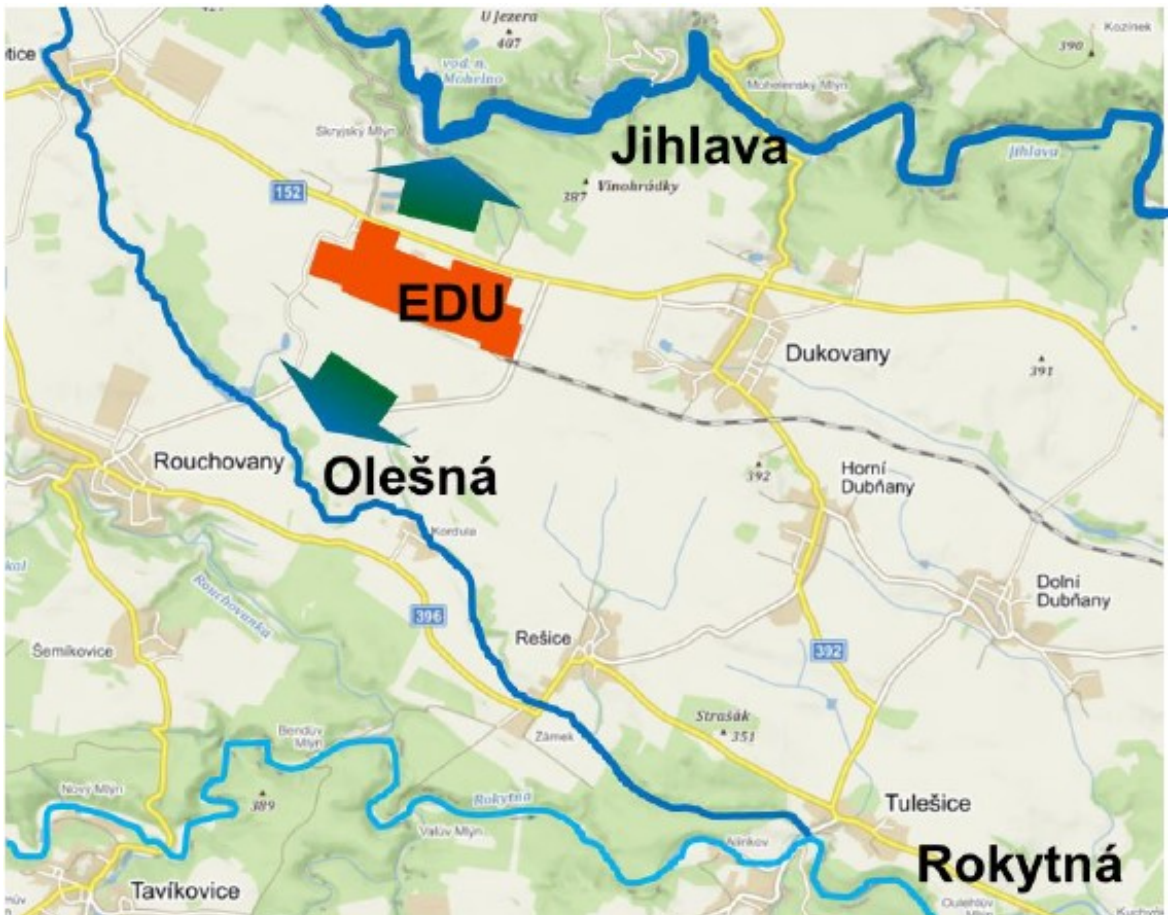
Odpadní voda z JE Dukovany (výpust) se vypouští výsledným sběračem do záchytné nádrže (retenční nádrž 3) na Skryjském potoce, který je zaústěn do nádrže Mohelno cca 50 metrů od čerpací stanice (ČS) Mohelno. Složení výpusti je 90 % odluh z chladících věží a 10 % je

tvořeno odpadní vodou z ČOV, dešťové kanalizace a průmyslové kanalizace. (Kolektiv autorů, 2023)

1.1.2 Hydrologické poměry JE Dukovany

JE Dukovany a její okolí je odvodňována dvěma toky – řekou Jihlavou a Rokytnou. Rozvodí mezi jejich povodími se nachází napříč areálem elektrárny a táhne se od severozápadu na jihovýchod. Řeka Rokytná se pak u obce Ivančice stává pravostranným přítokem řeky Jihlavy. Jihlava dále teče do Novomlýnských nádrží, odkud její vody pokračují korytem řeky Dyje, následně Moravy, Dunaje až ústí do Černého Moře.

V těsné blízkosti elektrárny je na řece Jihlavě postavena přečerpávací elektrárna Dalešice, tvořená vodními nádržemi Dalešice a Mohelno. Z nádrže Mohelno je čerpána voda pro provoz jaderné elektrárny. Do téže nádrže jsou pak vypouštěny i přečištěné odpadní vody (obrázek 3).



Obrázek 3. Rozvodí řek Jihlava a Olešná (Kolektiv autorů, 2023)

1.2 Eliminace růstu řas

Z povrchových vod nádrže Mohelno se jímacími objekty (čerpací stanicí) dostávají do chladících okruhů bakterie, sinice, řasy a další organismy. Rozvoj řas je vázán na stěny a podpěrné betonové sloupy pod chladicími věžemi (obrázek 4), kde mají tyto organismy pro svůj růst velmi příznivé podmínky, jako vysoká vlhkost, teplo a světlo. Omezit rozvoj řas lze provést přímo ošetřením sloupů nebo ošetřením chladící vody.

Obrázek 4. Spodní část chladicí věže (Kolektiv autorů, 2023)

1.2.1 Ošetření sloupů

Bakterie v přírodních populacích mají zřetelnou tendenci přisedat k nejrůznějším povrchům a vytvářet tak přírodní biofilmy. V jedné z prvních definic, používané mezi biology, kteří pracují s přírodními biofilmy, je jako biofilm zpravidla označována "…aktivní biologická vrstva složená z mikroorganismů (bakterií, řas, hub, prvoků, mnohobuněčných) a jejich extracelulárních polymerních produktů, která je přichycena na povrchu nejrůznějších podkladů, které jsou v kontaktu s vodou…" (Rulík, 2011). Biofilm vytváří základ pro další usazování řas a larev bezobratlých.

Možností, jak efektivně omezit rozvoj řas na věžích, je likvidace přírodních biofilmů, které se tvoří na sloupech a stěnách bazénů. Tato strategie může zahrnovat několik metod:

Mechanické čištění

Mechanické čištění povrchu sloupů lze provést kartáčováním nebo pomocí vysokotlakého čističe, často označovaného jako „vapka“. Oproti kartáčování je metoda za použití „vapky“ mnohem účinnější, využívá silný tlak vody k odstranění nečistot, včetně řas, z různých povrchů. Dosáhne se tak nejen odstranění řas, ale částečně také mikroorganismů vytvářející podloží, bez kterého by stélky řas vyrůstat nemohly.

Ošetření nátěrem

Na mechanické čištění navazuje další metoda, kterou je ošetření sloupů a stěn bazénů pomocí dlouhodobých nátěrů. Jedná se o povrchovou úpravu již stávajícího vyzrálého betonu s cílem potlačit růst řas. Ve své diplomové práci (Mohelská, 2006) testovala v reálném provozu chladicích věží Jaderné elektrárny Dukovany povrchové úpravy již stávajícího vyzrálého betonu s cílem potlačit růst řas. Jako povrchové úpravy byly testovány komerčně dostupné i nově vytvořené systémy. Testované systémy byly na bázi portlandského cementu, geopolymerů či tvorbě nerozpustných komplexních sloučenin s obsahem kovového prvku (Zn, Cu).

Testovaný komerčně dostupný ochranný nátěr Antikon je nátěr na bázi cementu s obsahem organického pojiva a dalších přísad. Ve vodohospodářství se používá jako ochrana betonových nádrží a zlepšení vodotěsnosti betonu. Geopolymery jsou materiály připravované z alkalicky aktivovaných cementů bez vápenaté složky. Jsou to syntetické materiály na bázi hlinito-křemičitanů. Mezi významné vlastnosti geopolymerů patří vysoká pevnost v tlaku, odolnost vůči kyselým dešťům, ohni a především i bakteriím. Nátěr na bázi zinku obsahuje komplexní sloučeninu [$3Zn(OH)_2$. $ZnCl_2$]. Uvolňování iontů zinku, které potlačují bakterie a řasy, jsou předpokladem pro zabránění růstu řas těmito materiály. Součástí povrchové vrstvy na bázi mědi je malachit ($CuCO_3$. $Cu(OH)_2$). Stejně jako u materiálů s obsahem zinku, tak i u těchto nátěrů je předpokladem pro zabránění růstu řas uvolňování iontů mědi. (Mohelská, 2006)

Z testovaných vzorků nejlépe vyhovovaly vzorky s povrchem pokrytým malachitem. Jako další vhodná ochrana by mohlo být ošetření nátěrem s vrstvičkou zinku, avšak při přihlédnutí k ekonomické stránce je zinek a jeho sloučeniny příliš nákladný. Použití nátěrových systémů a ošetření povrchu betonových sloupů je vedeno myšlenkou prevence nárostů a tedy dlouhodobější účinností takového zásahu proti masovému rozvoji řas. (Mohelská, 2006)

Zastínění sloupů

Řasy rostou pouze na okrajových sloupech, tedy v místech, kde dopadá sluneční záření. Ve střední části chladících věží se na sloupech téměř žádné řasy nevyskytují. Je to dáno nedostatkem světla, čehož by se dalo využít pro celý systém nosných sloupů. Nabízí se využití tmy jakožto přirozeného inhibitoru růstu stélek zelených řas. Šlo by prakticky o vybudování systému jakýchsi lamel (stínidel) po obvodu věží, které by nenarušovaly přirozený tah vzduchu do věží.

Tento alternativní způsob by vedl k silnému omezení rozvoje řas, avšak s minimálním dopadem na životní prostředí v porovnání s užíváním chemických preparátů. V současné době se však o alternativě se zastíněním sloupů neuvažuje a bylo rozhodnuto, že k potlačení růstu řas se budou používat algicidní přípravky.

1.2.2 Ošetření vody

Mnoho společností se zaměřuje na boj proti nežádoucím autotrofním organismům, jako jsou řasy, sinice a vyšší rostliny. Jejich cílem je vytvářet produkty, které by tyto organismy účinně likvidovaly. Aktuálně jsou na trhu k dispozici stovky účinných algicidních a herbicidních přípravků.

Herbicidy ničí rostliny, používají se v zemědělství, ale i dalších oborech, například pro odstranění nežádoucích plevelů v rámci dopravních tras nebo městské údržby.

Algicidy ničí řasy a používají se k hubení řas v bazénech, rybnících, jezerech a dalších vodních nádržích.

Hlavní strategie pro omezení růstu autotrofů zahrnují omezení fotosyntetických procesů, rozbití buněk a v případě enzymatických přípravků také omezení větvení stélek.

1.3 Algicidní přípravky

I když algicidní přípravky jsou látky proti omezení rozvoje řas, jejich původním účelem mohlo být u některých omezení rozvoje jiných organismům (např. vyšších rostlin či hub).

Příkladem mohou být anorganické algicidní látky:

- síran měďnatý ($CuSO_4 . 5 H_2O$)
- sloučeniny hliníku ($Al_2(SO_4)_3 . 14 H_2O$)
- hydroxid vápenatý ($Ca(OH)_2$)
- manganistan draselný ($KMnO_4$)
- chlornan sodný ($NaClO$)

- chlorid železitý ($FeCl_3$)
- síran železitý ($Fe_2(SO_4)_3$) atd.

Tyto chemické látky nebo jejich produkty však mají i škodlivé účinky, především jsou toxické pro další vodní organismy. Bývají také kumulovány buňkami řas či rostlin a dlouhodobě tak přetrvávají v daném prostředí.

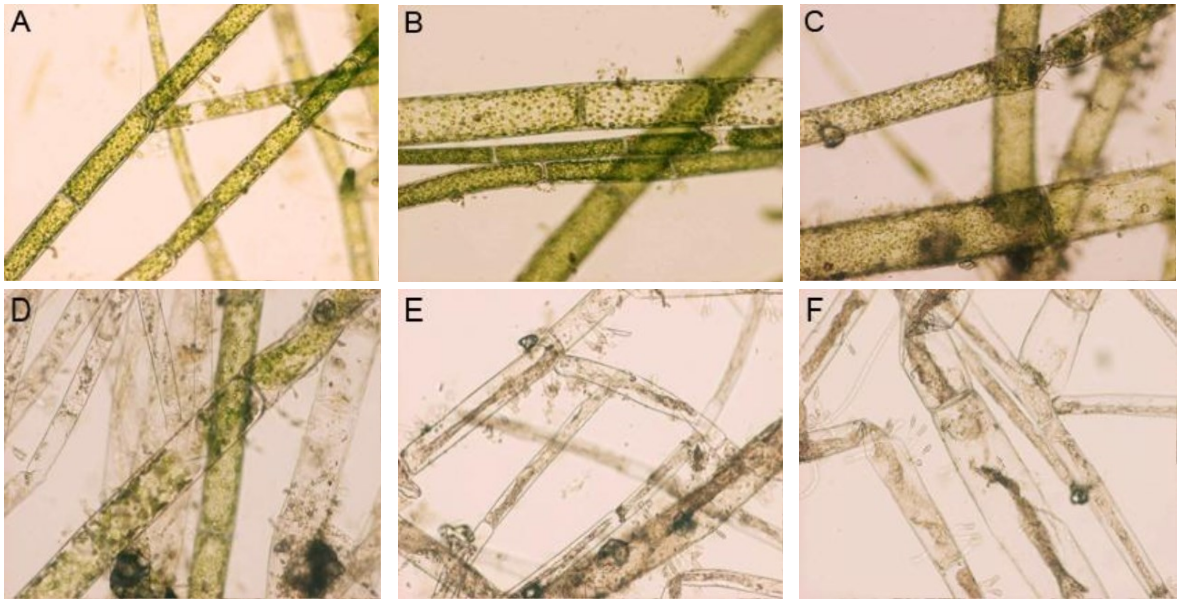
Poslední dobou je významná část trhu ve znamení nástupu široké škály biodegradabilních přípravků, které minimalizují negativní dopad na životní prostředí. K těmto preparátům pro rychlé odstranění řas patří např. přípravky Algiflash a Algipropre a enzymatický čistící přípravek Algistop. (G-servis Praha spol. s r.o., 2024)

1.3.1 Experimentální hodnocení algicidních přípravků

Nejen na výše zmíněné algicidní přípravky byl v letech 2003-2005 zaměřen program, jehož cílem bylo najít algicid šetrný k životnímu prostředí, tzn. relativně neškodný pro vodní ekosystémy, a který by odstranil živé biomasy tvořící se v chladicích věžích JE Dukovany. Experimentální hodnocení algicidních přípravků potencionálně využitelných pro aplikace v chladícím okruhu jaderné elektrárny v Dukovanech se provedlo u těchto vybraných látek:

- Algiflash - obsahuje surfaktanty, účinnou látkou je n-alkyl-benzyl-amonium chlorid
- Algistop - směs enzymů a surfaktantů
- Algipropre - obsahuje dimethylaziridin, síran hlinitý, chlorid sodný a potravinářská barviva
- Mexel - vodná emulze alifatických aminů
- Azurin 2000 - pH neutrální algicid na bázi kationaktivního detergentu
- Dilurit 974 - vodný roztok kvartérních amoniových solí
- Polystabil PES - směs na bázi kyseliny peroxyoctové, peroxidu vodíku a kyseliny octové

První fáze pokusů sledovala inhibiční vlastnosti testovaných látek v mikrodestičkových testech s řasami *Pseudokirchneriella subcapitata* a *Scenedesmus quadricauda* a sinicí *Microcystis incerta.* V druhé fázi byla provedena sada testů s vláknitou řasou *Cladophora glomerata*. V obou případech trvala expozice vybraných přípravků 72 hod při teplotě 23 °C. Aby hodnocení odpovídalo podmínkám v chladících věžích JE Dukovany, tak jako médium se využila voda z chladících věží elektrárny. Účinek přípravku Algiflash na stélku řas *Cladophora glomerata* pro testované koncentrace je znázorněn na fotografiích obrázku 5. Algicidní efekty byly detekovatelné od koncentrace 5 - 10 mg/l.



Obrázek 5. Účinek algicidu Algiflash na stélku řas *Cladophora glomerata* (Maršálek, 2005)
A – kontrola, B – 1 mg/l, C – 5 mg/l, D – 10 mg/l, E – 50 mg/l, F – 100 mg/l

Souhrnná tabulka výsledků toxicity algicidů (tabulka 1) prokazuje, že nejúčinnější přípravek pro inhibici vláknité řasy *Cladophora glomerata* v podmínkách chladících věží JE Dukovany je Algiflash. Následovaly jej látky Dilurit a Algistop. Nejméně účinný byl algicid Algipropre.

Tabulka 1. Srovnání přípravků v 72. hodinovém testu (Maršálek, 2005)

PŘÍPRAVEK	**HODNOTA EC_{50} PRO DANÝ ORGANISMUS (mg/l)**			
	Pseudokirchneriella subcapitata	*Scenedesmus quadricauda*	*Microcystis incerta*	*Cladophora glomerata*
Algiflash	**0,48**	**0,55**	2,01	**8,50**
Algistop	2,40	3,26	0,80	15,00
Algipropre	73,92	81,09	80,78	78,00
Mexel	2,02	10,60	1,90	18,80
Dilurit	1,56	1,06	0,52	12,70
Azurin	0,98	2,42	0,62	68,00
Polystabil PES	18,60	14,10	2,42	30,06

Zdrojem srovnání účinků algicidních přípravků je zpráva pro JE Dukovany (Maršálek, 2005).

1.3.2 Algiflash

S cílem zamezit rozvoj vláknitých řas na JE Dukovany bylo provedeno mnoho testů s různými algicidními přípravky, které přímo redukují tvorbu řas a sinic. Důraz byl kladen

nejen na kvalitu eliminace především *Cladophora glomerata*, ale také na neškodnost algicidu na vodní ekosystém recipientu. Po řadě pokusů byl jako nejvhodnější algicidní přípravek vyhodnocen Algiflash.

Algiflash byl vyvinut jako přípravek odstraňující přisedlé řasy. Je ideální pro použití v nádržích, otevřených technologických systémech a speciálních vodních obvodech. Tento přípravek odstraňuje řasy, které se mohou vyskytovat ve vznosu nebo přisedlé na stěnách. Algiflash také zabraňuje zarůstání a korozi rozvodů. (G-servis Praha spol. s r.o., 2024)

Podle údajů na Bezpečnostním listu je Algiflash kapalina bělavé barvy, výrobcem je firma ACTALYS (Francie), dodavatelem firma G-servis (Praha). Účinná látka přípravku Algiflash je jednou z nejčastěji používaných kvartérních amoniových sloučenin (QAC) (Sütterlin, 2008a). Skládá se ze směsi alkylbenzyl dimethyl amoniových chloridů s alkylovými skupinami C8 až C18 (nejčastěji se vyskytují C12, C14 a C16) (Prince, 1999); (Zhang, 2011), více je tato směs známá pod názvem benzalkonium chlorid, zkratka BAC.

BAC patří k nejčastěji uváděným dezinfekčním prostředkům na světě. Několik autorů uvádí jeho výskyt v odpadních vodách v koncentracích od 1,1 do 36,6 µg/l. V odpadní vodě z nemocničního provozu a potravinářského průmyslu se koncentrace BAC může pohybovat mezi 0,9 µg/l až 6 mg/l (Kümmerer, 1997); (Ferrer, 2001); (Ding, 2001); (Martínez-Carballo, 2007a); (Clara, 2007). Mnohé dezinfekční prostředky mají přímý toxický účinek na vodní organismy. QAC obecně jsou toxické pro mnoho vodních organismů včetně ryb, dafnií, řas, bakterií a vířníků (Zhang, 2015); (Dann, 2011); (Sütterlin, 2008b).

Biologická rozložitelnost (biodegradabilita) je schopností materiálů podléhat biologické přeměně na jednodušší sloučeniny vlivem mikroorganismů či jiných organismů. Hodnocení stupně biologické rozložitelnosti materiálů se provádí příslušnými testy, při kterých je obvykle v aerobním prostředí měřena spotřeba kyslíku bakteriemi při biologickém rozkladu vloženého vzorku.

V roce 2018 byl publikován článek (Fortunato, 2018), zaměřený na biologickou rozložitelnost dezinfekčních prostředků v povrchových vodách z Buenos Aires a na izolaci bakteriálního kmene schopného rozkládat a detoxikovat jeden z těchto dezinfekčních prostředků, a to právě benzalkonium chlorid (BAC).

V okolí Buenos Aires byla odebrána povrchová voda z 18 odběrných míst městské oblasti za účelem zkoumání biologické rozložitelnosti dezinfekčních prostředků chlorhexidinu

(CH), triklosanu (TC) a benzalkonium chloridu (BAC) a s cílem izolovat příslušné mikroorganismy, které se na biodegradaci podílely.

Testování biologické rozložitelnosti vzorků spočívalo v doplnění vždy jednoho ze tří dezinfekčních prostředků (o koncentraci 20 mg/l) do každého vzorku vody s následnou inkubací po dobu 10 dní při teplotě 20 °C v respirometru. Vzorky byly po celou dobu inkubace promíchávány a probíhalo kontinuální měření spotřeby kyslíku. Vzorky s významně vyšší hodnotou spotřeby kyslíku než kontrolní vzorky (povrchová voda bez dezinfekčního prostředku) byly vybrány pro testování přítomnosti rozkladných bakterií. Současně probíhaly testy toxicity vod, které byly prováděny s využitím testovacích organismů *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Vibrio fischeri* a *Lactuca sativa.*

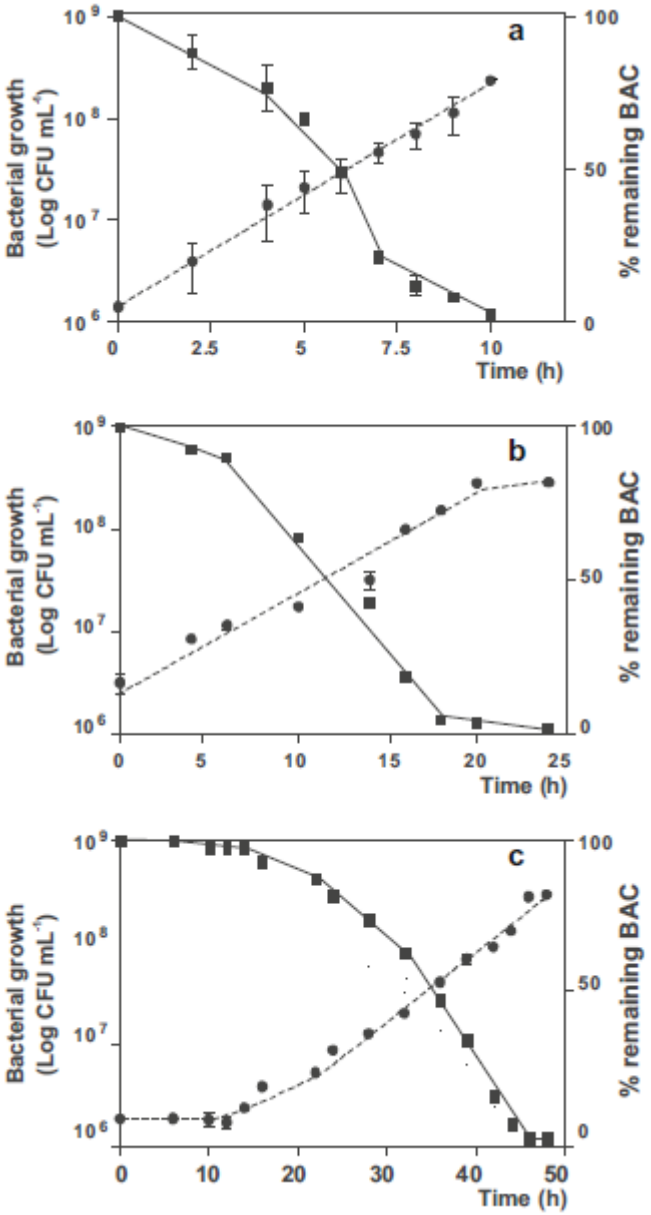
Výsledky ukázaly, že v testech biologické rozložitelnosti vzorků s BAC 14 vzorků z 18 vykázalo významně vyšší hodnoty spotřeby kyslíku než kontrolní vzorky, a tedy těchto 14 vzorků obsahovalo mikroorganismy schopné rozkladu BAC. Z jednoho ze vzorků (odběrné místo Punta Lara) byl izolován a následně i identifikován zodpovědný mikrobiální kmen, patřící ke gramnegativním bakteriím. Tento kmen byl s pravděpodobností 99,6 % identifikován jako zástupce rodu *Pseudomonas.*

S tímto původním kmenem byly provedeny biodegradační testy BAC, s počátečním inokulem o hustotě buněk 1.10^6/ml. Původní kmen *Pseudomonas* byl schopen degradovat 100 mg/l za 10 hod. Když byla počáteční koncentrace zvýšena na 200 mg/l, proces trval 25 hod. Při počáteční koncentraci 500 mg/l došlo k degradaci kmenem *Pseudomonas* za 46 hod s účinností 98,0 % (obrázek 6).

počáteční koncentrace BAC 100 mg/l

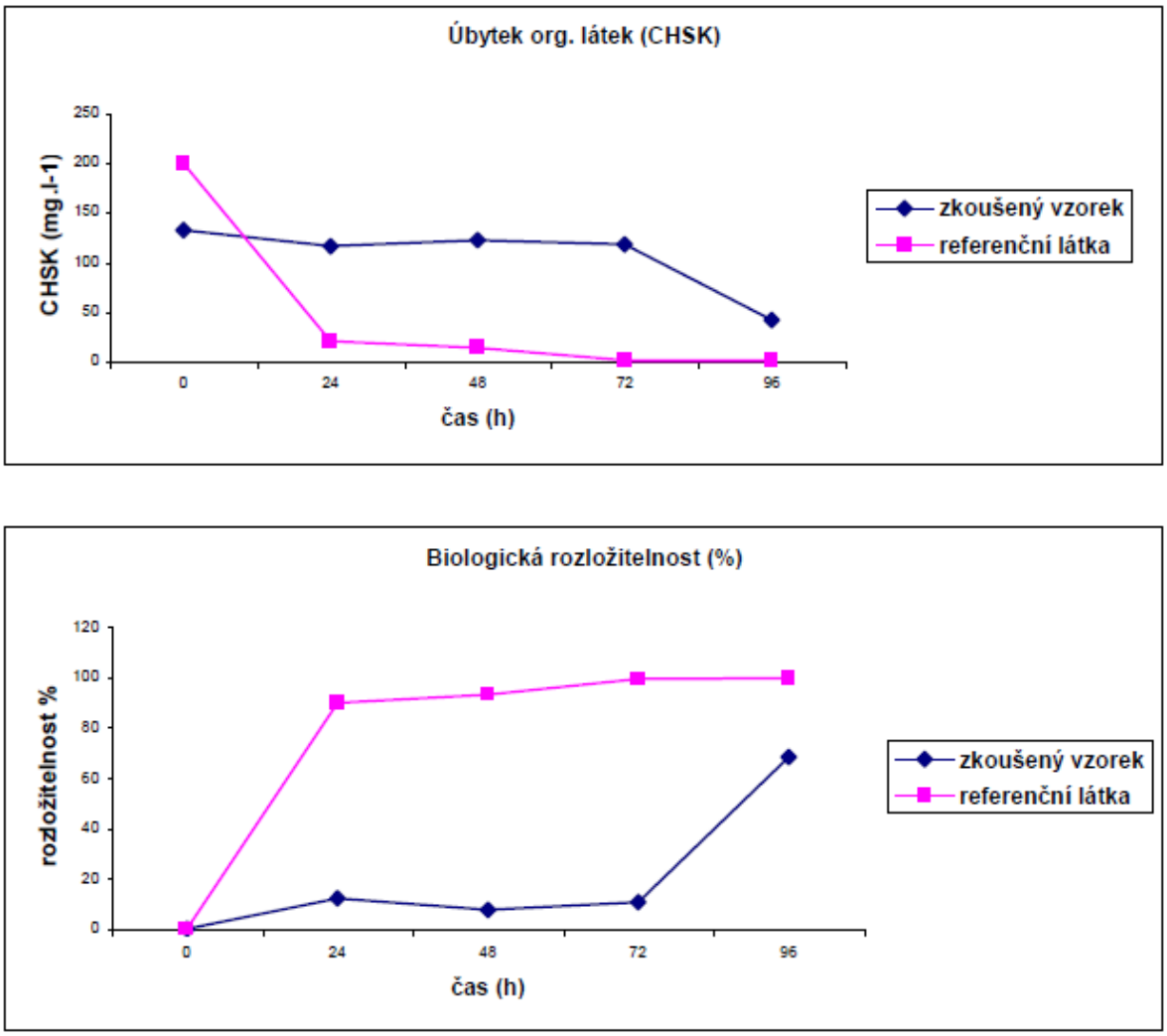
počáteční koncentrace BAC 200 mg/l

počáteční koncentrace BAC 500 mg/l



Obrázek 6. Degradace BAC kmenem *Pseudomonas* sp. ve vsádkovém reaktoru (Fortunato, 2018)

Biologickou rozložitelnost přípravku Algiflash (ředěného 5000krát) hodnotila laboratoř CETA, která je součástí Výzkumného ústavu organických syntéz v Pardubicích, akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025. Laboratoř provedla jednorázový kinetický test za aerobních podmínek ve vodním prostředí. Referenční látkou ke zkoušenému algicidu byl roztok octanu sodného (CH_3COONa). Z testu se vyhodnocoval úbytek chemické spotřeby kyslíku (CHSK) v závislosti na době pokusu. Ze získaných hodnot se získaly křivky (obrázek 7) popisující celkový rozklad a maximální stupeň rozkladu.



Obrázek 7. Průběh testů pro stanovení biodegradace Algiflash (Protokol CETA, 2004)

Výsledkem bylo, že při biologickém rozkladu přípravku Algiflash dosáhl po 96 h zkoušky úbytek CHSK hodnoty 68 %, což značí, že Algiflash je po příslušném zředění snadno biologicky rozložitelnou látkou (Protokol CETA, 2004).

1.3.3 Toxicita

Toxicitou je představován účinek přírodních i cizorodých látek na vodní i jiná společenstva organismů (rostlin, živočichů i mikroorganismů). Toxické látky mohou v buď v určité míře brzdit životní pochody organismů, nebo je přímo usmrcují. Toxicita látek, přípravků a odpadů (např. odpadních vod) je ovlivněna jejich rozpustností ve vodě, pH, chemickým složením, citlivostí vodních organismů (např. ryb) a v neposlední řadě i charakterem vodního prostředí.

Podle rychlosti působení látek na organismy rozlišujeme akutní a chronickou toxicitu. Při akutní toxicitě je ovlivněn přímo jí vystavený organismus a jedovatý účinek se projevuje

velmi rychle, řádově po několika hodinách i minutách. U chronické toxicity se její projevy zjišťují až na dalších vývojových generacích a účinek se projeví po týdnech, měsících. Vodohospodářská toxikologie se zabývá hlavně akutní toxicitou, založenou na testech akutní toxicity (Říhová Ambrožová, 2003).

Testy toxicity na organismech vodního prostředí mají svou nezastupitelnou úlohu při hodnocení nově vyvinutých a do praxe zaváděných chemických látek a přípravků včetně pesticidů. Snahou ekotoxikologů je hodnotit potenciální nebezpečí pro vodní ekosystémy jako celek (Svobodová, 2010).

Podstatou testů toxicity je zjištění střední účinné (efektivní) koncentrace EC_{50}, popř. IC_{50} (inhibiční koncentrace), nebo zjištění střední letální koncentrace LC50, které představují koncentrace zkoušené látky mající za následek 50 % snížení růstu nebo rychlosti ve vztahu ke kontrolnímu vzorku nebo 50 % úhyn (Říhová Ambrožová, 2003).

Základem standardních testů akutní toxicity je příprava vodného výluhu odpadu (toxické látky), která je upravená živnými roztoky solí. Důvodem úpravy vodného výluhu je zamezení negativního působení nízkého osmotického tlaku na testovací organismy, popř. nedostatek živin. Další podmínkou k provedení testů toxicity je mít k dispozici chovy testovacích organismů a také vhodné (nejlépe sterilní) laboratorní prostředí s vybavením.

K hodnocení ekologického rizika chemických látek a přípravků včetně pesticidních látek jsou legislativně vyžadovány výsledky testů akutní toxicity na řasách, dafniích a na rybách (Říhová Ambrožová, 2003).

U testů akutní toxicity na řasách je testovacím organismem některá z planktonních sladkovodních řas (*Desmodesmus* sp., *Raphidocelis subcapitata*, *Chlorella* sp. aj.). Standardizováno je složení kultivačního média, teplota roztoku a světelný režim. Měří se růstová křivka. Množství biomasy se hodnotí buď přímo (počítání buněk, gravimetricky), nebo nepřímo (stanovení množství chlorofylu, spektrometrie aj.). Výsledky se často vyjadřují jako inhibice růstu (v porovnání s kontrolou). Řasové testy se provádějí i v mikroprovedení v mikrotitračních serologických destičkách (Anděl, 2011).

Testy na perloočkách patří k nejrozšířenějším testům toxicity. Používají se druhy hrotnatka velká (*Daphnia magna*), hrotnatka obecná (*Daphnia pulex*) aj. Při testu akutní toxicity (24 - 48 hodin) se hodnotí počet nepohyblivých (imobilizovaných) perlooček. Při testu chronické toxicity (21 dní) se hodnotí reprodukční cyklus (celková natalita) (Anděl, 2011).

Ryby jsou dominantní skupinou pro hodnocení ekotoxicity vodního prostředí. Existuje široké spektrum testů na akutní toxicitu, chronickou toxicitu, embryotoxicitu, karcinogenitu aj. Podle účelu testu se vybírají určité druhy ryb. Akvarijní ryby se používají pro základní testování látek, pro podrobnější testy pak ryby hospodářsky významné. Provádějí se testy nejen na rybách, ale i na oplodněných jikrách, kde se sledují parametry vývoje embrya (Anděl, 2011). U testů akutní toxicity na rybách se ryby vystaví po dobu 48 hodin účinku různých koncentrací testované látky, současně se nasadí ryby do vody bez testovací látky (kontrola). Průběhy testů se porovnávají (Svobodová, 2010).

Toxicita koncentrační řady přípravku Algiflash

V roce 2004 byly realizovány experimenty s různými dávkami Algiflash a testován byl toxický efekt na korýše *Daphnia magna*, kteří jsou 10-15x citlivější k tomuto přípravku než ryby (Maršálek, 2004a). V tabulce 2 a 3 jsou výsledky toxicity koncentrační řady přípravku Algiflash v laboratorních podmínkách pro *Daphnia magna* v prolongovaném testu s přírodní vodou nádrže Mohelno. V testech byl sledován procentuální podíl uhynulých jedinců (mortalita) a narozených jedinců (natalita) ze všech jedinců vložených do testu.

Tabulka 2. Mortalita *Daphnia magna* koncentrační řady Algiflash (Maršálek, 2004a)

	MORTALITA (%)			
doba expozice	*2 mg/l*	***4 mg/l***	*8 mg/l*	*12 mg/l*
48 h (2 dny)	5,3	**6,1**	35,7	75,3
96 h (4 dny)	8,7	**11,3**	59,3	100
168 h (7 dnů)	10,1	**18,5**	78,1	100

Tabulka 3. Natalita *Daphnia magna* koncentrační řady Algiflash (Maršálek, 2004a)

	NATALITA (%)			
doba expozice	*2 mg/l*	***4 mg/l***	*8 mg/l*	*12 mg/l*
48 h (2 dny)	0	**0**	0	0
96 h (4 dny)	0	**0**	0	0
168 h (7 dnů)	13	**11**	6	0

Koncentrace 12 mg/l byla již letální. V koncentraci 8 mg/l byla mortalita kolem 60 % po 4 dnech, po 7 dnech mortalita narostla o dalších 18 %, přesto již byla zaznamenána malá míra mladých jedinců, i když s nejasností, zda budou tito jedinci přežívat. Při koncentraci 4 mg/l se počet mladých jedinců již zdvojnásobil, což naznačuje, že se populace začala obnovovat

přirozenou reprodukcí. Lze tedy konstatovat, že od koncentrace 4 mg/l a nižší je testovaný přípravek bezpečný jak pro přežití, tak pro rozmnožování korýšů, jelikož pátý den dosahují pohlavní dospělosti, což se projevuje výskytem mláďat (Maršálek, 2004a).

1.4 Sledované skupiny mikroorganismů

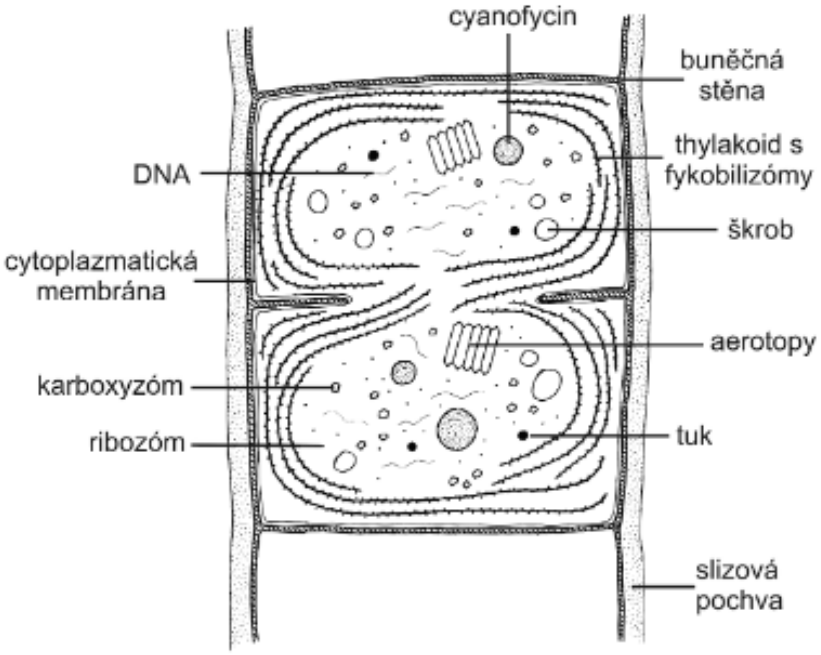
V dalších částech jsou uvedeni nejvýznamnější zástupci organismů, patřících do skupiny sinic a řas. Některé z těchto organismů jsou sledovány pro posouzení dopadu použití algicidního přípravku na ekosystém řeky Jihlavy a chladících okruhů Jaderné elektrárny Dukovany.

1.4.1 Sinice – *Cyanobacteria*

Sinice žijí téměř všude – ve sladkovodním i mořském planktonu, v osvětlených nárostech, na povrchu půdy, na smáčených stěnách. Sinice jsou zpravidla velmi drobné a velmi jednoduché autotrofní prokaryotické organismy s fotosyntézou rostlinného typu, provázenou produkcí kyslíku. Jsou evolučně nesmírně staré, díky nejrůznějším mechanizmům, prověřeným miliardami let, jsou schopné žít téměř ve všech biotopech na Zemi. V současné době je celosvětově popsáno asi 400 rodů se zhruba 4000 druhy, asi 500 z nich žije u nás. Odhady mluví až o 8000 existujících druzích, studie používající matematické modelování odhaduje počet sinic na 6280 (NABOUT, 2013).

Stavba buněk

Sinice nemají buněčné jádro ani buněčné organely. Cytoplazma obsahuje kruhovou DNA, ribozomy a další buněčné struktury (Obrázek 8). Nejnápadnějším útvarem uvnitř buňky sinice jsou thylakoidy, váčky s fotosyntetickým aparátem, ve kterém jsou obsaženy pigmenty chlorofyl *a*, karoteny, xanthofyly a fykobiliny, propůjčující sinicím modrozelené nebo žlutozelené zbarvení. Zásobní látkou je sinicový škrob (Jankovský, 1997). Četné planktonní sinice, zejména ty, které tvoří vodní květ, obsahují v cytoplazmě plynové měchýřky, zpravidla agregované do tzv. aerotopů. Plynové měchýřky snižují specifickou hmotnost buněk a umožňují vznášení ve vodě (Kalina, 2005).



Obrázek 8. *Cyanobacteria* – stavba buňky (Kaštovský, 2018)

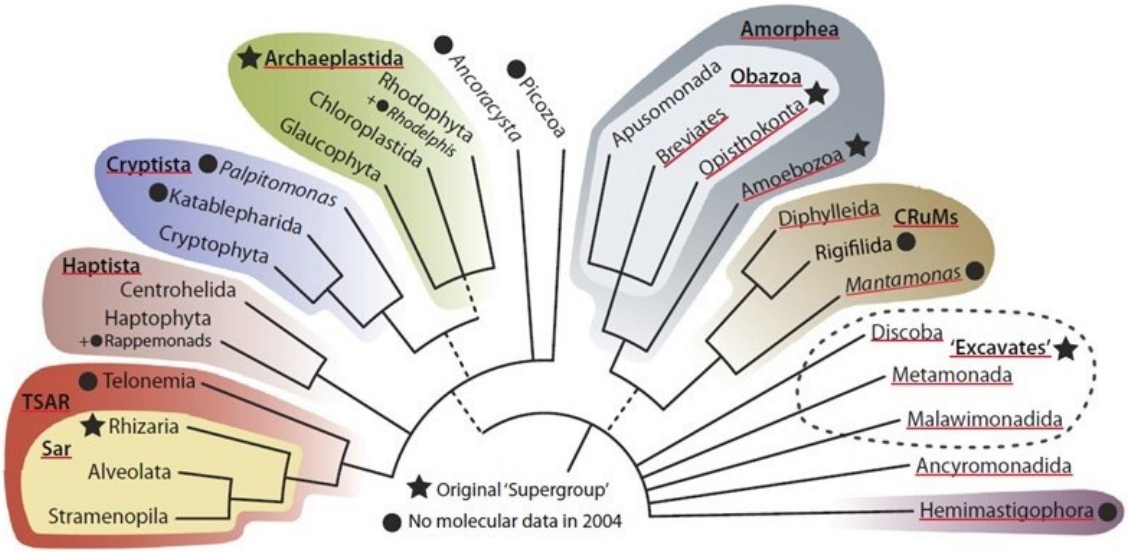
Toxiny sinic, označované jako tzv. cyanotoxiny, jsou produkty sekundárního metabolismu, nejsou organismem přímo využívány pro zabezpečení primárních funkcí. Z buněk sinic se cyanotoxiny dostávají při poškození, rozkladem bakteriemi, po použití algicidních preparátů a při lyzi buněk (Maršálek, 2000).

Toxicita cyanotoxinů se projevuje zejména u teplokrevných obratlovců. Nebezpečí spočívá v jejich různých účincích v případě velké biomasy sinic. Ryby a jiní živočichové se mohou dusit např. nedostatkem kyslíku (když sinice v noci kyslík spotřebují nebo když se při jejich masovém odumírání na konci vegetační sezóny spotřebovává kyslík při jejich bakteriálním rozkladu). Při silné fotosyntéze dochází rovněž (díku uhličitanové rovnováze) k posunu pH do silně alkalické oblasti a při pH kolem 10 se z bahnitých sedimentů uvolňuje čpavek, který je pro ryby toxický (Kaštovský, 2018).

1.4.2 Řasy – *Algae*

Pod pojmem „řasy“ jsou z praktického hlediska rozuměny morfologicky velmi různorodé, jak jednobuněčné a vícebuněčné, tak mnohobuněčné eukaryotické organismy, které jsou fototrofní. Biologicky jde však o zástupce velmi odlišných evolučních skupin eukaryot a pro mnohé z nich už není příliš vhodné pojem „řasy“ použít. Taxonomický systém eukaryotických organismů, jehož cílem je uspořádání organismů dle jejich vzájemné evoluční příbuznosti, podléhá neustálému upřesňování; v posledních letech se však

prosazuje rozdělení eukaryot do tzv. superskupin, tj. velkých, evolučně významných skupin organismů. O biologické rozmanitosti „řas“ tak svědčí nejen níže popsané významné vlastnosti jednotlivých skupin fototrofních eukaryot, ale i jejich zařazení do superskupin. Pro názvosloví superskupin níže byla použita novější přehledová literatura, z níž bylo v obrázku 9 převzato i schéma stromu eukaryot dle Burkiho a kol, 2020.



Obrázek 9. Přehled superskupin eukaryot (Burki, 2020)

Vlastnosti skupin „řas“, patřících do superskupiny SAR (TSAR), kladu Stramenopila (= Chromophyta):

Chrysophyceae (Zlativky, golden algae)

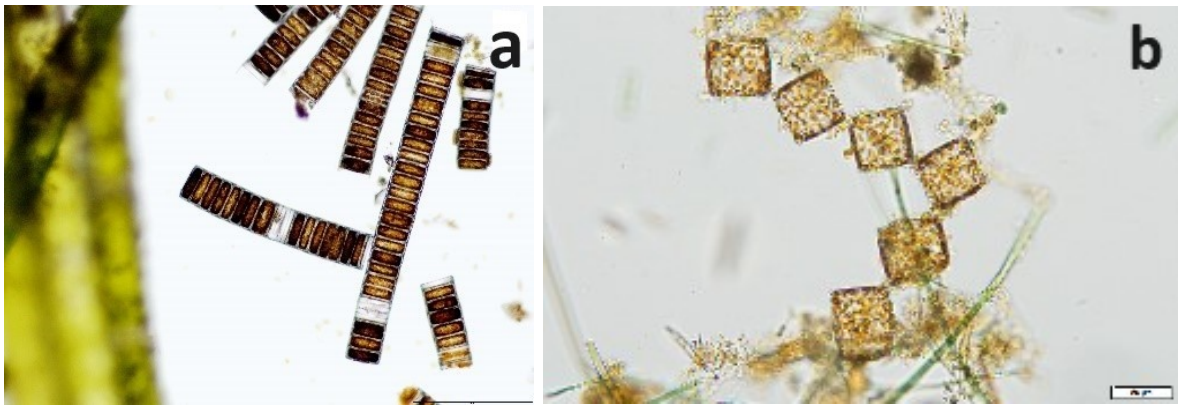
Zlativky jsou převážně jednobuněčné organismy s mixotrofním způsobem výživy. Tělo mají kryté schránkou, v cytoplazmě je přítomen jeden nebo více chloroplastů a u bičíkovců se vyskytuje stigma. Častou složkou fytoplanktonu v našich vodách jsou rody *Chrysococcus, Dinobryon, Synura, Mallomonas, Uroglena*. Přemnožení zlativek ve vodárenských nádržích je provázeno zhoršením kvality upravované vody, zlativky dodávají vodě zápach rybího tuku (Rosypal, 1992) (Kalina, 1994).

Xantophyceae (Žlutozelené řasy, yellow-green algae)

Jedná se o mikroskopické i makroskopické rostliny vznášející se volně ve vodě nebo přichycené k podkladu. Zřídkakdy jsou aktivně pohyblivé dvěma nestejně dlouhými bičíky. Zástupci žlutozelených řas žijí v litorálu studených mělkých vod (Jankovský, 1997).

Bacillariophyceae (Rozsivky, diatomae)

Rozsivky jsou jednobuněčné řasy žijící samostatně nebo v koloniích. Buňka je kryta křemičitou schránkou. Centrické rozsivky mají kruhový tvar s radiální souměrností, penátní rozsivky mají podlouhlý tvar. Rozsivky nemají bičíky, pohyb je umožněn prouděním plazmy ve specializované struktuře stěny, tzv. raphe, prostřednictvím kterého buňka komunikuje s okolním prostředím. Mezi centrické rozsivky patří jednotlivě žijící rody *Cyclotella, Stephanodiscus, Aulacoseira* (Říhová Ambrožová, 2003). V čistých oteplených vodách bohatých na vápník se vyskytuje centrická rozsivka *Ellerbeckia arenaria* (obrázek 10a). Halofilní centrická rozsivka *Pleurosira laevis* (obrázek 10b) obývá sladkovodní, brakické i mořské prostředí (Maršálek, 2018). Mezi penátní rozsivky patří například rody *Tabellaria, Diatoma, Asterionella, Fragilaria, Nitzschia, Meridion, Navicula* (Říhová Ambrožová, 2003).



Obrázek 10. a) *Ellerbeckia arenaria*, b) *Pleurosira laevis* (Maršálek, 2018)

Phaeophyceae (Chaluhy, hnědé řasy, brown algae)

Stélka hnědých řas je vláknitá, některé druhy jsou dlouhé až několik desítek metrů. Až na výjimky žijí chaluhy spíše v chladných vodách moří a oceánů většinou přichyceny v litorální a v sublitorální zóně. Při odlivu jsou porosty hnědých řas obnaženy a proti vyschnutí je brání slizová vrstva. U nás se vyskytuje sladkovodní *Lithoderma fluviatile* tvořící husté hnědé trsovité povlaky na kamenech pramenišť a horských potoků (Jankovský, 1997).

Raphidophyceae (Chloromonády, Chloromonadophyceae)

Chloromonády zahrnují skupinu velkých bičíkovců (50 - 100 μm). V přírodě se vyskytují zřídka v planktonu a litorálu nehnojených rybníků. Častější jsou v rašelinných vodách (Jankovský, 1997).

Eustigmatophyta (malá skupina podobná žlutozeleným řasám)

Tyto jednobuněčné organismy mají malý ekologický význam. U nás žije necelých 20 druhů. Většina zástupců jsou půdní druhy, které se vyskytují sice poměrně běžně, ale nikdy ve větším množství (Kaštovský, 2018).

Vlastnosti skupin „řas", patřících do superskupiny SAR (TSAR), kladu Alveolata:

Dinophyta (Obrněnky, Dinoflagellate)

Skupina převážně mořských bičíkovců se dvěma bičíky a mnohovrstevným buněčným obalem. Fotosyntetické pigmenty jsou chlorofyl *a* a c_2, peridinin, karoten a zásobní látkou je škrob. Buněčný obal je složen z destiček, které spolu vytváří pevný pancíř (Rosypal, 1992) (Kalina, 1994). Setkáváme se u nich s mixotrofní výživou, doplňují si potravu vitamíny nebo lovem bakterií. V našich vodách se vyskytují zejména rody *Peridinium* (pancířnatka), *Ceratium* (růžkatka), a *Gymnodinium* (Říhová Ambrožová, 2003).

Vlastnosti skupin „řas", patřících do superskupiny Haptista:

Haptophyta

Zástupci jsou především bičíkovci, ale také některé kokální a vláknité typy. Povrch buněk je krytý celulózními šupinami, u vápenatých bičíkovců jsou patrny zvápenatělé šupiny (kokolity). Chloroplasty obsahují chlorofyly *a* a *c* a hnědé nebo žluté akcesorické pigmenty. Většina druhů žije v moři a brakické vodě. Především vápenatí bičíkovci jsou podstatnou složkou fytoplanktonu tropických moří (Jankovský, 1997).

Haptofyty jsou považovány za hlavní faktor globální biogeochemie v minulých nejméně 150 milionech let. Je to pravděpodobně jediná skupina řas, která má dlouhotrvající vliv na koloběh uhlíku a síry, a tím ovlivňuje globální klima (Kalina, 2005).

Vlastnosti skupin „řas", patřících do superskupiny Discoba:

Euglenophyta (Krásnoočka, Euglenophyceae)

Krásnoočka jsou jednobuněční volně žijící bičíkovci, aktivně pohybliví jedním nebo dvěma bičíky. Jejich chloroplasty obsahují pigmenty chlorofyl *a* a *b*, karoteny, xantofyly, zásobní látkou je paramylon. Volně v cytoplazmě je uloženo stigma, které není součástí chloroplastů. Typickými zástupci jsou druhy rodu *Euglena* (Říhová Ambrožová, 2003). Krásnoočka jsou nejčastější v eutrofizovaných stojatých vodách, vzácnější jsou v planktonu řek a jezer. V čistých vodách se vyskytují zřídka. Jsou schopné osídlit i velmi znečištěné vodní

ekosystémy, kde jsou důležitou složkou samočistících systémů (Jankovský, 1997). Buňky rozsáhlého rodu *Trachelomonas* žijí v pevných, železem a manganem inkrustovaných schránkách kulovitého nebo oválného tvaru. U mladších buněk je tato schránka nejprve průhledná a nažloutlá, posléze zesiluje a stává se hnědočervenou až hnědou. Otvor, kterým vychází bičík ze schránky, je často lemován různými zuby nebo límci, povrch schránek je někdy pokryt různými bradavicemi a výčnělky. Vyskytují se velmi často, zejména v planktonu stojatých vod (Kaštovský, 2018).

Vlastnosti skupin „řas“, patřících do superskupiny Cryptista:

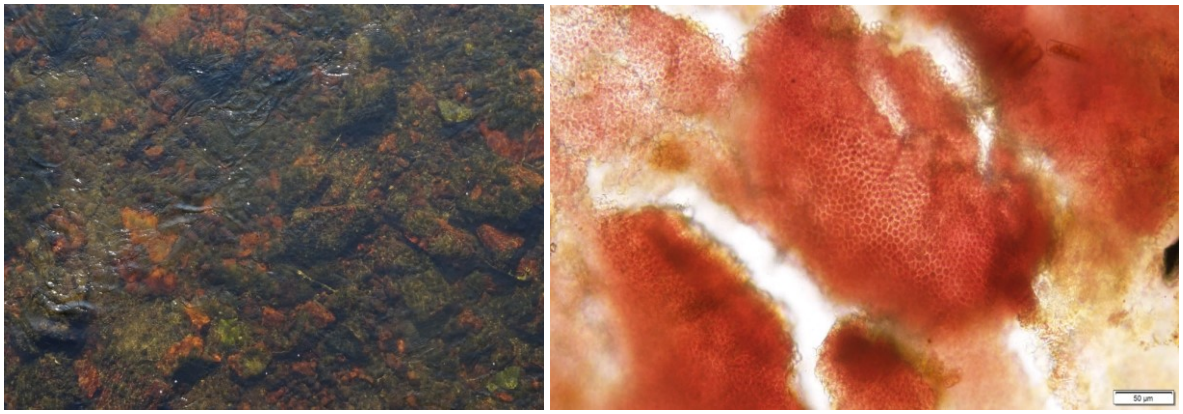
Cryptophyta (Skrytěnky, kryptomonády)

Skupinu tvoří autotrofní i heterotrofní bičíkovci (mají dva nestejně dlouhé bičíky), povrch mají krytý membránou a vespod uloženými destičkami. Na břišní straně je patrný útvar vakovitého tvaru, tzv. jícen. V cytoplazmě mají dva chloroplasty, obsahují pigmenty chlorofyl *a*, chlorofyl *c*, karoteny, zásobní látkou je škrob. Podle barvy chloroplastů se rozlišují rody *Chilomonas* (bezbarvé leukoplasty), *Rhodomonas* (červené chloroplasty), *Chroomonas* (modrozelené), *Cryptomonas* (hnědé). Jsou důležitou potravou zooplanktonu (Říhová Ambrožová, 2003). Vyskytují se ve volné vodě nebo příbřežních vodách, nejhojněji na jaře a na podzim, kdy často tvoří společně s rozsivkami dominantní složku společenstev řas (Jankovský, 1997).

Vlastnosti skupin řas, patřících do superskupiny Archaeplastida:

Rhodophyta (Ruduchy, red algae)

Červené řasy patří k výrazně specifickým a prastarým vývojovým liniím řas. Jsou podobné sinicím, ale liší se eukaryotickou stavbou buňky s chloroplasty a vyspělou organizací stélky. Obsahují pouze chlorofyl *a* a *d*, chlorofyl *b* chybí. Obsahuje i další pigmenty, např. akcesorický pigment fykoerytrin, díky kterému jsou zbarveny červeně (Jankovský, 1997). Jedním z hlavních znaků je absence bičíků v životních cyklech všech známých ruduch (Kalina, 2005). Ruduchy jsou především mořské řasy, pouze asi 200 druhů jsou sladkovodní organismy, které mají navíc značně specifické ekologické nároky na kvalitu okolního prostředí. Silně ohroženým druhem České republiky je *Hildebrandia rivularis* (obrázek 11). V čistých proudících vodách na zastíněných místech vytváří na kamenech červené skvrny (Jankovský, 1997).



Obrázek 11. *Hildebrandia rivularis* - na říčních kamenech; v mikroskopu (Maršálek, 2020)

Dalším sladkovodním zástupcem je rod *Batrachospermum* (žabí sémě obecné), rostoucí v hojném slizu na kamenech v čistých potocích. V horských potocích se vyskytuje rod *Lemanea,* který svým tvarem připomíná pravidelně zaškrcované černozelené žíně (Říhová Ambrožová, 2003).

Chlorophyta (Zelené řasy, green algae)

Prasinophyceae jsou nejprimitivnější zástupci zelených řas. Drobná skupina bičíkovců většinou volně žijící převážně mořští, ale i sladkovodní. Mají různý počet bičíků. Povrch buňky je kryt šupinami, thekou podobnou chlamys (viz níže), nebo jsou nahé. Mnoho druhů má jako hlavní přídatný pigment specifický xanthofyl prasinoxantin (Kaštovský, 2018).

Chlorophyceae jsou velice širokou skupinou zelených řas bičíkatých, kokálních, vláknitých žijící jednotlivě nebo tvořící kolonie (tj. soubor buněk několika generací spojených většinou slizem) či cenobia (tj. buňky patřící jedné generaci) (Kalina, 1994). Žijí ve stojatých a mírně tekoucích sladkých vodách, některé i v půdě.

Významným rodem je *Chlorella* (zelenivka), tvořena jednotlivými malými kulovitými buňkami. Patří mezi biotechnologicky významné druhy používané v mnoha průmyslových odvětvích. *Scenedesmus* (řetízkovka) má kolonie složené nejčastěji ze 4 – 8 buněk uspořádaných v jedné nebo ve dvou řadách. *Pediastrum* je význačné tvorbou hvězdicovitých cenobií nesoucí na svých okrajích ostny. V rybnících je běžný rod *Oocystis* (vejcovka), *Tetraedron* (čtyřstěnka), *Crucigenia, Coelastrum.* (Kalina, 2005)

Vláknité druhy zelených řas jsou představovány rody *Microspora*, *Ulothrix* (kadeřnatka), *Cladophora* (žabí vlas) (Říhová Ambrožová, 2003). *Microspora* je často nacházený rod hlavně v čistších a chladných vodách. *Cladophora* roste ve sladkých, brakických i slaných vodách. Z početných druhů je známých pouze pět sladkovodních. Patří k nim *Cladophora*

glomerata. Podrobnější seznámení s řasou *Cladophora glomerata* proběhne v následující kapitole.

Rod *Chlamydophyceae* (Chlamydomonády) jsou bičíkovci (samostatně žijící i koloniální) se specifickou buněčnou stěnou (chlamys). Chloroplasty obsahují pigmenty chlorofyl *a*, chlorofyl *b*, karoteny, xantofyly, zásobní látkou je škrob. Hlavním zástupcem je rod *Chlamydomonas* (pláštěnka) běžný bičíkovec stojatých a pomalu tekoucích vod, který může způsobovat zelené vegetační zabarvení (Říhová Ambrožová, 2003).

Volvox (váleč) představuje nejdokonalejší stavbu cenobia, kde bičíkovci jsou usídleni v šestibokých komůrkách. Nacházíme jej často s vodním květem sinice rodu *Aphanizomenon* (Říhová Ambrožová, 2003). Příslušníci tohoto rodu žijí v různých typech biotopů, zejména ve sladkých vodách.

Conjugatophyceae (řasy spájivé) jsou čistě sladkovodní skupinou vzhledově velmi estetických řas, jednobuněčných nebo vláknitých. V žádné fázi svého životního cyklu netvoří bičíkatá stádia. Mají specifický způsob pohlavního rozmnožování, tzv. konjugaci neboli spájení, odtud jejich český název spájivky. Je jich asi 50 rodů, odhad počtu druhů se podle různých autorů liší, ale pohybuje se od 3000 do 6000, u nás se nachází asi 530 druhů. Převážně žijí v mírně kyselých vodách, např. v odtocích z rašelinišť, lesních tůních atd. (Kaštovský, 2018)

Charophyceae (parožnatky) jsou velmi starou skupinou řas, dnes představují nejvyšší vývojový stupeň zelených řas. Parožnatky jsou makroskopické rostliny vzhledem připomínající přesličky. Rostou přichycené na písčitých a bahnitých dnech litorálu stojatých i mírně tekoucích sladkých vod a na zamokřených loukách. Špatně snáší hnojení. V moři zcela chybí. Typickým zástupcem je rod *Chara* (parožnatka), rostoucí ve stojatých vodách. (Jankovský, 1997)

Výše uvedené zařazení skupin fototrofních organismů do superskupin není zcela definitivní, předpokládá se další upřesňování příbuzenských vztahů mezi některými, zvl. ujasnění příbuznosti Haptista - SAR, nebo Cryptista – Archaeplastida (Burki, 2020).

1.4.3 Cladophora glomerata

Cladophora glomerata je zelená řasa, která patří do třídy *Chlorophyceae.* Je charakteristická svou sifonokladální stélkou, která je vláknitá, rozvětvená sestávající z mnohojaderných buněk. Buněčná stěna této řasy je polysacharidová (zejména celulózní). V důsledku

mnohojadernosti buněk dochází k tvorbě příčných stěn nezávisle na jaderném dělení (Špaček, 1999). Každá buňka obsahuje množství chloroplastů. Ve většině chloroplastů se nachází pyrenoid, na jehož povrchu se vytváří škrob.

Vlákna řasy jsou bohatě větvená a na omak drsná (Kalina, 2005). Délka vláken *Cladophora glomerata* závisí především na prostředí, ve kterém se vyskytuje. V prostředí s rychle tekoucí vodou se jednotlivé části stélky díky proudům oddělují a převažuje zde apikální růst. Naopak ve stojaté a pomalu tekoucí vodě je běžnější interkalární dělení buněk a vznikají tak postranní vlákna.

Cladophora glomerata se rozmnožuje nepohlavně, je ryze diploidním organismem. Dělení buněk nastane po dosažení určitého poměru mezi počtem jader a objemem cytoplazmy. (Kalina, 2005). Během procesu pučení, který se obvykle koncentruje na koncových buňkách stélky, buňky nabývají na velikosti a jejich obsah se mění na dvoubičíkaté zoospory. Po opuštění zoosporangia se tyto zoospory mohou přichytit k vhodnému podkladu a opět vyklíčit v novou rostlinu. Formování zoosporangií je vázáno na období s krátkou světelnou a dlouhou temnou fází (Hoeksema, 1984).

Cladophora glomerata je rostlinou světlomilnou, proto se vyskytuje především v blízkosti vodní hladiny. Nejčastěji roste v eutrofní rychle proudící vodě potoků a řek, ve stojatých vodách se vyskytuje ojediněle. Roste přisedle na kamenech, velice často ji najdeme na betonu či cihlách. K podkladu se přichycuje pomocí větvených vláken (rhizoidů), které vyrůstají z bazální části hlavního vlákna. Pokud je řasa z povrchu podkladu odstraněna a rhizoidy zůstanou, dochází často ke vzniku nově se vyvíjejících stélek řas (Van den Hoek, 1995).

Optimální teplota pro růst stélek se nachází přibližně v rozmezí 15 – 26°C, teploty pod 6°C a nad 30°C jsou pak uváděny jako teploty limitující jejich růst (Whitton, 1970). Avšak (Sládečková, 1968) hovoří o růstu *Cladophora glomerata* i ve vodě užívané k průmyslovému chlazení o teplotě 40°C. *Cladophora* se vyskytuje především v mírně zásadité vodě, optimum se nachází v oblasti pH 7,5 – 8,5. Tvrdost vody zřejmě na omezení rozvoje řasy vliv nemá.

Cladophora glomerata je tedy organismem, jejíž nároky na prostředí jsou téměř identické s bazény chladících systémů JE Dukovany. Podmínky růstu na sloupech chladících věží jsou tak pro řasu velice příznivé. Dokáže se dobře adaptovat, zejména pokud dochází ke změnám vnějších podmínek postupně.

1.4.4 Vodní květ

Pro planktonní druhy je typická schopnost vytvářet při nadbytku živin tzv. vodní květ, často také označovaný anglickou zkratkou HaBs (Harmful Algal Blooms). Takto poeticky je nazýváno intenzivní nahromadění biomasy nejen sinic, ale i některých řas a dalších fotosyntetizujících organismů ve vodách, které je charakteristické zeleným či jiným zbarvením stojatých i některých tekoucích vod. K přemnožení těchto organismů dochází především v důsledku eutrofizace, způsobené zejména nárůstem obsahu dostupného fosforu a dusíku ve vodě. V našich podmínkách se projevuje hlavně v letních obdobích. Společenstva vodních květů sinic tvoří především rody *Microcystis, Anabaena, Aphanizomenon, Planctothrix* a *Oscillatoria.* (Kalina, 2005)

Vodní květ se běžně vyskytuje jak v pobřežních ekosystémech, tak na otevřeném moři, stejně jako v brakických a sladkovodních ekosystémech (Anderson, 2012). HABs jsou také problémem ve vodních nádržích a v odsolovacích zařízeních (Anderson, 2017). Negativně zasahují do ekosystémů, protože přímo ovlivňují přítomnou biotu v důsledku řady mechanismů. Patří mezi ně fyzické poškození, jako je obstrukce žaber u ryb, snížení dostupného kyslíku nebo produkce toxinů (Bower, 1981).

Pro eliminaci vodního květu se používají metody zaměřené na snížení počtu toxických (mikro)organismů nebo odstranění toxinů z vodního sloupce (Sengco, 2009a) Tyto metody jsou fyzikální, chemické nebo biologické povahy a byly použity ve sladkovodních a mořských systémech.

Fyzikální metody jsou stejné pro systémy sladké i mořské vody. V případě sladkých vod, z důvodu jejich následného použití, se dává přednost metodám fyzikálním před chemickými. Mezi příklady fyzikálního ošetření zlepšující kvalitu vody patří horizontální splachování v nádržích, při kterém dochází k promíchávání objemů z horní a dolní vrstvy. Dále míchání nádrží pomocí mechanických čerpadel, hydraulických nebo pneumatických míchadel či použití plovoucích krytů, aby se zabránilo šíření fotosyntetických organismů (Martínez-Carballo, 2007a). Pro systémy úpraven vod, ale ne pro velké vodní plochy, může být vhodná sonifikace (Anderson, 2017). Náklady a dopady na fyzikální metody nebyly zdokumentovány. Jedná se spíše o prevenci než o kontrolní opatření.

Chemické metody se vyznačují použitím algicidních přípravků. Dosud bylo popsáno mnoho účinných algicidů. Aplikace v otevřených systémech (pobřežní oblasti nebo oblasti otevřeného moře) však není preferovanou metodou z důvodu ochrany životního prostředí

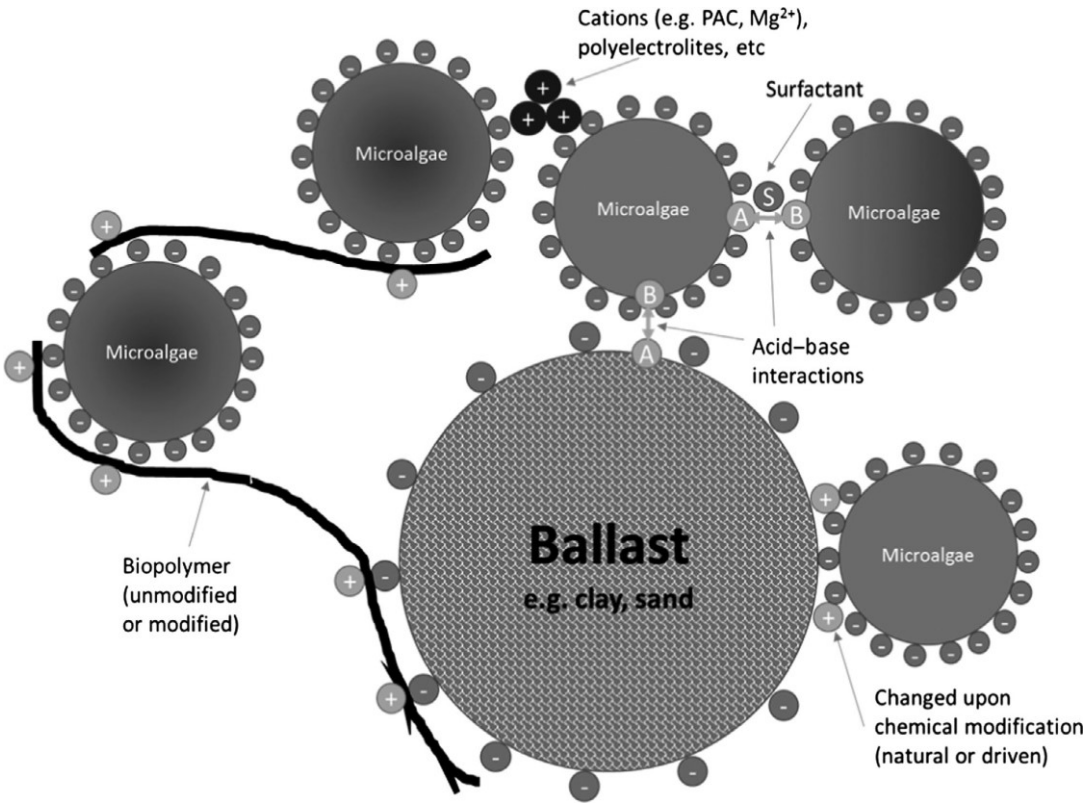
(Sengco, 2009a); (Sengco, 2009b). Jako jediný chemický kontrolní zásah v moři zaznamenaný v literatuře je použití síranu měďnatého v USA (Rounsefell, 1958). V roce 1957 byl tento algicidní prostředek rozptýlen z letadel na vodní květ *Karenia brevis.* Přestože byla metoda dočasně účinná, nezastavila rozvoj květu úplně.

Fyzikálně-chemické metody jsou alternativní metodou spočívající ve vyvolání flokulace a pozdější sedimentaci pomocí flokulačních činidel. Tvorba vloček je daná vzájemnou interakcí dvou povrchů. Mikroorganismy mají obvykle negativně nabitý povrch díky aminovým, karboxylovým a hydroxylovým skupinám. Bylo prokázáno, že negativní povrchový náboj vykazují i sladkovodní a mořské mikrořasy.

Na obrázku 12 jsou ilustrovány procesy flokulace v integrujícím schématu. K odstranění buněk jsou potřebné kroky:

- setkání dvou částic (buňka–buňka; buňka–balast; buňka–biopolymer; buňka–vločka)
- fyzikálně-chemická přitažlivost (podporovaná kationty, acidobazická interakce)
- sedimentace

První krok je často zásadní, protože nízká pravděpodobnost setkání by vedla k nízké účinnosti flokulace.



Obrázek 12. Mechanismy flokulace u mikrořas (Martínez-Carballo, 2007a)

Pro sladkovodní druhy byly testovány konvenční víceúčelové flokulanty a minerální jíly. (Wang, 2012) popsala dvoustupňový postup k odstranění vodního květu způsobeného koloniální sinicí rodu *Microcystis* v terénu, kde byl nejprve přidán H_2O_2 k inaktivaci buněk a poté byl k vločkování a vyvolání sedimentace použit polyželezitý síran (PFS) a sedimenty. O něco lepších výsledků bylo dosaženo použitím minerálních jílů (kaolinit, bentonin), které mají velmi dobrou sorpční schopnost. Proti *Microcystis* spp. byl o něco účinnější bentonit než kaolinit (Verspagen, 2006). V různých pracích stejné série (Pan, 2006a); (Zou, 2006) byly testovány další sorpční materiály (chitosan, sepiolit) s *Microcystis aeruginosa*. Jako nejúčinnější flokulant k *Microcystis aeruginosa* byl vybrán sepiolit (Pan, 2006a).

Pro kontrolu HABs bylo v posledních letech testováno také mnoho biopolymerů, jako je chitosan nebo exopolysacharidy. Různá činidla působící jako flokulační jádro (sedimenty, minerální jíly, popel atd.), doplněná chitosanem, byla skutečně účinná proti sladkovodním sinicím (Zou, 2006); (Pan, 2006a); (Li, 2015); (Wang, 2015); (Yuan, 2016).

Biologická ochrana je považována za cenný nástroj kontroly nežádoucích organismů, a to především díky její šetrnosti k životnímu prostředí. Mikroorganismy zvažované pro biologickou kontrolu HAB zahrnují druhy, které se živí, infikují nebo rozkládají HAB. Mezi doporučené kontrolní metody patří použití predátorů, jako jsou nálevníci nebo mikroskopické řasy (Kamiyama, 2001); (Kamiyama, 2005); (Chang, 2011);(Lim, 2017) a patogenní mikroorganismy.

2 APLIKACE A MONITORING ÚČINKU ALGIFLASH

Chladicí systém Jaderné elektrárny Dukovany využívá neupravenou vodu z nádrže Mohelno. Tato voda obsahuje mnoho organismů, především řasy a sinice. Dominantní složkou zelené biomasy jsou vláknité řasy, které se nevyskytují ve vznosu vodního sloupce chladícího bazénu, ale jsou trvale přisedlé na stěnách bazénů a částí konstrukčních systémů chladících věží. Odsud jsou v živé i odumřelé podobě strhávány padající vodou do bazénů chladících věží. Tyto řasy se následně usazují na sítech (česlech) umístěných na odtoku z bazénů. Takto vzniklé nežádoucí „filtry“ zachycují následně jemnější nepřisedlé řasy a sinice vyskytující se výhradně ve vznosu, čímž dochází ke snižování průtoku chladící vody s možností ovlivnění účinnosti chladicího systému jako technologického celku.

S cílem redukovat rozvoj vláknitých řas je aplikován přípravek Algiflash, který byl po řadě pokusů vyhodnocen jako nejlépe funkčním algicidem proti vláknité řase *Cladophora glomerata*. Ošetřování nosných sloupů chladících věží JE Dukovany probíhá od roku 2004, v souladu s podmínkami uvedenými ve vyjádření vodoprávního úřadu KÚ Vysočina. Zároveň je nastavený kontrolní systém přímo na úrovni celého ekosystému – tedy v recipientu Jihlavě.

2.1 Aplikace Algiflash v JE Dukovany

Algiflash se aplikuje přímým nástřikem zředěného roztoku na krajové sloupy chladících věží systémů 0CHV a 7CHV (4 chladící věže v každém systému), kde dochází k růstu vláknitých řas (obrázek 13 a 14). Tlakovým systémem „vapkou“ (obrázek 15) je aplikováno na sloupy jedné chladící věže 50 l ředěného algicidu (1:4), jehož postupným dalším naředěním cirkulační chladící vodou je získána koncentrace cca 0,4 mg/l algicidu v okruhu dané věže.

Obrázek 13. Řasy přichycené na betonovém sloupu chladící věže (Mohelská, 2006)

Obrázek 14. Řasy přichycené na patce betonového sloupu chladící věže

Frekvence ostřiku sloupů každé chladící věže je po zkušenostech stanovena na 14 dní, jednotlivé věže se však ošetřují v třídenních odstupech (tabulka 4). Čtrnáctidenní frekvence byla již dříve odzkoušena jako vhodná, neboť je při ní stále patrný inhibiční efekt. Při měsíční frekvenci již byl zřetelný nový nárůst vláken řas *Cladophora glomerata,* čímž by už vznikalo nebezpečí iniciace rezistence. K aplikaci přípravku dochází podle klimatických podmínek, především v průběhu vegetačního období duben – říjen.

Tabulka 4. Scénář aplikace Algiflash v chladicích okruzích 0CHV a 7CHV

Pořadový den	**Systém 0CHV** (celkový objem cca 150 000 m^3)	**Systém 7CHV** (celkový objem cca 150 000 m^3)
1.	Věž č. 1 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)	Věž č. 5 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)
4.	Věž č. 2 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)	Věž č. 6 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)
7.	Věž č. 3 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)	Věž č. 7 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)
10.	Věž č. 4 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)	Věž č. 8 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)
14. opakuje se	Věž č. 1 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)	Věž č. 5 – cca 50 l (cca 0,4 mg/l v okruhu)

Po ostřiku betonových sloupů stéká Algiflash po stěnách sloupů do sběrných bazénů chladících věží obsahující chladící vodu. Z bazénu je chladící voda s algicidem čerpána zpět do kondenzátorů. Část objemu chladících vod - odluh (z jednoho okruhu cca 1500 m^3/h) - je však odváděn do kanalizace, kterou se postupně dál ředěný algicidní přípravek dostává až do recipientu.

Obrázek 15. Ostřik sloupů chladící věže

2.2 Monitoring

Souběžně s dávkováním přípravku Algiflash byl spuštěn pravidelný systém monitoringu za účelem detekce vlivu použitého přípravku na ekosystém řeky Jihlavy a chladicí systém. Přehled odběrových profilů povrchových vod určených vodoprávním úřadem KÚ Vysočina, je znázorněn na obrázku 16, lokalizace míst odběru jsou dlouhodobě zachovány (tabulka 5).

Obrázek 16. Přehled odběrových profilů povrchových vod pro monitoring (Mapy.cz, 2024)

Tabulka 5. Lokalizace odběrových profilů povrchových vod (Maršálek, 2019)

profil	označení odběru	charakteristika	lokalizace místa odběru
1	0CHV	chladící voda, řasy	odběr z bazénu chladicí věže 1,2,3,4
2	7CHV	chladící voda, řasy	odběr z bazénu chladicí věže 5,6,7,8
3	Surová voda	vstupní voda	odběr v budově CHÚV
4	Výpust	odpadní voda	odběr pod SOV (nátok do RN3)
5	Vstup VN Mohelno (pod hrází Kramolín)	vodní tok	řeka Jihlava pod nádrží Dalešice
6	Řeka Jihlava (pod hrází VN Mohelno)	vodní tok	řeka Jihlava pod nádrží Mohelno

Četnost vzorkování v průběhu vegetační sezony (duben - říjen) byla vodoprávním úřadem KÚ Vysočina určena na všech vodních profilech s frekvencí 1x měsíčně s cílem sledování:

- kontroly toxikologického vlivu na vodní tok řeky Jihlavy
- hydrobiologické charakteristiky vody

2.2.1 Použité metodiky

Testy toxicity *(v odběrovém profilu 4, 5, 6)*

Pro kontrolu toxikologického vlivu je v případě vodních korýšů aplikován 5 denní test na *Daphnia magna* (oproti klasické dvoudenní variantě je pro zvýšení citlivosti na přítomnost reziduí použit pětidenní test) podle normy ČSN EN ISO 6341 „Kvalita vod – Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea)* – Zkouška akutní toxicity“. Do testu byli nasazováni jedinci mladší 24 hodin, u kterých se předpokládá nejvyšší citlivost vůči toxickým látkám. Během testu nejsou organismy krmeny.

V případě řas je aplikován standardní řasový test toxicity dle ČSN EN ISO 8692 „Kvalita vod – Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas“. Inhibice byla měřena jako snížení specifické růstové rychlosti ve vztahu ke kontrolní kultuře rostoucí za stejných podmínek. Vzorky byly inkubovány po dobu 72 hodin.

Fytoplankton *(v odběrovém profilu 3, 4, 5, 6)*

Mikroskopický rozbor fytoplanktonu obsahující kvalitativní i kvantitativní (počet buněk/ml) analýzy je prováděn podle ČSN 75 7712 a 75 7716 pro biologický rozbor vzorků povrchové

vody. K zahuštění vzorků pro kvantitativní analýzu byla použita centrifugace. Počítání bylo prováděno v komůrce Cyrus I.

Nárosty zelených vláknitých řas z chladících věží EDU *(v odběrovém profilu 1, 2)*

Nárosty zelených vláknitých řas z chladících věží jsou zhodnoceny makro- i mikroskopicky.

Fytobentos *(v odběrovém profilu 4, 5, 6)*

Vzorky fytobentosu byly zpracovány tzv. prescreeningem - analýza v živém stavu s odhadem procentuálního zastoupení biomasy jednotlivých taxonomických skupin (sinice, rozsivky, zelené řasy, ruduchy). Nárostová společenstva fytobentosu reprezentují sledovaná stanoviště podstatně lépe, protože jsou realizovány ze stěrů pevných substrátů sledované lokality, na rozdíl od fytoplanktonu, který je nedefinovaně unášen.

Dále pak bylo v rámci monitoringu uloženo sledovat výskyt ruduchy *Hildebrandia rivularis*, a to nejenom v mikroskopických vzorcích fytobentosu, ale především makroskopickým pozorováním při brodění ve vodním toku a prohlídkou většího úseku řeky Jihlavy.

Rovněž byla věnována pozornost výskytu rozsivky *Pleurosira laevis*, která se běžně v České republice nevyskytuje. *Pleurosira laevis* je slanomilnou rozsivkou, která byla v roce 2009 poprvé detekována v chladících okruzích 0CHV, 7CHV a ve výpusti. Vrcholu dosáhla v roce 2011, přičemž v roce 2012 se již dále nerozšiřovala a od roku 2013 ustupuje, takže její rozšíření dle aktuálních výsledků nehrozí. V každém případě je však vhodné provádět její monitoring. (Maršálek, 2014)

2.3 Výsledky ekotoxikologických biotestů a hydrobiologické hodnocení

V této bakalářské práci je zhodnocen vliv přípravku Algiflash na vodní tok Jihlava zpracováním výsledků testů toxicity na prolongovaný test *Daphnia magna* a řasový test na sladkovodní řasu *Pseudokirchneriela subcapitata*. Ekotoxikologické biotesty ve složení řasa a korýš jsou nejcitlivějším detekčním systémem pro tento typ algicidu, a to jak v původní formulaci, tak v produktech degradace (Maršálek, 2010). Výsledné hodnoty toxikologických testů vychází z ročních zpráv „Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladicích věžích EDU“ za období 2019, 2021 a 2023, jejichž autorem je profesor Blahoslav Maršálek a kolektiv. Hodnocení ekotoxicity je doplněno o stručné hydrobiologické hodnocení dominantních druhů mikroorganismů v daných odběrových profilech.

2.3.1 Výsledky za období 2019

Testy toxicity na řase *Pseudokirchneriela subcapitata* jsou uvedeny v tabulce 6. Výsledky udávají inhibici růstu řas oproti kontrole v %. Jako pozitivní kontrola je v tabulce uveden testovaný přípravek Algiflash o koncentraci 10 mg/l. Hodnoty inhibice (bez znaménka) či stimulace (se znaménkem +) do 10 % jsou brány jako neprůkazný vliv, stimulace nad 30 % jsou brány jako zvýšené znečištění živinami.

Tabulka 6. Přehled výsledků řasových testů toxicity za rok 2019 (Maršálek, 2019)

období odběru	Výpust	vstup VN Mohelno	řeka Jihlava (pod hrází VN Mohelno)	10 mg/l Algiflash 96 hodin
04/2019	17,7	+26,3	+17,8	97,3
05/2019	9,5	+17,1	+14,9	93,5
06/2019	12,7	+14,5	+11,8	95,3
07/2019	27,9	+17,7	+17,7	93,1
08/2019	+6,6	+13,3	+11,3	93,9
09/2019	+9,7	+16,8	+19,3	95,1
10/2019	18,1	+17,1	+12,1	95,3

Pozn.: Test toxicity ve Výpusti byl v měsíci červenci po týdnu opakován s výslednou hodnotou inhibice pod 10 %.

Výsledky testu toxicity na korýši *Daphnia magna* jsou uvedeny v tabulce 7. Uvedena jsou % imobilizace testovacích organismů, jako pozitivní kontrola je v tabulce uveden testovaný přípravek Algiflash o koncentraci 10 mg/l. Hodnoty do 10 % jsou brány jako chyba stanovení.

Tabulka 7. Výsledky testu toxicity na *Daphnia magna* za rok 2019 (Maršálek, 2019)

období odběru	Výpust	vstup VN Mohelno	řeka Jihlava (pod hrází VN Mohelno)	10 mg/l Algiflash 120 hodin
04/2019	11,7	7,5	8,9	97,5
05/2019	13,8	9,7	9,5	93,7
06/2019	14,2	11,1	7,8	95,1
07/2019	11,7	12,7	11,5	89,9
08/2019	16,8	13,7	13,3	91,3
09/2019	13,5	9,7	12,8	89,7
10/2019	12,3	11,3	9,7	90,7

Z hlediska ekotoxicity se rok 2019 vyznačoval velkými rozdíly v průběhu roku, a to jak v průběhu času, tak v detekčních systémech. Řasový test toxicity vykázal v tomto roce vyšší

detekci toxicity než test na *Daphnia magna*. Nejvyšší inhibice růstu řas byla detekována v červenci na Výpusti (27,9 %). Opakovaný test z odběru o týden později však již žádnou toxicitu neprokázal, takže šlo o jednorázovou událost. Mírná toxicita vzorků z Výpusti u testů na korýše byla jen velmi lehce zvýšena (nad hranici 10 %), dokonce hodnoty toxicity v některých měsících byly velmi blízké hodnotám řeky Jihlavy i vstupu VN Mohelno, který je srovnávacím odběrovým profilem bez působení algicidu. Výsledky u ostatních vzorků lze považovat za standardní průběh vegetační sezony, včetně stimulace růstu řas v důsledku zvýšené trofie.

Pod hrází nádrže Mohelno byla také v tomto roce detekována ruducha rodu *Hildebrandia*, která měla především v srpnu až říjnu mimořádný rozvoj, který tvořil rozsáhlé oranžovočervené plochy na dně řeky.

V bazénech chladících vod 0CHV i 7CHV se prakticky celou sezonu pravidelně vyskytovala rozsivka *Ellerbeckia arenaria*, která se rozvíjí v alkalických oteplených vodách. Další zajímavostí sezony byl rozvoj halofilní centrické rozsivky *Pleurosira laevis,* který byl v tomto roce podstatně vyšší než v předešlých letech. Pokud jde o vláknité řasy, byla detekována jednoznačná dominance řasy rodu *Cladophora*, přičemž konkurenční vláknité řasy (především dříve se vyskytující *Stigeoclonium*, *Oedogonium sp. a Ulothrix sp*.) se prakticky vůbec nevyskytovaly.

Na základě výsledků realizovaných ekotoxikologických biotestů lze předpokládat, že v roce 2019 byl přípravek Algiflash proti masovému rozvoji vláknitých řas v chladicích vodách EDU aplikován tak, že pravděpodobně nebyly ovlivněny sledované bioindikátory v recipientu Jihlava. (Maršálek, 2019)

2.3.2 Výsledky za období 2021

Testy toxicity na řase *Pseudokirchneriela subcapitata* jsou uvedeny v tabulce 8. Výsledky udávají inhibici růstu řas oproti kontrole v %. Jako pozitivní kontrola je v tabulce uveden testovaný přípravek Algiflash o koncentraci 10 mg/l. Hodnoty inhibice (bez znaménka) či stimulace (se znaménkem +) do 10 % jsou brány jako neprůkazný vliv, stimulace nad 30 % jsou brány jako zvýšené znečištění živinami.

Tabulka 8. Přehled výsledků řasových testů toxicity za rok 2021 (Maršálek, 2021)

období odběru	Výpust	vstup VN Mohelno	řeka Jihlava (pod hrází VN Mohelno)	10 mg/l Algiflash 96 hodin
04/2021	+16,5	+1,8	+1,8	95,1
05/2021	+1,3	+12,3	+10,2	94,3
06/2021	11,6	+1,2	+1,7	93,7
07/2021	+36,6	+6,8	+1,5	97,3
08/2021	+27,0	+17,2	+12,3	91,9
09/2021	+13,7	+18,4	+15,1	95,5
10/2021	+36,5	+19,1	+10,2	93,3

Výsledky testu toxicity na korýši *Daphnia magna* jsou uvedeny v tabulce 9. Uvedena jsou % imobilizace testovacích organismů, jako pozitivní kontrola je v tabulce uveden testovaný přípravek Algiflash o koncentraci 10 mg/l. Hodnoty do 10 % jsou brány jako chyba stanovení.

Tabulka 9. Výsledky testu toxicity na *Daphnia magna* za rok 2021 (Maršálek, 2021)

období odběru	Výpust	vstup VN Mohelno	řeka Jihlava (pod hrází VN Mohelno)	10 mg/l Algiflash 120 hodin
04/2021	0	0	0	95,1
05/2021	0	0	0	97,3
06/2021	0	0	0	93,3
07/2021	0	0	0	97,1
08/2021	0	0	0	95,4
09/2021	5,7	0	0	89,9
10/2021	0	0	0	91,3

Rok 2021 byl ve sledovaných lokalitách ekotoxikologicky klidný, testy na dafnie vykazovaly neobvykle nízkou toxicitu.

V chladícím okruhu 0CHV a 7CHV se vláknitá řasa *Cladophora* vyskytovala jako méně větvená, avšak byla většinou vitální. Vlákna byla porostlá poměrně hojně rozsivkami. Vyskytovala se zde rozsivka *Ellerbeckia arenaria*, typická pro oteplené vody, a v menší míře byl zaznamenán výskyt centrické rozsivky *Pleurosira laevis*.

Sezonu 2021 ve Výpusti provázely sinice zastoupené rodem *Phormidium*, z rozsivek převažovala *Pleurosira laevis*, hojnou byla také *Melosira varians.* Vzácně byla detekována vlákna ruduchy *Audouinella sp*. Malformované rozsivky nebyly detekovány.

V biomase nárostů ve VN Mohelno (pod hrází Kramolín) dominovaly sinice rodu *Phormidium*. Z rozsivek byla nejčastější *Melosira varians*. V nárostech byla detekována i zelená řasa *Gongrosira* sp.

Na počátku sezóny 2021 se v řece Jihlavě (pod hrází Mohelno) vyskytovaly převážně rozsivky jako např. *Melosira varians.* Indikátor čisté vody ruducha *Hildebrandia rivularis* se vyskytovala od června do konce sezóny.

Analýzy realizované v roce 2021 tak celkově prokázaly, že aplikace přípravku Algiflash je realizována profesionálně a nemá negativní vliv na vodní ekosystém. (Maršálek, 2021)

2.3.3 Výsledky za období 2023

Testy toxicity na řase *Pseudokirchneriela subcapitata* jsou uvedeny v tabulce 10. Výsledky udávají inhibici růstu řas oproti kontrole v %. Jako pozitivní kontrola je v tabulce uveden testovaný přípravek Algiflash o koncentraci 10 mg/l. Hodnoty inhibice (bez znaménka) či stimulace (se znaménkem +) do 10 % jsou brány jako neprůkazný vliv, stimulace nad 30 % jsou brány jako zvýšené znečištění živinami.

Tabulka 10. Přehled výsledků řasových testů toxicity za rok 2023 (Maršálek, 2023)

období odběru	**Výpust**	**vstup VN Mohelno**	**řeka Jihlava** (pod hrází VN Mohelno)	**10 mg/l Algiflash 96 hodin**
04/2023	+21,9	+10,0	+1,0	94,2
05/2023	8,4	+16,3	+8,2	95,7
06/2023	+38,6	+17,3	+5,7	94,8
07/2023	+14,1	+12,0	+4,3	96,6
08/2023	+13,9	+14,2	+8,2	94,2
09/2023	+21,4	n	+12,6	97,5
10/2023	+20,4	+19,8	+4,1	98,1

Pozn.: n - neodebráno pro vysokou hladinu vody

Výsledky testu toxicity na korýši *Daphnia magna* jsou uvedeny v tabulce 11. Uvedena jsou % imobilizace testovacích organismů, jako pozitivní kontrola je v tabulce uveden testovaný přípravek Algiflash o koncentraci 10 mg/l. Hodnoty do 10 % jsou brány jako chyba stanovení.

Tabulka 11. Výsledky testu toxicity na *Daphnia magna* za rok 2023 (Maršálek, 2023)

období odběru	Výpust	vstup VN Mohelno	řeka Jihlava (pod hrází VN Mohelno)	10 mg/l Algiflash 120 hodin
04/2023	7	7	0	96,3
05/2023	0	0	0	94,4
06/2023	5	0	0	95,6
07/2023	5	0	10	97,2
08/2023	15	5	5	94,8
09/2023	15	n	10	93,7
10/2023	15	0	6	94,3

Pozn.: n - neodebráno pro vysokou hladinu vody

Ekotoxikologické analýzy dlouhodobě sledovaných lokalit v rámci aplikace přípravku Algiflash v roce 2023 prokázaly, že ekotoxikologicky byla vegetační sezona roku 2023 zcela vyrovnaná, s jedinou výjimkou, a to v polovině června řasový test ve vzorku Výpusti, který prokázal stimulaci 38 %, tedy zvýšené množství živin (což nemá s aplikací přípravku Algiflash žádnou souvislost), a velmi mírně zvýšená toxicita pro dafnie v srpnu až říjnu.

Podle hydrobiologické analýzy byla v bazénech 0CHV a 7CHV řasa *Cladophora glomerata* větvená a poměrně hojně porostlá rozsivkami, kde dominovala *Rhoicosphenia abbreviata* a *Cocconeis pediculus*. Mezi vlákny *C. glomerata* se vyskytovala téměř po celou sezónu rozsivka *Ellerbeckia arenaria* a také halofilní *Pleurosira laevis*.

V řece Jihlavě, pod hrází VN Mohelno, byly od června, s masivním nástupem v červenci, na kamenech bohaté porosty ruduchy *Hildebrandia rivularis*, a od srpna bylo detekováno významnější zastoupení rozsivky *Cocconeis placentula*.

Hydrobiologické a ekotoxikologické analýzy realizované v roce 2023 prokázaly, že aplikace přípravku Algiflash nemá negativní vliv na vodní ekosystém. (Maršálek, 2023)

2.3.4 Zhodnocení a diskuse

Aplikace algicidu je cíleně zaměřená na inhibici zelené biomasy na stěnách a patkách sloupů chladících věží, ale další působení přípravku již mimo technologické okruhy chladících vod není žádoucí. Pro zabezpečení eliminace negativního působení na vodní ekosystém Jihlavy se podílí několik mechanismů. Určitě nejvýznamnějším mechanismem je postupné další zřeďování přípravku na cestě do recipientu Jihlava. Po nadávkování ředěného přípravku Algiflash (1:4) dochází k naředění algicidu ve velkém objemu chladících vod (v jednom chladícím okruhu 150 000 m^3 vody). Část chladících vod je odpouštěna = odluhována (z

jednoho okruhu cca 1500 m^3/h) do kanalizace, kde je odluh dále ředěn dalšími odpadními vodami z EDU, které jsou z areálu elektrárny vypouštěny přes tři retenční nádrže (RN1 o objemu 2 000 m^3, RN2 o objemu 2 000 m^3, RN3 o objemu 40 000 m^3) a stanici měření odpadních vod. Odpadní vody následně odtékají Skryjským potokem do nádrže Mohelno. Jde tedy zřejmé, že dochází k naředění algicidu v ohromném množství vody.

Algiflash je navíc při jisté míře naředění dobře biologicky odbouratelný. Vzhledem k tomu, že je v EDU používán již 20 let, tak je možné očekávat určitou míru jeho biodegradace pomocí biofilmů, které se vytvořily na místech dlouhodobého kontaktu vody s obsahem BAC s technickým zařízením a s povrchy, na kterých se biofilmy mohou vytvářet, tzn. na stěnách a dnech nádrží a bazénů, dále v potrubí a retenčních nádržích. Dokonce lze předpokládat, že další adaptované biofilmy, s mikroorganismy rozkládajícími BAC, by mohly být vytvořeny i ve Skryjském potoce (na kamenech, předmětech na dně, ponořených březích, v sedimentu apod.) a ty mohou pomáhat s dočišťováním vody od BAC. Jde však jen o neprokázaný, byť opodstatněný předpoklad. Další experimentální zkoumání povrchových biofilmů v prostředí technologických a odpadních vod EDU i ve Skryjském potoce by tak mohlo být zajímavým námětem na budoucí bakalářskou nebo diplomovou práci, či jinou formu výzkumné činnosti, dokumentující reakci/adaptaci biofilmů na technických površích i v povrchovém toku na dvacetiletou aplikaci konkrétního algicidu.

Sledování a posuzování environmentálního dopadu přípravku Algiflash probíhá na řece Jihlavě na dvou místech – jednak na vstupu řeky do VN Mohelno, tedy na srovnávacím profilu, který není vystaven zátěži používaným algicidem – jednak na monitorovacím místě, které se však nachází až pod hrází VN Mohelno, tzn. pod výstupem z vodní nádrže, poměrně daleko od ústí Skryjského potoka. Bylo by proto do budoucna vhodné doplnit monitorovací systém o další odběrové místo pro provádění monitoringu přímo z VN Mohelno, zejména v blízkosti vyústění Skryjského potoka do této nádrže.

3 ZÁVĚR

Od roku 2004 a v průběhu dalších let byly hledány možnosti potlačení růstu vláknitých řas v chladicím systému jaderné elektrárny Dukovany (EDU). Jako nejvhodnější alternativa byla vybrána aplikace algicidního přípravku Algiflash. Cílem této práce bylo zhodnotit environmentální dopady tohoto algicidu při dlouhodobém používání v reálném systému chladících vod.

Bakalářská práce poskytuje stručný popis chladicího systému jaderné elektrárny, jehož součástí jsou mj. potrubní trasy s oteplenou cirkulační chladící vodou (CCHV), která odvádí teplo od spotřebičů elektrárny až na chladící věže, kde dochází k jejímu ochlazení a zpětnému přečerpání ke spotřebičům. Doplňování ztrát vody do chladícího okruhu probíhá z vodní nádrže Mohelno. Do mohelenské nádrže je zpět vypouštěna veškerá odpadní voda z jaderné elektrárny.

Podrobně je v bakalářské práci charakterizován přípravek Algiflash, jehož účinnou složkou je benzalkonium chlorid (BAC). BAC patří k nejčastěji uváděným dezinfekčním prostředkům na světě a velmi důležitou vlastností je jeho biologická rozložitelnost. K mikroorganismům schopných rozkládat BAC patří např. gramnegativní bakterie rodu *Pseudomonas*. Biologický rozklad přípravku Algiflash (ředěný 5000krát), hodnocený úbytkem chemické spotřeby kyslíku, dosáhl v laboratorních podmínkách hodnotu 68 % za 96 hod.

Část práce se věnuje zařazení a specifikaci nejvýznamnějších zástupců vodních mikroorganismů ze skupiny sinic a řas. Některé z těchto organismů jsou sledovány pro posouzení dopadu použití algicidního přípravku na ekosystém řeky Jihlavy a chladících okruhů Jaderné elektrárny Dukovany.

Dominantu nárostů řas na sloupech chladicích věžích tvoří zelená vláknitá řasa *Cladophora glomerata* (žabí vlas). Algiflash zásadním způsobem eliminuje výskyt řas především v místě ostřiku sloupů věží, kde je lokálně aplikován jedenkrát za 14 dní. Současně s dávkováním algicidu probíhá monitoring ke zhodnocení vlivu přípravku na vodní tok řeky Jihlavy.

V této bakalářské práci je toxikologický vliv přípravku hodnocen z výsledků testů toxicity na sladkovodní řasu *Pseudokirchneriela subcapitata* a vodního korýše *Daphnia magna* za období duben až říjen v letech 2019, 2021 a 2023 v určených odběrových profilech, jednak na výpusti vod z EDU a jednak na stanovených profilech povrchových vod. Řasové testy toxicity na výpusti prokazovaly oproti kontrole velmi mírně zvýšenou toxicitu jen v roce

2019, zatímco v letech 2021 a 2023 neprokázaly prakticky žádnou toxicitu. Výsledky prolongovaného testu na dafnie známky toxicity v podstatě nevykazovaly, dokonce v některých měsících byly výsledky výpusti velmi blízké hodnotám z odběrových lokalit řeky Jihlavy.

Za hydrobiologickou zajímavost lze považovat dominantní organismus fytobentosu na lokalitě řeky Jihlava (pod hrází Mohelno) ruduchu *Hildebrandia rivularis*, která biologicky indikuje čisté vodní toky. Výskyt této ruduchy je od letních měsíců pravidelně detekován a v průběhu let sledování se výrazně nemění. Čistotu této lokality dokládá také výskyt ledňáčka říčního (*Alcedo atthis*) a přítomnost dalších bioindikátorů kvalitní a čisté vody např. raka říčního (*Astacus astacus*).

Závěrem lze konstatovat, že aplikační postup přípravku Algiflash pro potlačení vláknitých řas v chladicích věžích EDU lze považovat za optimální. Je zvládnutý tak, že působí lokálně v místě aplikace a trvalý negativní vliv na ekosystém řeky Jihlavy nebyl pozorován. Za hlavní mechanismus eliminace účinku přípravku na ekosystém řeky Jihlava lze považovat obrovskou míru ředění preparátu po jeho lokální aplikaci; současně lze předpokládat i určitou míru biodegradace aktivní složky přípravku prostřednictvím biofilmů na technických i přírodních površích.

4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ANDĚL, Petr, 2011. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring*. Liberec: Evernia. ISBN 978-80-903787-9-7.

ANDERSON, D.M., A.D. CEMBELLA a G.M. HALLEGRAEFF, 2012. Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Annual Review of Marine Science*. **4**, 143-176.

ANDERSON, D.M., S.F.E. BOERLAGE a M.B. DIXON, 2017. Harmful Algal Blooms (HABs) and Desalination: A Guide to Impacts, Monitoring, and Management. *Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris*.

BOWER, D.J., R.J. HART, P.A. MATTHEWS a M.E. HOWDEN, 1981. Nonprotein neurotoxins. *Clinical Toxicology*. **18**, 813-863.

BURKI, Fabien, Andrew J. ROGER, Matthew W. BROWN a Alastair G.B. SIMPSON, 2020. The New Tree of Eukaryotes. *Trends in Ecology & Evolution* [online]. **35**(1), 43-55 [cit. 2024-03-04]. ISSN 01695347. Dostupné z: doi:10.1016/j.tree.2019.08.008

CLARA, M., S. SCHARF, C. SCHEFFKNECHT a O. GANS, 2007. Occurrence of selected surfactants in untreated and treated sewage. *Water Research*. **41**(19), 4339-4348.

ČSN 75 7712 (757712) Kvalita vod - Biologický rozbor - Stanovení biosestonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN 75 7716 (757716) Jakost vod - Biologický rozbor - Stanovení saprobního indexu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1998.

ČSN EN ISO 6341 (757751) Kvalita vod - Zkouška inhibice pohyblivosti Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea) - Zkouška akutní toxicity. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN ISO 8692 (757740) Kvalita vod - Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

DANN, A.B. a A. HONTELA, 2011. Triclosan: environmental exposure, toxicity and mechanisms of action. *Journal of Applied Toxicology*. **31**(4), 285-311.

DING, W.H. a Y.H. LIAO, 2001. Determination of alkylbenzyldimethylammonium chlorides in river water and sewage effluent by solid-phase extraction and gas chromatography/ mass spectrometry. *Analytical Chemistry*. **73**(1), 36-40.

FERRER, I. a E.T. FURLONG, 2001. Identification of alkyl dimethylbenzylammonium surfactants in water samples by solid-phase extraction followed by ion trap LC/MS and LC/ MS/MS. *Environmental Science and Technology*. **35**(12), 2583-2588.

FORTUNATO, María Susan a al., 2018. Biodegradability of Disinfectants in Surface Waters from Buenos Aires: Isolation of an Indigenous Strain Able to Degrade and Detoxify Benzalkonium Chloride. *Springer International Publishing AG, part of Springer Nature*.

G-SERVIS PRAHA SPOL. S R.O., 2024. *Ošetření vody* [online]. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: https://www.g-servis.cz/cs/biotechnologie/osetreni-vody

HOEKSEMA, B.W. a C. VAN DEN HOEK, 1984. *Effect of selected physicochemical factors on growth and zoosporogenesis of Cladophora glomerata (Chlorophyta)*.

CHANG, F.H., 2011. Toxic effects of three closely-related dinoflagellates, Karenia concordia, K. brevisulcata and K. mikimotoi (Gymnodiniales, Dinophyceae) on other microalgal species. *Harmful Algae*. **10**, 181-187.

Jaderná elektrárna [online], 2007. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/atomy-castice/jaderna-elektrarna

JANKOVSKÝ, Libor, 1997. *Viry, prokaryota, řasy, houby a lišejníky: přehled systému, fytogeneze a ekologie*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 80-210-1555-1.

KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA, 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-1036-1.

KALINA, Tomáš, 1994. *Systém a vývoj sinic a řas*. Praha: Karolinum. ISBN 80-706-6854-7.

KAMIYAMA, T. a S. ARIMA, 2001. Feeding characteristics of two tintinnid ciliate species on phytoplankton including harmful species: effects of prey size on ingestion rates and selectivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **257**(2), 281-296.

KAMIYAMA, T., M. TSUJINO, Y. MATSUYAMA a T. UCHIDA, 2005. Growth and grazing rates of the tintinnid ciliate Favella taraikaensis on the toxic dinoflagellate Alexandrium tamarense. *Marine Biology*. **147**, 989-997.

KAŠTOVSKÝ, Jan, Tomáš HAUER, Rodan GERIŠ, et al., 2018. *Atlas sinic a řas České republiky*. České Budějovice: Powerprint. ISBN isbn978-80-7568-125-6.

KOLEKTIV AUTORŮ, 2023. *Sekundární část JE VVER 440, M1, II. Část, Brno*.

KÜMMERER, K., A. EITEL, U. BRAUN, P. HUBNER, F. DASCHNER a al., 1997. Analysis of benzalkonium chloride in the effluent from European hospitals by solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography with post-column ion-pairing and fluorescence detection. *Journal of Chromatography A*. **774**(1-2), 281-286.

LI, H. a G. PAN, 2015. Simultaneous removal of harmful algal blooms and microcystins using microorganism- and chitosan- modified local soil. *Environmental Science and Technology*. **49**, 6249-6256.

LIM, A.S., H.J. JEONG, J.H. KIM a S.Y. LEE, 2017. Control of ichthyotoxic Cochlodinium polykrikoides using the mixotrophic dinoflagellate Alexandrium pohangense: a potential effective sustainable method. *Harmful Algae*. **63**, 109-118.

Mapy.cz [online], 2024. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://www.mapy.cz

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2004a. *Zhodnocení prvního měsíce aplikace přípravku Algiflash pro redukci vláknitých řas v chladících věžích elektrárny Dukovany - Návrh na korekci dávkování*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2005. *Hydrobiologické hodnocení nárostů vláknitých řas v chladících věžích EDU březen-květen 2005 a srovnání vybraných algicidních přípravků*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2010. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících věžích EDU: Závěrečná zpráva duben - říjen 2010*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2014. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících věžích EDU: Komplexní vyhodnocení aplikace přípravku za období 2012 - 2014*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2018. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících věžích EDU: Závěrečná zpráva 2018*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2019. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících vodách EDU: Závěrečná zpráva 2019*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2020. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících věžích EDU: Závěrečná zpráva 2020*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2021. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících vodách EDU: Závěrečná zpráva 2021*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav a kolektiv, 2023. *Hydrobiologické a ekotoxikologické hodnocení algicidních aplikací proti nárostům vláknitých řas v chladících vodách EDU: Závěrečná zpráva 2023*. Flos Aquae Team, Brno.

MARŠÁLEK, Blahoslav, J. JINDRA a Luděk BLÁHA, 2000. *Microcystiny v surové a upravené vodě a jejich odstranitelnost na vybraných úpravnách*. Praha, Aktuální otázky vodárenské biologie, s. 82-85.

MARTÍNEZ-CARBALLO, E. a al., 2007a. Determination of selected quaternary ammoniumcompounds by liquid chromatography with mass spectrometry. Part I. Application to surface, waste and indirect discharge water samples in Austria. *Environmental Pollution*. **145**(2), 489-496.

MOHELSKÁ, Lucie, 2006. *Modifikace betonových prvků pro chladící věže*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně – chemická fakulta. Vedoucí práce Tomáš Opravil.

NABOUT, JC, SB ROCHA, FM CARNEIRO a CL SANTANNA, 2013. *How many Cyanobacteria are there ? Using a discovery curve to predict the species number*. Biodiversity and Conservation 22:2907-2918.

PAN, G., M.M. ZHANG, H. CHEN, H. ZOU a H. YAN, 2006a. Removal of cyanobacterial blooms in Taihu Lake using local soils. I. Equilibrium and kinetic screening on the flocculation of Microcystis aeruginosa using commercially available clays and minerals. *Environmental Pollution*. **141**, 195-200.

PRINCE, S.J., H.J. MCLAURY, L.V. ALLEN a P. MCLAURY, 1999. Analysis of benzalkonium chloride and its homologs: HPLC versus HPCE. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. **19**(6), 877-882.

Protokol CETA: Protokol o zkoušce číslo 2615, 2004. 13.2.2004. VÝZKUMNÝ ÚSTAV ORGANICKÝCH SYNTÉZ, A.S. PARDUBICE.

ROSYPAL, Stanislav, 1992. *Fylogeneze, systém a biologie organismů*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN 80-042-2815-1.

ROUNSEFELL, G.A., J.E. EVANS, U.S. FISH a Wildlife SERVICE, 1958. *Large-scale experimental test of copper sulfate as a control for the Florida red tide*. Special Scientific Report – Fisheries, No. 270. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, DC.

RULÍK, Martin, 2011. *Mikrobiální biofilmy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN ISBN978-80-244-2747-8.

ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana, 2003. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-708-0521-8.

SENGCO, M.R., 2009a. Prevention and control of Karenia brevis blooms. *Harmful Algae*. **8**, 623–628.

SENGCO, M.R., 2009b. Mitigation of effects of harmful algal blooms. In: Shumway SE, Rodrick GE (eds) Shellfish Safety and Quality,. *Smithsonian Environmental Research Center, Edgewater, MD*. 175-199.

SLÁDEČKOVÁ, A., 1968. *Control of slimes and algae in cooling systems*. Verch. Int. Verein. Limnol., Paris, 17.

SÜTTERLIN, H., R. ALEXY a K. KÜMMERER, 2008b. The toxicity of the quaternary ammoniumcompound benzalkonium chloride alone and in mixtures with other anionic compounds to bacteria in test systems with Vibrio fischeri and Pseudomonas putida. Ecotoxicology and Environmental. *Safety*. **71**(2), 498-505.

SÜTTERLIN, R., A. COKER a K. KÜMMERER, 2008a. Mixtures of quaternary ammonium compounds and anionic organic compounds in the aquatic environment: elimination and biodegradability in the closed bottle test monitored by LC–MS/ MSH. *Chemosphere*. **72**(3), 479-484.

Svetenergie.cz [online], 2020. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-podrobne/chladici-vez/vyklad

SVOBODOVÁ, Zdeňka, 2010. *Ekotoxikologie - praktická cvičení: testy toxicity na organismech vodního prostředí*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita. ISBN 978-80-7305-120-4.

ŠKORPÍK, Jiří, 2022. *Jaderná energetika, Transformační technologie* [online]. [cit. 2024-04-15]. ISSN 1804-8293. Dostupné z: https://www.transformacni-technologie.cz/jaderna-energetika_2022.html.

ŠPAČEK, Jan, 1999. *Hlenky, houby, řasy*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 80-210-2157-8.

VAN DEN HOEK, C., D.G. MANN a H.M. JAHNS, 1995. *Algae. An Introduction to Phycology*. Publisher by the Press Syndicate of the University of Cambridge.

VERSPAGEN, J.H.M., P.M. VISSER a J. HUISMAN, 2006. Aggregation with clay causes sedimentation of the buoyant cyanobacteria Microcystis spp. *Aquatic Microbial Ecology*. **44**, 165-174.

WANG, Z., C. WANG, P. WANG, J. QIAN, J. HOU, Y. AO a al., 2015. The performance of chitosan/montmorillonite nanocomposite during the flocculation and floc storage processes of Microcystis aeruginosa cells. *Environmental Science and Pollution Research International*. **22**, 11148–11161.

WANG, Z., D. LI, H. OIN a Y. LI, 2012. An integrated method for removal of harmful cyanobacterial blooms in eutrophic lakes. *Environmental Pollution*. **160**, 34-41.

WHITTON, B.A., 1970. *Biology of Cladophora in freshwaters*. Water Res., London, 4.

YUAN, Y., H. ZHANG a G. PAN, 2016. Flocculation of cyanobacterial cells using coal fly ash modified chitosan. *Water Research*. **97**, 11-18.

ZHANG, C., F. CUI, G.M. ZENG, M. JIANG, Z.Z. YANG, Z.G. YU a al., 2015. Quaternary ammonium compounds (QACs): a review on occurrence, fate and toxicity in the environment. *Science of the Total Environment*. 518-519, 352-362.

ZHANG, C., U. TEZEL, K. LI, D. LIU, R. REN, J. DU a al., 2011. Evaluation and modeling of benzalkonium chloride inhibition and biodegradation in activated sludge. *Water Research*. **45**(3), 1238-1246.

ZOU, H., G. PAN, H. CHEN a X. YUAN, 2006. Removal of cyanobacterial blooms in Taihu Lake using local soils. II. Effective removal of Microcystis aeruginosa using local soils and sediments modified by chitosan. *Environmental Pollution*. **141**, 201-205.

5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BAC	Benzalkonium chlorid
CETA	Centrum ekologie, toxikologie a analytiky
CCHV	Cirkulační chladící voda
CČS	Centrální čerpací stanice
CH	Chlorhexidin
ČIA	Český institut pro akreditaci
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČS	Čerpací stanice
EC_{50}	Koncentrace působící 50 % snížení rychlosti testovaného biologického procesu
EDU	Elektrárna Dukovany
HaBs	Vodní květ (Harmful Algal Blooms)
HVB1	Hlavní výrobní blok 1
HVB2	Hlavní výrobní blok 2
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
CHÚV	Chemická úpravna vody
CHV	Chladící věž
0CHV	Chladící voda pro HVB1 (z chladících věží 1, 2, 3, 4)
7CHV	Chladící voda pro HVB2 (z chladících věží 5, 6, 7, 8)
IC_{50}	Koncentrace působící 50 % snížení rychlosti testovaného biologického procesu
JE	Jaderná elektrárna
KÚ	Krajský úřad
LC_{50}	Koncentrace působící úhyn 50 % jedinců v testu
PFS	Polyželezitý síran
QAC	Kvartérní amoniové sloučeniny

RN	Retenční nádrže
RN1	Retenční nádrž 1
RN2	Retenční nádrž 2
RN3	Retenční nádrž 3
SOV	Stanice měření odpadních vod
TC	Triklosan
TVD	Technická voda důležitá (z hlediska jaderné bezpečnosti)
TVN	Technická voda nedůležitá (z hlediska jaderné bezpečnosti)
VN	Vodní nádrž

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Chladicí věže HVB I (CHV 1 až 4) (Kolektiv autorů, 2023) 11
Obrázek 2. Cirkulační chladící a technická voda pro HVB1 (Kolektiv autorů, 2023) 12
Obrázek 3. Rozvodí řek Jihlava a Olešná (Kolektiv autorů, 2023) 13
Obrázek 4. Spodní část chladicí věže (Kolektiv autorů, 2023) 14
Obrázek 5. Účinek algicidu Algiflash na stélku řas *Cladophora glomerata* (Maršálek, 2005) 18
Obrázek 6. Degradace BAC kmenem *Pseudomonas* sp. ve vsádkovém reaktoru (Fortunato, 2018) 21
Obrázek 7. Průběh testů pro stanovení biodegradace Algiflash (Protokol CETA, 2004) ... 22
Obrázek 8. *Cyanobacteria* – stavba buňky (Kaštovský, 2018) 26
Obrázek 9. Přehled superskupin eukaryot (Burki, 2020) 27
Obrázek 10. a) *Ellerbeckia arenaria*, b) *Pleurosira laevis* (Maršálek, 2018) 28
Obrázek 11. *Hildebrandia rivularis* - na říčních kamenech; v mikroskopu (Maršálek, 2020) 31
Obrázek 12. Mechanismy flokulace u mikrořas (Martínez-Carballo, 2007a) 35
Obrázek 13. Řasy přichycené na betonovém sloupu chladící věže (Mohelská, 2006) 38
Obrázek 14. Řasy přichycené na patce betonového sloupu chladící věže 38
Obrázek 15. Ostřik sloupů chladící věže 39
Obrázek 16. Přehled odběrových profilů povrchových vod pro monitoring (Mapy.cz, 2024) 40

7 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Srovnání přípravků v 72. hodinovém testu (Maršálek, 2005) 18
Tabulka 2. Mortalita *Daphnia magna* koncentrační řady Algiflash (Maršálek, 2004a)..... 24
Tabulka 3. Natalita *Daphnia magna* koncentrační řady Algiflash (Maršálek, 2004a)..... 24
Tabulka 4. Scénář aplikace Algiflash v chladicích okruzích 0CHV a 7CHV 39
Tabulka 5. Lokalizace odběrových profilů povrchových vod (Maršálek, 2019)..... 41
Tabulka 6. Přehled výsledků řasových testů toxicity za rok 2019 (Maršálek, 2019)..... 43
Tabulka 7. Výsledky testu toxicity na *Daphnia magna* za rok 2019 (Maršálek, 2019)..... 43
Tabulka 8. Přehled výsledků řasových testů toxicity za rok 2021 (Maršálek, 2021)..... 45
Tabulka 9. Výsledky testu toxicity na *Daphnia magna* za rok 2021 (Maršálek, 2021)..... 45
Tabulka 10. Přehled výsledků řasových testů toxicity za rok 2023 (Maršálek, 2023)..... 46
Tabulka 11. Výsledky testu toxicity na *Daphnia magna* za rok 2023 (Maršálek, 2023)..... 47