



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

VYUŽITÍ ORGANISMU DAPHNIA MAGNA PŘI HODNOCENÍ ÚČINNOSTI DOMOVNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

THE USE OF THE DAPHNIA MAGNA ORGANISM IN THE EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DOMESTIC
WASTEWATER TREATMENT PLANTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adela Petrová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová,
Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1961/2023 Akademický rok: 2023/24
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Studentka: **Adela Petrová**
Studijní program: Aplikovaná analytická,
environmentální a forenzní chemie
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. MVDr. Helena Zlámalová**
Gargošová, Ph.D.

Název bakalářské práce:

Využití organismu *Daphnia magna* při hodnocení účinnosti domovních čistíren odpadních vod

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracovat literární rešerši zaměřenou na využití moderních čistírenských technologií v oblasti domovních čistíren.
2. Vybrat vhodné testy ekotoxicity na organismu *Daphnia magna* pro hodnocení účinnosti čistírenského procesu.
3. Diskuse dosažených výsledků a posouzení účinnosti vybraných čistírenských postupů s ohledem na zástupce akvatického ekosystému.

Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2024:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Adela Petrová
studentka

doc. MVDr. Helena Zlámalová
Gargošová, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Jozef Krajčovič, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2024

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo posúdiť účinnosť dvoch domových čistiarní odpadových vôd (DČOV) s kapacitou ekvivalentných obyvateľov (EO) 30–500, pričom ich využíva 10 až 20 obyvateľov. Hodnotenie prebiehalo prostredníctvom ekotoxikologických testov na vodnom organizme *Daphnia magna*, a analytického rozboru, kde boli skúmané vybrané ukazovatele stanovené v nariadeniach vlády č. 401/2015 Sb. a č. 57/2016 Sb. V akútnych testoch bolo pozorované podstatné zníženie úrovne toxicity vody na výstupe z čistiarne, v porovnaní s vodou na vstupe. V oboch čistiarniach boli hodnoty EC_{50} stanovené iba na prítoku, keďže na odtoku nedochádzalo k mortalite nad 50 %. Hodnoty EC_{50} pre DČOV 1 boli vypočítané na 653,9 ml/l (24h EC_{50}) a 471,1 ml/l (48h EC_{50}). Pre DČOV 2 boli tieto hodnoty stanovené na 286,4 ml/l (24h EC_{50}) a na 186,2 ml/l (48h EC_{50}). Chronické testy tiež preukázali, že vyčistená voda z čistiarne v koncentráciách 10 % a 1 % nemala negatívny vplyv na rast a reprodukciu *D. magna*, avšak podporovala rast rias využívaných ako krmivo. Z analytického hľadiska bola účinnosť čistenia v oboch čistiarniach CHSK nad 70 %, avšak len DČOV 1 neprekročila maximálnu hodnotu CHSK 220 mg/l pre vypúšťanie vyčistenej vody do povrchových vôd. Táto čistiareň zároveň splnila aj podmienky pre vypúšťanie odpadových vôd do vôd podzemných, na rozdiel od DČOV 2.

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to assess the efficiency of two domestic wastewater treatment plants (WWTPs) with a capacity of 30–500 equivalent inhabitants (EO), with 10 to 20 inhabitants using them. The evaluation was carried out through ecotoxicological tests on the aquatic organism *Daphnia magna*, and analytical analysis, where selected indicators specified in Government Regulations No. 401/2015 Coll. and No. 57/2016 Coll. were investigated. In the acute tests, a significant reduction in the toxicity level of the water at the outlet of the treatment plant, compared to the water at the inlet, was observed. In both treatment plants, EC_{50} values were determined only at the influent, as there was no mortality above 50 % at the effluent. The EC_{50} values for WWTP 1 were calculated to be 653.9 ml/l (24h EC_{50}) and 471.1 ml/l (48h EC_{50}). For WWTP 2, these values were determined to be 286.4 ml/l (24h EC_{50}) and 186.2 ml/l (48h EC_{50}). Chronic tests also showed that the treated water from the treatment plant at concentrations of 10 % and 1 % did not have a negative effect on the growth and reproduction of *D. magna*, but promoted the growth of algae used as food. From an analytical point of view, the treatment efficiency in both treatment plants was COD above 70 %, but only WWTP 1 did not exceed the maximum COD value of 220 mg/l for discharge of treated water to surface water. This plant also met the conditions for discharge to groundwater, unlike WWTP 2.

Kľúčové slová

Domové čistiarne odpadových vôd, *Daphnia magna*, akútny test, chronický test, ekotoxikológia

Key words

Domestic wastewater treatment plants, *Daphnia magna*, acute test, chronic test, ecotoxicology

PETROVÁ, Adela. *Využití organismu Daphnia magna při hodnocení účinnosti domovních čistíren odpadních vod* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154720>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí . Vedoucí práce Helena Zlámalová Gargošová.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne a že všetky použité literárne zdroje som správne a úplne citovala. Bakalárska práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemickej VUT v Brne a môže byť využitá ku komerčným účelom len so súhlasom vedúceho bakalárskej práce a dekana FCH VUT.

.....

podpis študenta

POĎAKOVANIE

Rada by som sa poďakovala vedúcej bakalárskej práce doc. MVDr. Helene Zlámalovej Gargošovej, Ph.D. za ochotu, trpezlivosť a odborné vedenie pri vypracovávaní tejto práce. Zároveň by som rada poďakovala Mgr. Martine Repkovej, PhD. za cenné rady a Ing. Petre Procházkovej, PhD. za odbornú pomoc pri práci v laboratóriu. Vďaka patrí aj mojej rodine a priateľom za podporu pri štúdiu.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Teoretická časť	8
2.1	Ekotoxikológia	8
2.1.1	Ciele ekotoxikológie	8
2.1.2	Metódy	8
2.2	Testy ekotoxicity	8
2.2.1	Akútny test	9
2.2.2	Chronický test	9
2.2.3	Multigeneračný test	9
2.3	Modelový organizmus <i>Daphnia magna</i>	10
2.3.1	Stavba tela	10
2.3.2	Potrava.....	11
2.3.3	Rozmnožovanie	11
2.3.4	Výskyt	12
2.3.5	Chov	13
2.3.6	Praktické využitie	13
2.4	Domové čistiarne odpadových vôd	14
2.4.1	Princíp a proces čistenia	15
2.4.2	Zloženie domovej čistiarne odpadových vôd.....	16
2.4.3	Kvalita a likvidácia vyčistenej odpadovej vody.....	18
2.4.4	Údržba domovej čistiarni odpadových vôd.....	20
2.4.5	Rozdelenie domových čistiarní odpadových vôd.....	21
2.4.6	Výhody a nevýhody	23
3	Experimentálna časť	25
3.1	Príprava média.....	25
3.2	Akútne testy.....	25
3.3	Chronické testy	26
3.4	Analytický rozbor odpadových vôd	27
4	Výsledky a diskusia.....	29
4.1	DČOV 1.....	29
4.1.1	Test akútnej toxicity	29
4.1.2	Testy chronickej toxicity	31

4.1.3	Analytický rozbor odpadovej vody	33
4.2	DČOV 2.....	33
4.2.1	Test akútnej toxicity	34
4.2.2	Testy chronickej toxicity	35
4.2.3	Analytický rozbor odpadovej vody	37
5	Záver.....	39
6	Bibliografia.....	40
7	Zoznam skratiek	46
8	Prílohy	47

1 ÚVOD

Čistota vody je jednou z fundamentálnych podmienok pre zachovanie života na Zemi. Predstavuje základnú podmienku pre fungovanie ekosystémov a zdravie ľudí. V kontexte neustále rastúcej populácie a industrializácie dochádza k zvyšujúcemu sa znečisteniu vodných zdrojov, čo vedie k závažným ekologickým aj globálnym problémom. Jedným zo spôsobov, ako čeliť tomuto problému, je efektívne čistenie odpadových vôd, čím sa obmedzí vstup škodlivých látok do životného prostredia.

Domové čistiarne odpadových vôd (DČOV) predstavujú decentralizované riešenie pre domácnosti mimo hlavného kanalizačného systému. Práve pre svoju nenáročnosť na lokálne podmienky a pre relatívne nízke operačné náklady si získavajú na popularite. Predstavujú rovnocennú alternatívu k centrálnym čistiarenským systémom. Dokážu sa vysporiadať s rôznymi typmi odpadových vôd, od tých z domácností až po tie zaťažené priemyselnou výrobou.

Táto bakalárska práca si kladie za cieľ posúdiť efektívnosť domových čistiární odpadových vôd z hľadiska ekotoxicity na vodnom organizme *Daphnia magna*, ktorý je všeobecne uznávaný ako významný bioindikátor vodného prostredia. Využitie ekotoxikologických testov nám poskytuje informácie o akútnych aj chronických účinkov znečisťujúcich látok na vodné organizmy, ktoré predstavujú významný faktor pri posudzovaní účinnosti čistiární odpadových vôd. Pre tieto účely boli na testovacom organizme vybrané akútne testy na porovnanie krátkodobej toxicity a chronické testy na dlhodobé pozorovanie účinkov, aby bolo možné získať komplexný pohľad na vplyv rôznych látok na tento organizmus.

2 TEORETICKÁ ČASŤ

2.1 Ekotoxikológia

Od konca druhej svetovej vojny do 60. rokov 20. storočia boli zaznamenané prípady znečistenia, ktorých následok bol úhyn populácií dravcov či rybožravých vtákov. Tento úhyn bol spôsobený nielen účinkami pesticídu DDT na reprodukciu, ale aj rozsiahlym znečistením vôd a otravami ortuťou a kadmium. Riešenie týchto problémov viedlo spoločnosť ku vzniku novej vedy s názvom ekotoxikológia. Ekotoxikológia je veda, ktorá študuje kontaminanty antropogénneho či prírodného zdroja v biosfére a ich pôsobenia na živé organizmy, ich populácie a spoločenstvá. Sleduje toxický účinok látok na rôznych organizačných úrovniach ekosystému, na rozdiel od klinickej toxikológie, ktorá sa zameriava iba na človeka [1, 2].

2.1.1 Ciele ekotoxikológie

Hlavným cieľom ekotoxikológie je využitie poznatkov o interakcii medzi chemickou látkou a živým organizmom na účinnú ochranu celého ekosystému pred chemickým znečistením. Prítomnosť toxických látok v ekosystéme má vplyv na poskytovanie kvalitnej pitnej vody, poľnohospodárskych produktov či čistého vzduchu [1].

Ekotoxikológia spája informácie z mnohých vedných odborov, najmä z ekológie, biogeochemie a toxikológie cicavcov, vodných živočíchov a voľne žijúcich rastlín. Keďže je považovaná za aplikovanú vedu, zameriava sa aj na technické ciele, tj. na vývoj a aplikovateľnosť nástrojov pre získavanie kvalitných informácií o ekotoxikologických javoch.

V súčasnej dobe sú jej poznatky a metódy použité k plneniu požiadaviek zákonov o ochrane životného prostredia napr. Hodnotenie environmentálnych rizík – ERA, Zákon o odpadoch [1, 2].

2.1.2 Metódy

Kľúčovou metódou ekotoxikologickej práce v hodnotení vplyvu toxických látok sú biotesty s živými organizmami alebo ich systémami. Najčastejšie vykonávané testy sú testy toxicity, zamerané na priame letálne účinky látky alebo ďalšie prejavy jej toxicity, ako napr. alterovaná enzymatická aktivita. Rozlišujeme medzi akútnymi a chronickými testami, pričom akútne testy vyhodnotia rýchle účinky látok v krátkom časovom úseku, zatiaľ čo chronické testy sa sústreďujú na dlhodobý výsledok expozície [1].

Ekotoxikologické práce môžu byť použité na štúdium znečisteného prostredia v minulosti, tj. majú retrospektívny charakter. Predpovede pôsobenia látok na ekosystémy a jeho zložky predstavujú prospektívny charakter [1].

2.2 Testy ekotoxicity

Toxické účinky testovanej látky na biologické systémy sa prejavujú ako subletálne alebo letálne reakcie. Prvé zmeny prebiehajú na bunkovej úrovni. Dochádza k zmenám v štruktúre a zložkách buniek potlačením určitých enzýmov alebo poškodením metabolizmu. Na makrobiotickej úrovni sa pozorujú účinky spojené s efektívnosťou využitia energie, inhibícia rastu a reprodukcia [1].

Ekotoxikologické testy možno členiť podľa rôznych kritérií, medzi ktoré patrí aj delenie podľa testovacieho ekosystému, konkrétne na akvatické, terestrické a testy toxicity sedimentov.

Akvatické testy sú jedny z najrozšírenejších metódik testovania, kedy sa zisťuje vplyv látky na vodný organizmus, pričom sa napodobňuje prirodzený ekosystém. Najčastejšie sa testy vykonávajú na rybách, vodných rastlinách, riasach a kôrovcoch ako *Daphnia magna* [1].

Podľa doby pozorovania možno testy rozlíšiť na akútne, semiakútne, semichronické a chronické, kde sa zaraďujú aj multigeneračné [3].

2.2.1 Akútny test

Mladé organizmy *D. magna*, narodené menej ako 24 h pred testom, sú vystavené testovanej látke po dobu 48 h. Optimálny počet organizmov (aspoň 20 rozdelených po 5 jedincov do štyroch skupín pre jednu koncentráciu) je vystavený sérií široko rozložených koncentrácií testovaných látok alebo výluhu testovaných matric, prípadne testovaným odpadovým vodám apod. Najvyššia testovaná koncentrácia by mala viesť k 100% imobilizácii, pričom najnižšia by nemala spôsobiť pozorovateľný účinok. Súčasťou testu je kontrolná séria, ktorá je vystavená rovnakým podmienkam bez testovanej látky. Výsledkom pozorovania po 24 h a 48 h je výpočet EC_{50} , tj. koncentrácia, ktorá spôsobí imobilizáciu alebo smrť u 50 % testovacích jedincov. Test prebieha podľa metodiky OECD 202 [4].

Pre nasadenie do testu sa odporúča využiť druhú alebo vyššiu generáciu potomkov organizmu rovnakého kmeňa. Dôležité je udržiavať kultivačné podmienky (svetlo, teplo, prostredie), ktoré sú podobné tým, použitým v teste. Ak je médium pre test odlišné, je dobré zahrnúť dobu aklimatizácie pred začiatkom testovania. Viac ako 10 % organizmov v kontrole by nemalo prejavovať imobilizáciu alebo iné príznaky choroby či stresu, aby sa výsledky testu mohli považovať za validné [4].

2.2.2 Chronický test

Primárnym cieľom je vyhodnotiť účinok toxickej látky na reprodukciu *D. magna*. Organizmy nasadené do testu, rovnako ako v akútnom teste, majú menej než 24 h, ale sú vystavené toxickému prostrediu po dobu 21 dní. Test prebieha podľa OECD 211 [5]. Každých koncentrácií testovanej látky sú vystavené štyri opakovania po 10 jedincov.

Médium s testovanou látkou je udržiavané na teplote 18–22 °C a menené trikrát v týždni, aby nedochádzalo k hromadeniu metabolitov, príp. degradácií testovanej látky, a pod. Organizmy by mali byť najlepšie krmené denne, avšak minimálne trikrát v týždni, ako prebieha výmena média (obnovovací systém). Odporúčané je testovanie aspoň 5 rôznych koncentrácií.

Hodnotí sa celkový počet živých potomkov na jeden materský organizmus. Výsledkom je EC_x (koncentrácia, pri ktorej reprodukčná schopnosť klesne u x % testovacích jedincov) a hodnota NOEC (koncentrácia, ktorá nemá pozorovateľný účinok) / LOEC (najnižšia koncentrácia, pri ktorej je účinok signifikantný) [5].

2.2.3 Multigeneračný test

Vo všeobecnosti vychádza multigeneračný test z chronického testu za rozdielu pozorovania viacerých generácií organizmu. Vyhodnocujú sa toxické účinky kontaminantov na rodičovskú generáciu a generácie ich potomkov počas ich životného cyklu. Na jednotlivé testy sú použité organizmy tretej až piatej generácie homogénnej veľkosti. Nasleduje expozícia rovnako ako

u chronického testu po dobu 21 dní. Sleduje sa počet prežívajúcich rodičovských organizmov, vek pri prvom vrhu a počet potomkov na vrh.

Vystavenie niekoľko generácií kontaminantom simuluje skutočný scenár pôsobenia skúmanej látky v ekosystéme. Organizmy majú schopnosť aklimatizácie na rôzne stresory, pričom dlhodobá expozícia môže v priebehu času viesť k zníženej či zvýšenej citlivosti aj pri nízkych koncentráciách toxických látok, čo pri akútnom teste nie je pozorovateľné. Vzhľadom k tomu, že neexistuje štandardizovaná norma pre multigeneračné testovanie, sú metódy a postupy prispôbované laboratórnym podmienkam a môžu byť navzájom rôznorodé [6].

2.3 Modelový organizmus *Daphnia magna*

Rod *Daphnia* (*Cladocera*) predstavujú planktónové kôrovce, ktoré patria do podtriedy *Phyllopora*, triedy *Branchiopoda*. *D. magna* patrí medzi viac ako 100 známych druhov sladkovodných organizmov vyskytujúcich sa po celom svete. Obývajú väčšinu typov stojatých sladkých vôd okrem extrémnych biotopov, ako horúce pramene. Najväčšou charakteristikou je ich pohyb pri plávaní pripomínajúci skákanie, čím si vyslúžili prezývku „vodné blchy“. Taktiež sú známe pre ich ploché listovité nohy, ktoré slúžia na vytváranie vodného prúdu pre filtračný aparát. Známy sú ako filtráti vôd, ale niektoré druhy môžu priliehať k vodným rastlinám alebo sa udržiavať na dne sedimentov plytkých jazier [7].

D. magna predstavuje intenzívne študovaný a najčastejšie využívaný modelový organizmus, obzvlášť v ekotoxikologickej analýze. Vzhľadom na to, že sú ľahko kultivovateľné, manipulovateľné a s vysokou pôrodnosťou, patria medzi najdôležitejšie modely bezstavovcov [8].

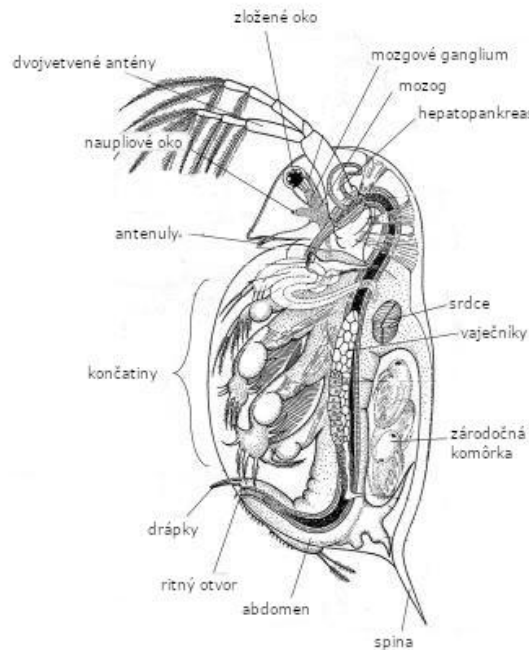
2.3.1 Stavba tela

Organizmus *D. magna* je obklopený nevápenatým pancierom známym ako karapax, tvoreným prevažne z polysacharidu chitínu. Obsahuje dvojitú stenu, medzi ktorou preteká hemolymfa. Vyznačuje sa otvoreným krvným obehom a srdcom nachádzajúcim sa na chrbtovej strane. Pri 20 °C bije srdce približne 200-krát za minútu, pri nižších teplotách sa rytmus spomaľuje. Skrz preľadné telo sú ľahko viditeľné krvné bunky pretekajúce telovou dutinou. Na transport kyslíku tento kôrovec využíva extracelulárny respiračný proteín hemoglobín, procesom difúzie, ktorého koncentrácia sa mení ako reakcia na zmeny v prostredí. V prípade nízkej hladiny kyslíka sa zvyšuje produkcia hemoglobínu a dochádza k zafarbeniu organizmu do červena.

Dĺžka tela sa pohybuje od 0,5 mm do 6 mm, pričom samce sa od samíc líšia menšou veľkosťou. Aparát na kŕmenie a dýchanie je tvorený 10 párami prídavných orgánov. Prvé tykadlá slúžia ako zmyslový orgán, druhé tykadlá sú potrebné na pohyb, maxily a mandibuly pre mechanické spracovanie potravy, nasledované 5 alebo 6 končatinami na trupe, ktoré zachytávajú potravu (*D. magna* má 5 párov končatín). Telo je zakončené bruškom a zadkom (abdomen), na ktorého konci sú dva pazúriky.

Hlava tela vyčnieva z panciera s dvoma anténami a veľkým zloženým okom, ktoré majú mladé a dospelé jedince po zlúčení dvoch laterálnych očí vo fázy embrya. Zložené oko je doplnené okom naupliovým. Nervový systém je tvoreným mozgovým gangliom nachádzajúcim sa v blízkosti oka.

Trubicový tráviaci trakt sa začína ústami, v ktorých sa nachádzajú dve hryzadlá (mandibuly a maxily). Následná tráviaca trubica je tvorená hltanom prechádzajúcim v črevo, do ktorého sa v ohybe pri hlave napája hepatopankreas, ktorý smeruje nadol do ritného otvoru. Hodnota pH tráviaceho systému sa pohybuje medzi 6–7,2 [7].



Obrázok 1: Stavba tela *D. magna*, upravené podľa [7]

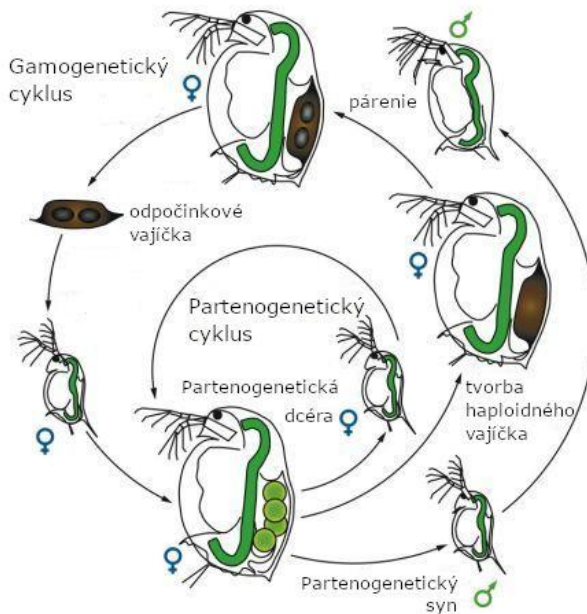
2.3.2 Potrava

D. magna sú filtrujúce organizmy, ktoré sa živia malými suspendovanými časticami vo vode. Pomocou plochých listovitých nôh si vyprodukujú prúd vody, ktorý zachytáva častice. Tie sú následne transportované do tráviacej brázdy špeciálnymi štetinami. Zvyčajne sa jedná o častice od približne 1 μm do 50 μm , hoci vo väčších jedincoch boli nájdené aj častice o veľkosti 70 μm .

Typ potravy sa odráža v ich zafarbení, pričom nasýtené organizmy vykazujú silnejšie zafarbenie než hladujúce. Pri konzumácii najčastejšej potravy, zelených rias (rod *Scenedesmus* alebo *Chlamydomonas*), pozorujeme nádych zelenej alebo žltej farby. Možné je taktiež biele až lososové zafarbenie pri konzumácii živých baktérií [7].

2.3.3 Rozmnožovanie

Pre kôrovce je dominujúce asexuálne, taktiež nazývané partenogenetické rozmnožovanie nad sexuálnym, gamogenetickým, napriek výskytu oboch pohlaví. Počas partenogenetického cyklu samice produkujú diploidné vajíčka, z ktorých sa vyvíjajú priamo samice, avšak závisle na prostredí môže dôjsť k vývinu samca. Pri produkcii haploidných vajíčok sa vyžaduje ich oplodnenie samcom [7].



Obrázok 2: Životný cyklus *D. magna*, upravené podľa [7]

Pri asexuálnom rozmnožovaní po každom zvlieknutí chitínovej škrupinky vyprodukuje samica vajíčka, ktoré sú umiestnené v zárodočnej komôrke, ktorá sa nachádza na chrbtovej strane pod pancierom. Pri teplote 20 °C sa embrya vyľahnu po 1 dni, pričom naďalej zostávajú uložené v zárodočnom priestore. Mladé jedince uvoľnené po troch dňoch matkou sú skoro identické dospelým, ale nemajú vyvinutú zárodočnú komôrku. K uloženiu vajíčok do zárodočnej komôrky dochádza vo veku 5–10 dní pri 20 °C závisle na podmienkach kŕmenia. V laboratóriu prežívajú samice viac ako dva mesiace a produkujú vajíčka každé 3–4 dni do konca ich životného cyklu [7].

V typickom cykle *Daphnia* produkuje diploidné vajíčka, ktoré sa priamo vyvíjajú, avšak v období jesene môže dôjsť k produkcii vajíčka takzvanej kľudovej fázy. Väčšinou dve veľké vajíčka, jedno z každého vaječníka, sú zapuzdrené v ochrannej štruktúre známej ako ephippium, ktoré sa odlúči počas zvlieknutia chitínovej škrupinky. K produkcii takýchto vajíčok dochádza vo väčšine prípadov pri sexuálnom rozmnožovaní. U druhu *Daphnia* s cyklickou partenogenezou nasleduje produkcia haploidných vajíčok kľudovej fázy po asexuálnej produkcii diploidných samcov, ktorí sú potrební na oplodnenie haploidného vajíčka. K oplodneniu samcom prebieha medzi zvliekaním a vkladáním vajíčka do ephippia. Spermie sú haploidné, pričom u *D. magna* sú tyčinkovité, bez chvostíka a dosahujú 9 μm [7].

Vplyv na pohlavie vajíčka má súbor podnetov spojený s vysokou hustotou populácie, zvýšenou konkurenciou a dostupnosťou potravy. Zmena ročného obdobia spojená so zmenou dĺžky dňa a poklesom teploty zohráva taktiež svoju úlohu [7].

2.3.4 Výskyt

Populáciu rodu *Daphnia* nájdeme prevažne v sladkovodných biotopoch od masívnych jazier až po dočasné mláky, ako kaluže. Väčšina druhov nachádza hodnoty pH 7,2–8,5 optimálne, so

salinitou nižšou než 5% morskej vody, avšak *D. magna* toleruje oveľa vyššie hodnoty a môže sa vyskytovať v biotope vyznačujúcim sa salinitou 20% morskej vody.

V jazerách a rybníkoch sú dominantným zooplanktónom a tvoria neoddeliteľnú súčasť potravinového reťazca, dôsledkom čoho je distribúcia druhov spojená s výskytom predátorov. Veľké druhy ako *D. magna* a *Daphnia pulex* zvyčajne neprežijú pri intenzívnom predátorstve rýb, zatiaľ čo malé druhy, napr. *Daphnia cucullata*, sa vyskytujú prevažne v takýchto vodách [7].

Kôrovce sa vyznačujú vertikálnou migráciou, pri ktorej v nočných hodinách migrujú smerom nahor a skoro ráno sa vracajú späť do nižších vrstiev. Týmto správaním sa pravdepodobne vyhýbajú predátorom, ktorý lovia vizuálne počas dňa. V noci sa presúvajú nahor za bohatou potravou [8].

2.3.5 Chov

V laboratóriu sú organizmy *D. magna* najčastejšie kultivované v médiu podľa normy ASTM E729 – 96 (2007). Základ tvorí destilovaná alebo MilliQ voda bez obsahu medi.

Organizmy sú chované v skupinách po 25 jedincov v približne 150–200 ml kultivačného roztoku pri teplote 20 ± 1 °C a svetelnom režime 16 hodín svetla a 8 hodín tmy. Intenzita osvetlenia dosahuje 800 až 1000 Lux. Chovné jedince sú každý pondelok, stredu a piatok presunuté do čerstvého média. Na chov sa využívajú kadičky s objemom 200–600 ml, ktoré sú pokryté potravinárskou fóliou z dôvodu zabránenia kontaminácie a odparovania média. Denná dávka krmiva pozostáva zo zelenej riasy *Desmodesmus subspicatus* (200 µgC na organizmus). Organizmy by sa nemali kultivovať dlhšie ako 6 týždňov, pričom dátum ich narodenia je zaznamenávaný. Pravidelne sa vyberie pár neonátov na ďalší chov, ktoré postupne nahradia pôvodné chovné organizmy. Prvé dve generácie potomkov sa neodporúča používať pre laboratórne testy. Mladé organizmy sú kŕmené polovičnou dávkou riasovej suspenzie v porovnaní so staršími chovnými jedincami.

2.3.6 Praktické využitie

D. magna patrí medzi najcitlivejšie a najčastejšie využívané organizmy v ekotoxikologickej analýze. Aplikáciou akútneho, chronického a prípadne multigeneračného testu na týchto organizmoch boli sformulované štúdie posudzujúce toxický vplyv mikroplastov, liečiv, ZnO či 2D nanoforiem grafénových materiálov [8, 9, 10, 11].

V štúdiu Magestera et al., ktorá sa zaoberala vplyvom mikroplastov, bol pozorovaný účinok po ich požití organizmom *D. magna*. Testované boli 4 rôzne podmienky výživy, ktoré zahrňovali: iba riasy, iba testované mikroplasty, 50 % rias a 50 % mikroplastov a absenciu rias aj mikroplastov. Zistené bolo, že mikroplasty sa vyznačujú subletálnymi účinkami, ako je spomalenie plaveckej rýchlosti, zníženie miery rastu ich tela, ale aj letálnymi účinkami, kedy pri pokusoch s výživou tvorenou iba mikroplastami a s úplnou absenciou krmiva bola po štyroch dňoch zistená miera prežitia iba 10 % z pôvodne nasadených organizmov [8].

Ďalšia štúdia sa zamerala na vplyv nanočastíc oxidu zinočnatého (ZnO) na *D. magna*. ZnO je jedným z najčastejšie používaných nanomateriálov z oxidov kovov v priemysle a vo výrobkoch každodennej potreby. Používa sa v čistej forme alebo po funkcionalizácii povrchu, čím dôjde

k zlepšeniu jeho fyzikálno-chemických vlastností. Vďaka akútnym, chronickým a multigeneračným testom zistili, že jak čistá forma, tak amín-funkcionalizované nanočastice ZnO boli toxické na *D. magna* a negatívne ovplyvnili ich reprodukciu, rast a dlhovekosť. V mnohogenračnom teste bol potvrdený vplyv nanočastíc na ďalšie potomstvá pri nepriamom vystavení účinkom častíc skrz materskú expozíciu [10].

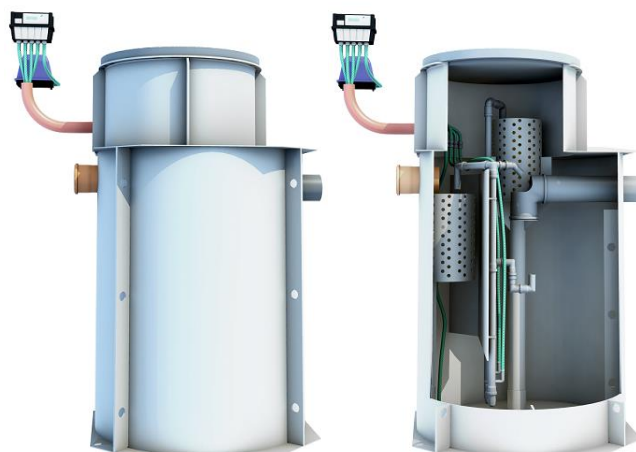
D. magna bola využitá aj na hodnotenie toxicity odpadových vôd z čistiarní odpadových vôd v Kórei. Všetky prečistené vody príslušných čistiarní odpadových vôd boli v súlade s platnými predpismi, čo bolo overené štandardnými monitorovacími metódami. Toxicita sa líšila minimálne podľa typu prítokov, ale výrazne nižšiu toxicitu mali odpadové vody zo systémov s aktivovaným kalom v porovnaní s tými, ktoré používali rotačný biologický kontakt a rozšírenú aeráciu. Sezónne sa toxicita v lete znižovala v porovnaní so zimou, čo mohlo byť ovplyvnené zrážkami v letnom období, ktoré spôsobili nariadenie vody v kanalizačnom systéme [12].

2.4 Domové čistiarne odpadových vôd

Domové čistiarne odpadových vôd (DČOV) predstavujú kľúčovú súčasť moderného bývania a udržateľného rozvoja. Ich primárnou úlohou je biologicko-mechanicky transformovať odpadovú vodu z rodinných domov, malých hotelov či chatiek na vodu, ktorá je čistá a bezpečná na vypustenie späť do životného prostredia, akými sú rieky, prípadne aj priame vsakovanie do pôdy. V niektorých prípadoch je možné vyčistenú vodu recyklovať využitím na zavlažovanie či technické účely.

Inovatívne technológie, ktoré sa v týchto systémoch využívajú, nie len že umožňujú úplné automatizovanie, ale zvyšujú efektivitu čistenia. Zároveň prispievajú aj k zníženiu nákladov a sú navrhnuté tak, aby sa jednoducho aplikovali do moderných obytných priestorov. Konštrukcia sa jednoducho vloží do pripraveného výkopu s betónovou základňou a obsype sa pieskom, štrkom či zeminou. Významnou súčasťou týchto systémov je aj ich schopnosť nahradiť zastaralé septikové nádrže, čím zabezpečujú vysoký štandard čistoty odpadovej vody [13, 14, 15, 16].

Kvalita výslednej vody musí spĺňať parametre uvedené vo vodnom zákone 254/2001 Sb., nariadeniach vlády 401/2015 Sb. a č. 57/2016 Sb. platných v ČR (kapitola 2.4.3) [17, 18, 19].



Obrázok 3: Plastová konštrukcia DČOV firmy ASIO [14]



Obrázok 4: Ukážka zabudovanej DČOV [14]

2.4.1 Princíp a proces čistenia

Základným cieľom čistiarní odpadových vôd je odstránenie biologicky rozložiteľných látok, fosfátov, patogénov a ďalších nežiadúcich zložiek. Tradične proces zahrňuje konvenčné metódy (piesková filtrácia, sedimentácia), zavedené metódy (vyparovanie, extrakcia) a nekonvenčné metódy (ako biosorpcia, nano-filtrácia). Organické znečisťujúce látky a amoniak sú odstránené biologickými procesmi, ktoré zabezpečujú prítomné mikroorganizmy [20, 21].

Konvenčné procesy čistenia odpadovej vody možno rozdeliť na predbežné, primárne, sekundárne a terciárne, taktiež nazývané pokročilé.

Predbežná fáza

V tejto fáze odpadová voda prúdi do domovej čistiarne gravitáciou alebo za použitia kompresoru a dochádza k odstráneniu hrubých častíc, ako sú kamene či dokonca hračky, ktoré by mohli poškodiť či upchať vnútornú konštrukciu. Primárne sa využívajú hrubé sitá, pričom jemné, nahradzujú sedimentáciu [21, 22].

Primárna fáza

Približne 40-60 % suspendovaných a plávajúcich látok sa odstráni v primárnej usadzovacej alebo sedimentačnej nádrži, kde je voda držaná niekoľko hodín. Využitím pieskovej komory príde k spomaleniu toku, čo umožní tuku vznášať sa na povrchu a ťažké častice sa usadia na dne, odkiaľ ich je možné ľahko odobrať. Určitý podiel organického dusíka či ťažkých kovov je vylúčený v primárnej sedimentácii. Čiastočne prečistená voda pokračuje do sekundárnej, biologickej fázy [21, 22, 23].

Sekundárna fáza

Sekundárna fáza je biologické štádium (aeróbne), ktoré sa zameriava na odstránenie organickej hmoty z vody po primárnej fáze. Využíva sa aktivačný proces s aktivovaným kalom, kde rozpustený kyslík podporuje rast kalových vločiek, ktoré významne odstraňujú organickú hmotu. Aktivovaný kal (tj. samovoľne vzniknutá kultúra mikroorganizmov zhlučujúca sa do vločiek) sa nepretržite cirkuluje, čo zvyšuje rýchlosť rozkladu organickej hmoty [21, 22, 23].

Obecne je biologické čistenie rozdelené na anaeróbne (bez prístupu kyslíka) a aeróbne (s prístupom kyslíka).

V anaeróbnej fáze vďaka neprítomnosti voľného kyslíka prebieha proces denitrifikácie, ktorý predstavuje základný princíp odstránenia dusičnanov z vody. Pomocou enzýmov katalyzujúcich redukčné reakcie dochádza k redukcii dusičnanov cez dusitany na oxid dusnatý a dusičitý a nakoniec až na plynný dusík. Denitrifikácia prebieha prevažne vďaka fakultatívne anaeróbnym baktériám (prežívajú jak v aeróbnom tak anaeróbnom prostredí), ktoré v prostredí bez voľného kyslíka využívajú chemicky viazaný kyslík práve z dusičnanov [24, 25].

Aeróbná fáza je určená na oxidáciu a rozklad organických látok a zároveň vďaka prítomnosti kyslíka prebieha nitrifikácia, kedy nitrifikačné baktérie transformujú amoniak na dusitany a ďalej na dusičnany. Výsledná časť vody je vracaná späť do anaeróbnej zóny pre konečné spracovanie dusičnanov [24, 25].

Voda je na konci sekundárneho čistenia vedená do dosadzovacích nádrží, kde sa kal opäť usadí, čo zanecháva vodu o 90 % až 95 % čistejšiu od znečisťujúcich látok [23].

Terciárna fáza

Terciárna alebo pokročilá fáza je ďalšou úpravou, ktorá sa používa, keď je kvalita vody zo sekundárneho čistenia nedostačujúca. Táto fáza zahŕňa ďalšie kroky na zníženie organických látok, živín, kalov a patogénov. Cieľom je prispôsobiť kvalitu vody tak, aby bola vhodná na recykláciu alebo vypustenie do vodných zdrojov. Medzi terciárne procesy môžeme zahrnúť oddelenie kalu, filtračné procesy, odstraňovanie dusíka a fosforu, dezinfekciu a ďalšie špecifické úpravy, ktoré zvyšujú kvalitu vody na požadovanú úroveň [21, 22, 23].

2.4.2 Zloženie domovej čistiareň odpadových vôd

Najčastejšie je domová čistiareň odpadovej vody zložená z troch komôr, a to usadzovacej, aktivačnej a dosadzovacej. V každej prebieha rozdielna fáza prečistenia.

Usadzovacia komora

Prvým krokom v procese čistenia odpadovej vody je mechanické odstránenie pevných látok v usadzovacej komore. Tu sa odpadová voda zbaví veľkých nečistôt na základe ich veľkosti resp. hmotnosti vďaka gravitácií. Tento mechanický krok je dôležitý pre predchádzanie upchávania a poškodenia ďalších častí čistiaceho systému a zároveň znižuje zaťaženie nasledujúcich krokov procesu čistenia [26, 27].

Aktivačná komora

Aktivačná komora je kľúčovým prvkom biologického čistenia odpadových vôd, kde sa odohráva rozklad organických látok, ktoré sú prítomné vo vode po prvotnom mechanickom prečistení. Táto komora je navrhnutá tak, aby podporovala rast a aktivitu mikroorganizmov, najmä baktérií, ktoré sú zodpovedné za rozklad organických znečisťujúcich látok. Tieto mikroorganizmy vo forme vločiek aktivovaného kalu za dostatočného prístupu kyslíka „spracovávajú“ organický materiál a menia ho na jednoduchšie anorganické zlúčeniny. Tento proces sa podobá prirodzenému rozkladu v prírodných vodných ekosystémoch, ale v čistiarni je tento proces zintenzívňovaný a riadený, čo umožňuje jeho vysokú účinnosť a rýchlosť. V aktivačnej nádrži je kyslík zavedený pomocou sofistikovaných aeróbnych systémov, ako sú napr. ventilátory, ktoré zabezpečujú optimálnu distribúciu a dostupnosť kyslíka pre mikroorganizmy [26, 27].

Modifikácia aktivačnej nádrže zahŕňa oddelenie do zón pre nitrifikáciu a denitrifikáciu - procesy odstraňovania dusíkatých zlúčenín z odpadovej vody. Zatiaľ čo nitrifikačná zóna je využívaná nitrifikačnými baktériami, ktoré oxidujú amoniak na dusičnany, denitrifikačná zóna následne pracuje za podmienok obmedzeného prísunu kyslíka, čo umožňuje denitrifikačným baktériám využívať dusičnany a premeniť ich späť na dusík voľnej formy, ktorý môže unikáť z vody [27].

V týchto zónach sa musí udržiavať kal vo vznose, kedy sa udržiava v suspenzii bez usadzovania. Na dosiahnutie efektívnosti je potrebné optimálne nastavenie miešania a prevzdušňovania, aby sa podporil prenos kyslíka a zabezpečila dostatočná výmena látok medzi jednotlivými zónami. Na domových čistiarnach sa často používa kompromisný prístup, kde je denitrifikačná zóna miešaná hrubobublinovým systémom a nitrifikačná jemnobublinovým, čo podporuje efektívnejší prechod kyslíka do vody a zároveň minimalizuje straty vzduchu [27].

Dôležitým faktorom je tiež udržiavanie správnej koncentrácie a zloženia aktivovaného kalu. Musí byť dosiahnutý správny pomer medzi množstvom vody a mikroorganizmov, aby sa zabránilo nadmernej alebo nedostatočnej biologickej aktivite. Neustále monitorovanie a riadenie tohto procesu je nevyhnutné pre zachovanie vysokej účinnosti a zabránenie vzniku toxických podmienok, ktoré by mohli inhibovať mikrobiálny metabolizmus [26, 27].

Dosadzovacia komora

Po biologickej fáze v aktivačnej komore nasleduje dosadzovacia nádrž, kde dochádza k oddeleniu aktivovaného kalu od prečistenej vody. V tejto fáze sa aktivovaný kal, ktorý obsahuje mikroorganizmy využívané v predchádzajúcich biologických procesoch, usadzuje na

dno nádrže v dôsledku gravitácie, zatiaľ čo čistá voda zostáva na hladine. Kal je pravidelne odvádzaný do ďalších procesov spracovania alebo likvidácie, čo môže zahŕňať procesy, ako sú anaeróbny rozklad, kompostovanie alebo sušenie. Čistá voda je následne odvedená a vypustená do recipientu alebo recyklovaná a ďalej využitá, napr. na zavlažovanie záhrady.

Dôležitým aspektom správnej funkcie dosadzovacích komôr je ich pravidelná údržba. Pravidelné vyprázdňovanie komory je nevyhnutné, aby sa predišlo akumulácii kalu, ktorý môže spôsobiť zápach a tvorbu bioplynu, či v extrémnych prípadoch aj poškodenie mikroorganizmov, čo by mohlo narušiť celý čistiaci proces. Preto sa kal musí periodicky odstraňovať a nádrž udržiavať v čistote, aby sa zabezpečila kontinuita a efektívnosť čistiacich procesov [26, 27].



Obrázok 5: Schéma usporiadania jednotlivých komôr v DČOV firmy ZAKRA [26]

2.4.3 Kvalita a likvidácia vyčistenej odpadovej vody

Odpadové vody v domácnostiach sa klasifikujú do dvoch základných skupín: čierna a šedá voda.

Čierna voda je odpadová voda obsahujúca exkrementy a moč, ktorá prichádza z toaliet. Jej charakteristickým rysom je vysoký obsah škodlivín, patogénov a baktérií, ktoré môžu byť potenciálnym zdrojom chorôb. Táto voda si vyžaduje komplexné čistenie, ktoré zahŕňa viaceré kroky vrátane sedimentácie, prevzdušňovania a dezinfekcie. Vhodnou technológiou je jej možná premena na prírodné hnojivo bohaté na dusík a fosfor.

Podrobnejšie delenie vymedzuje časť čiernej vody, ktorá obsahuje moč ako vodu žltú a hnedú, ako vodu obsahujúcu fekálie. Oddelením žltej vody vieme získať hnojivo s podobným pomerom živín ako priemyslovo vyrábané [28, 29].

Na druhej strane šedá voda pochádza z umývadiel, sprch, vaní, práčok. Je to voda, ktorá je znečistená v menšej miere a neobsahuje exkrementy. Preto je jej čistenie menej náročné a zameriava sa hlavne na odstránenie chemických látok, ako sú pracie prostriedky, mydlá

a saponáty. Voda z kuchynských drezov sa už častokrát do týchto vôd nezaraduje, z dôvodu obsahu olejov a tukov.

Ak zbavíme šedú vodu nečistôt, dostávame tzv. bielu vodu, inak označovanú aj ako úžitkovú či prevádzkovú, ktorá sa bežne využíva na záhrade či v domácnostiach napr. na splachovanie toalety [28, 29, 30].

Nakladanie s vyčistenou odpadovou vodou je proces riadený prísnyimi predpismi a legislatívou, ktorá zabezpečuje, že vypúšťanie alebo ďalšie využitie tejto vody nebude mať negatívny vplyv na životné prostredie ani verejné zdravie. Voda z domovej čistiarne odpadovej vody sa môže vypúšťať do vôd podzemných (nie je bežné), povrchových či do kanalizácie so súhlasom prevádzkovateľa [31].

Pre vypúšťanie do vôd povrchových musí kvalita výslednej vody spĺňať parametre platné v nariadení vlády č. 401/2015 Sb., ktoré vymedzuje prípustné a maximálne hodnoty znečistenia (tabuľka č. 1) a minimálnu účinnosť DČOV podľa jej kategórie (tabuľka č. 2) [17].

Tabuľka 1: Prípustné a maximálne znečistenie [mg/l]

Veľkosť aglomerácie	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL	
	príp.	max.	príp.	max.	príp.	max.
do 500 EO	150	220	40	80	50	80

Tabuľka 2: Minimálna účinnosť DČOV [%]

Kategória	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	N _{celk}	P _{celk}
I	70	80	-	-	-
II	75	85	75	-	-
III	75	85	80	50	80

Kategória I – DČOV sú určené pre oblasti, kde sú štandardné požiadavky na kvalitu vypúšťanej vody a nie sú predpokladané náročné environmentálne požiadavky. Tieto systémy sú navrhnuté tak, aby zvládli bežné čistenie bez potreby dodržiavania prísnejších limitov stanovených pre citlivé lokality.

Kategória II – zahŕňa DČOV, ktoré poskytujú vysokú úroveň odstránenia organických znečisťujúcich látok a sú navrhnuté s ohľadom na zvýšenú ochranu povrchových vôd. Tieto systémy sú schopné dosiahnuť lepšiu kvalitu vody, vrátane nižšieho obsahu amoniaku, ktorý môže byť toxický pre vodné ekosystémy.

Kategória III – najpokročilejšie DČOV systémy, ktoré okrem nitrifikácie zahŕňajú aj čiastočnú denitrifikáciu a odstraňovanie fosforu, čo je kľúčové pre miesta, kde voda po čistení priteká do citlivejších vodných tokov alebo oblastí. Najčastejšie sa to vzťahuje na DČOV kategórie II s chemickým zrážaním alebo membránovou filtráciou [17].

Zo zákona 254/2001 Sb. [19] a nariadenia vlády č. 57/2016 Sb. [18] vyplýva, že do vôd podzemných by sa mala odpadová voda vypúšťať iba vo výnimočných prípadoch. Hlavný dôvod je väčšia spôsobená ujma v prípade nedostačujúcej účinnosti DČOV. Požiadavky na kvalitu vody sú preto prísnejšie [31, 18].

Tabuľka 3: Ukazovatele a emisné štandardy pre odpadové vody vypúšťané z objektov určených na bývanie a rodinnú rekreáciu do vôd podzemných [mg/l] [18]

Veľ. kategória	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	NL	N _{celk}
do 10 EO	150	40	20	30	-
10-50 EO	150	40	-	30	30
nad 50 EO	130	30	-	30	20

Za použitia akumuláčnej nádrže môžeme vyčistenú odpadovú vodu skladovať a následne použiť na zalievanie pozemku, pričom z hľadiska vodného zákona 254/2001 Sb. sa nejedná o zasahovanie do podzemných vôd, keďže sa predpokladá, že rastliny všetku túto vodu využijú [31, 19].

2.4.4 Údržba domovej čistiarni odpadových vôd

Správna starostlivosť a nakladanie s odpadovými vodami sú nevyhnutné pre udržateľnú prevádzku domových čistiarni odpadových vôd. Dôležité je zabrániť vypúšťaniu látok, ktoré by mohli narušiť biologické procesy alebo poškodiť zariadenie. Patria sem hlavne:

- **Antibakteriálne a dezinfekčné prípravky:** Ich nadmerné používanie vedie k ničeniu nielen patogénnych mikroorganizmov, ale aj tých prospešných, ktoré sú zásadné pre čistiaci proces. Môže to viesť k zníženiu efektivity čistenia.
- **Toxické chemikálie:** Látky ako lieky, farbivá či rozpúšťadlá by sa nemali vypúšťať do DČOV, keďže môžu byť príčinou závažných ekologických problémov a môžu negatívne ovplyvniť mikrobiálnu flóru čistiarne.
- **Tuky a oleje:** Po varení by sa mali tuky a oleje zhromažďovať a odhodiť do kompostu alebo špeciálnych zberných nádob, nerozpúšťajú sa totiž vo vode. V čistiarni odpadovej vode či kanalizácii by mohli spôsobiť upchávanie a ťažkosti pri čistení.
- **Saponáty a tenzidy:** Nadmerné používanie pracieho prášku a čistiacich prostriedkov môže zaťažiť čistiareň a znemožniť správne fungovanie biologických procesov čistenia. Je lepšie rozdeliť pranie na viac dní, aby sa záťaž na DČOV rozložila.
- **Pevné materiály:** Piesok, hlina a iné anorganické materiály môžu v aktivačnej čistiarni spôsobiť problémy s usadzovaním alebo môžu poškodiť mechanické časti systému. Mali by sa odstraňovať pred vstupom. Vlasy sú problematickejšie, keďže majú tendenciu sa na všetko namotávať, najviac vadia tenkým potrubiam a čerpadlám.
- **Potreby osobnej hygieny:** Produkty ako tampóny, vlhčené obrúsky a kondómy by sa nikdy nemali vypúšťať do DČOV, pretože sú odolné voči rozkladu a môžu spôsobiť závažné upchatie.
- **Kyseliny a zásady:** Optimálna hodnota pH v čistiarni je 7–8. Každá veľká zmena tejto hodnoty škodí baktériám, ktorým spôsobí šok alebo dôjde k narušeniu chemickej rovnováhy [26, 32, 33].

Okrem regulovania látok vypúšťaných do domovej čistiarne odpadových vôd je pre jej správne fungovanie a dlhú životnosť kľúčové dodržiavať základné pravidelné kontroly a čistenia, a v prípade potreby povoliť revízie technickými komisármi.

Odporúča sa viesť si denník prevádzky čistiarne, kde sa zaznamenávajú pravidelné kontrolné body ako farba a objem kalu, stav aeračného systému a prítok odpadových vôd. Týždenné kontroly by mali zahŕňať vizuálne prehliadky čistiarne, kontrolu prítoku vody, stavu filtračných systémov a zápach. Je dôležité tiež skontrolovať, či nedochádza k pretečeniu kalu, čo by mohlo naznačovať problémy s nastavením alebo funkčnosťou systému [26, 32, 34].

Mesačné kontroly môžu zahŕňať podrobnejšie preverenie celého systému, vrátane kontroly akumulácie kalu a jeho potreby odčerpania. Ročne alebo po dvoch rokoch je potrebné vykonať dôkladnú kontrolu, pri ktorej sa skontrolujú a prípadne vymenia aeračné komponenty, membrány alebo čerpadlá. Vhodné je odstrániť nahromadený sediment alebo nečistoty z usadzovacích nádrží. Taktiež by sa mala skontrolovať čistota vypúšťanej vody a uistiť sa, že splňa všetky normy [26, 32, 34].

V prípade, že sa vyskytnú neštandardné situácie, ako je zafarbenie vody alebo neobvyklé zápachy, je potrebné okamžite vyhľadať príčinu a vykonať príslušné kroky na riešenie týchto problémov. Tieto situácie môžu vyžadovať mimoriadne kontroly a údržbu, ktoré by sa mali konzultovať spolu s odborníkom na DČOV [26, 32, 34].

2.4.5 Rozdelenie domových čistiarní odpadových vôd

Z hľadiska čistiarenských systémov môžeme obecné vyčleniť niekoľko typov čistiarní a to aktivačné, biofilmové, so systémom SBR, membránové, koreňové alebo jednoduchý septik.

Aktivačná čistiareň je založená na využití aktivovaného kalu, zmesi mikroorganizmov, ktoré sa podieľajú na rozklade organického materiálu v odpadovej vode privádzanej do aktivačnej nádrže. Následne sa voda presúva do dosadzovacej nádrže, kde dochádza k usadzovaniu aktivovaného kalu na dno nádrže, čím sa čistá voda oddelí a môže byť odvedená do recipientu, napríklad rieky. Aktivovaný kal, usadený v dosadzovacej nádrži, sa čiastočne vracia späť do aktivačnej nádrže, aby pokračoval v procese čistenia. Princíp je jednoduchý, avšak pre intenzívne biologické čistenie je nutná dostatočná koncentrácia mikroorganizmov a prísun kyslíka. Tento typ čistiarne je rozšírený a efektívny, keďže mikroorganizmy prirodzene rozkladajú znečistenia a menia ich na stabilné, neškodlivé látky.

Pri určitých konfiguráciách je možné tiež odstraňovať amoniak a dusičnany, ktoré vznikajú pri rozklade močoviny a iných dusíkatých zlúčenín. Taktiež je možné chemickým spôsobom odstrániť fosfor, ktorého hromadenie vo vode môže byť zdrojom eutrofizácie vodných zdrojov. Celkový proces je podporovaný chemickým zrážaním [27, 35].

Biofilmové čistiarne pracujú na princípe biofilmu, ktorý predstavuje vrstvu mikroorganizmov prichytených na pevný substrát. Môžu byť konštruované ako kolóny náplne, tzv. biofiltrové čistiarne, kde náplň predstavuje filtračný materiál ako sú kamene, na ktorom sa usadzujú mikroorganizmy tvoriace biofilm. Voda sa po prechode biofiltrami udržiava v sedimentačnej nádrži, kde dochádza k ďalšej úprave a čisteniu. Nepotrebuje prístup k veľkému množstvu

vzduchu ani dodatočné miešanie, keďže mikroorganizmy sú kyslíkom zásobované prirodzene. Sú vhodné predovšetkým pre menšie objekty [35, 36, 37].

Pre domové použitie existujú reaktory biodiskové, ktoré sa skladajú zo systému rotujúcich diskov. Ich otáčavým pohybom dochádza k zmiešaniu odpadovej vody s biofilmom pokrývajúcim ich povrch. Dostatočné pokrytie disku mikroorganizmami a prístup vzduchu sú základom pre ich efektívne fungovanie. Tieto domové systémy sú vhodné pre miesta, kde sa produkujú len menšie množstvá odpadovej vody [35, 36, 37].

Biofilmové čistiarene majú v porovnaní s aktivačnými podobnú účinnosť, ale môžu byť efektívnejšie pri odstraňovaní niektorých látok a to aj bez pridania chemikálií, ako sú dusíkaté zlúčeniny. Sú schopné odstrániť aj fosfor, často pomocou prídavku železitých alebo hlinitých solí [35, 36].

Čistiareň s použitím systému **SBR** (Sequencing Batch Reactor) predstavuje populárnu a efektívnu technológiu na čistenie ako komunálnych, tak odpadových vôd z rôznych priemyselných odvetví vrátane rafinérií a petrochemických závodov [38, 39].

SBR vykonáva všetky funkcie systému aktivovaného kalu ako biologické odstraňovanie znečisťujúcich látok, separáciu tuhého a kvapalného materiálu a odstránenie očistenej odpadovej vody, a to všetko v jedinej nádrži s meniteľným objemom, ktorý pracuje v striedavom režime. Využíva jednoduchý časovo založený sekvenčný proces, ktorý zahŕňa fázy naplnenia a aerácie pre biologické reakcie, usadzovanie pre separáciu pevných a kvapalných zložiek a vyprázdnenie pre odstránenie očistenej odpadovej vody. To eliminuje potrebu vysokokapacitných čerpadiel. Taktiež je možné kontrolovať rast vláknitého kalu, ktorý je bežným problémom u systémov s aktivovaného kalom [38, 39].

Medzi hlavné výhody SBR patrí nízka nákladovosť a priestorová efektívnosť, jednoduchosť a spoľahlivosť prevádzky.

Membránová čistiareň odpadových vôd využíva technológiu membránového bioreaktora (MBR), ktorá kombinuje konvenčné biologické čistenie s využitím membrán. Dochádza k oddeľovaniu aktivovaného kalu od čistenej vody podtlakom v dosadzovacích nádržiach prostredníctvom mikro alebo ultrafiltračných membrán. Výsledkom je permeát, ktorý je zbavený takmer všetkých nerozpustených látok a mikrobiálneho znečistenia, čo z neho robí vodu vhodnú pre recykláciu. Čistenie membrán prebieha v štyroch krokoch, zahŕňajúcich čistenie vzduchom, spätné oplachy bez a s chemikáliami a chemickú regeneráciu [40, 41, 42].

Medzi hlavné výhody membránových čistiární patrí schopnosť zvládnuť látkové a hydraulicky nestabilné prútoky na čistiareň. Systém sa vyznačuje vysokou prevádzkovou spoľahlivosťou a umožňuje dosiahnuť hygienicky čistú vodu [40, 41, 42].

Koreňové (vegetačné) čistiarene odpadových vôd fungujú na rovnakých princípoch, ako samočistiace procesy, prebiehajúce v prírodných mokradiach. Predčistená odpadová voda preteká cez koreňový filter, ktorý je naplnený jemnými kameňmi a iným podobným materiálom. Rastliny vysadené v koreňovom filtri čiastočne odstraňujú živiny a dodávajú

kyslík, kým ich korene poskytujú domov pre baktérie, ktoré zabezpečujú čistiaci proces. Zároveň pôsobia ako tepelná izolácia v zime [43, 44].

Hlavný stupeň čistenia môže mať vertikálne či horizontálne usporiadaný filter, čo určuje smer prúdenia vody. Oba filtre sú podobne hlboké, ale líšia sa zrnitosťou filtračného materiálu a usporiadaním rozdeľovacích potrubí. Vo vertikálnom filtri prevláda aeróbne prostredie, na rozdiel od horizontálneho, v ktorom je prostredie anaerobné a hladina odpadovej vody je takmer vo výške povrchu terénu [44].

Tieto čistiarne sú ekologické, esteticky príjemné a poskytujú biotop pre mnohé druhy organizmov.

Septik je systém na čistenie odpadových vôd, ktorý sa typicky skladá z viacerých komôr, pričom najčastejšie sa používa trojkomorový septik, ktorý pracuje na princípe postupnej sedimentácie a biologickej degradácie [45, 46, 47].

Odpadová voda vstupuje do prvej komory, kde dochádza k usadeniu hrubých častíc a vytváraniu kalu. Následne preteká do druhej a tretej komory, kde pokračuje čistenie a odstraňujú sa jemnejšie nečistoty, pričom dochádza k biologickému rozkladu znečistenia za pomoci baktérií prítomných v kalu. Vyššiu kvalitu vyčistenej vody je možné získať pridaním biologického alebo pieskového filtra, ktorý zvyšuje kvalitu prečistenia. Výsledná voda môže byť podľa kvality čistoty vypustená do kanalizácie alebo vôd podzemných, avšak obecné je priamo vsakovaná pozemkom [45, 46, 47].

Septikové systémy sú vhodné pre občasne obývané objekty ako rekreačné chaty a chalupy. Medzi ich výhody patrí nízka potreba údržby, nezávislosť na elektrickej energii a schopnosť pracovať bez pravidelného prítoku odpadových vôd. Nevýhody zahŕňajú väčšiu zastavanú plochu a neúplné dočistenie odpadových vôd [45, 46, 47].

2.4.6 Výhody a nevýhody

Každý typ čistiarne sa vyznačuje výhodami a nevýhodami špecifickými pre daného výrobcu. Obecné je však možné pár výhod a nevýhod nazvať spoločnými pre väčšinu čistiární.

Výhody domových ČOV:

- **Flexibilita:** Čistiarne môžu byť inštalované v rôznych oblastiach, vrátane odľahlých, kde nie je k dispozícii verejná kanalizácia, ako u rodinných domov či penziónov alebo chatiek.
- **Vysoká účinnosť:** Tieto systémy často prevyšujú výkon tradičných septikov a žump vďaka pokročilej technológii, ktorá umožňuje lepšie prečistenie a vyššiu kvalitu výslednej vody, ktorá môže byť aj recyklovaná.
- **Ekologické hľadisko:** Pomocou biologických a fyzikálnych procesov dokážu zredukovať množstvo odpadu, recyklovať vodu pre ďalšie použitie, napríklad na závlahy, ale aj poskytnúť kal, ktorý sa ďalej dá použiť ako hnojivo či kompost.
- **Ekonomika:** Napriek vysokej počiatkovej investícií sú dlhodobé úspory v prevádzkových nákladoch významné, predovšetkým vďaka úspore vody a zníženiu

potreby pravidelného vyprázdňovania septiku. Dodatočné zníženie nákladov je možné dosiahnuť recykláciou vody či kalu [48, 49, 50].

Nevýhody domových ČOV:

- **Závislosť na elektrickej energii:** Niektoré systémy vyžadujú elektrickú energiu pre svoju funkciu, napríklad pre aeračné zariadenie, čo vytvára problém pri výpadkoch prúdu, kedy sa kvality vyčistenej vody výrazne zhorší.
- **Pravidelná údržba a kontrola:** Vďaka technologicky pokročilým systémom je vyžadovaná údržba menej náročná, ale stále je potrebné vykonávať pravidelné kontroly a údržbu systému, ako vyprázdňovanie nádrží, aby sa zachovala jeho efektivita a bezpečnosť. Taktiež je dôležité venovať pozornosť tomu, čo sa do čistiarne vpúšťa.
- **Vstupné náklady:** Napriek tomu, že dlhodobé úspory prevyšujú počiatočnú investíciu, je v porovnaní s jednoduchšími systémami, ako sú septiky alebo žumpy, suma nákladov násobne vyššia a preto si mnohé domácnosti vyberú lacnejšiu alternatívu [48, 49, 50].

3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V tejto bakalárskej práci boli skúmané dve DČOV, ktoré sa nachádzajú v Juhomoravskom kraji v okrese Břeclav. Sledovaná bola účinnosť čistenia odpadových vôd prostredníctvom analytického stanovenia vybraných ukazovateľov na základe nariadenia vlády č. 401/2015 Sb., ale aj prostredníctvom testov priamej toxicity vôd na organizme *D. magna*. Základný rozdiel medzi vybranými čistiarnami spočíva prevažne v type čistiarni.

DČOV 1 bola uvedená do prevádzky 27.10.2021. Ide o čistiareň typu AT150 s kapacitou od 30 do 500 EO. Pozostáva z jednej linky s membránovým dúchadlom, systémovou čerpacou stanicou a z nádrže na zachytávanie kalu. Za čistiarnou je zavedený filter pevných častíc. Párkrát v týždni dochádza k nárazovému čisteniu odpadovej vody z baliacej a triediacej linky. Bežne prichádza do vztyku iba so splaškami [51].

V prípade **DČOV 2** sa jedná o typ čistiarne AT40 s rovnakou kapacitou EO ako u DČOV 1, ktorá bola do prevádzky uvedená 29.07.2022. Skladá sa z jednej linky s membránovým dúchadlom a čerpacej stanici bez nádrže na zachytávanie kalu. Prevažne čistí odpadové vody s vysokým podielom priemyselných saponátov [51].

3.1 Príprava média

Príprava média pre *D. magna* je kritický krok, ktorý vyžaduje dôkladné dodržiavanie stanovených parametrov na zabezpečenie konzistencie a spoľahlivosti experimentálnych výsledkov. Médium bolo pripravené podľa normy ASTM E729 – 96 (2007) [52], ktorej základ tvorí destilovaná alebo Milli-Q voda bez obsahu medi. Príprava média prebiehala v objeme 5 litrov. V rámci chovu, príp. chronického testu, je médium čerstvo pripravované a menené trikrát v týždni, pričom s výmenou média zároveň prebieha kŕmenie organizmov. Pre tieto účely bola kultivovaná riasa *D. subspicatus* a pripravovaná v odpovedajúcej koncentrácii tak, aby denná dávka riasy pre jeden organizmus *D. magna* bola 200 µgC.

Najskôr bolo, najmenej deň pred výmenou média do vody pridané 0,6 g CaSO₄·2H₂O, takto vzniknutý roztok bol po dobu 24 hodín miešaný za prístupu vzduchu. Následne sa pridali ďalšie soli: 0,96 g NaHCO₃, 1,23 g MgSO₄·7H₂O, 0,33 ml KCl (120 g/l), 0,33 ml Na₂SeO₃ (65,7 mg/l).

Priamo pred začatím výmeny média alebo testu sa k tomuto základu pridal seaweed extract (Marinure, Glenside, Scotland) a zmes vitamínov pripravená podľa OECD guideline 211 (pre prípravu M4/M7 média) tvorená z: rozpustnej formy vitamínu B1(thiamin hydrochlorid 750 mg/l), B12 (cyanokobalamin 10 mg/l) a B7 (biotin 7,5 mg/l) [5].

Zmerané boli hodnoty pH, vodivosť a obsah kyslíku, pričom výsledné parametre média boli pH 8, vodivosť 550 µS/cm a 80% nasýtenie kyslíkom.

3.2 Akútne testy

Test prebiehal podľa metodiky OECD 202 [4] na testovacej doštičke, ktorá je navrhnutá tak, aby umožňovala systematické testovanie viacerých koncentrácií a zároveň zabezpečila reprodukovateľnosť výsledkov prostredníctvom opakovaní. Rozdelená je do šiestich stĺpcov jamiek, pričom každý stĺpec reprezentuje špecifickú koncentráciu testovanej látky alebo média (kontrola). Súčasne, doštička obsahuje päť riadkov, kde prvý riadok slúži ako „rozplavovacia“

komôrka pre testovacie organizmy (má minimalizovať nariadenie testovanej koncentrácie) a každý ďalší predstavuje jedno opakovanie testu pre danú koncentráciu. Každá jamka v rade bola naplnená 10 ml testovanej koncentrácie odpadovej vody.

Plastovou mikropipetou boli organizmy *D. magna* tretej generácie, narodené menej než 24 h pred testom, prenesené najprv do „rozplavovacej“ jamky a následne do testovacích. Postupuje sa od najnižšej koncentrácie po najvyššiu, aby sa zamedzilo zbytočnej kontaminácii. Počet organizmov na jamku je 5, spolu na jednu koncentráciu teda 20 jedincov. Testovacia doštička bola prikrytá parafilmom a umiestnená do tmavého inkubátora firmy Binder o teplote 20–22 °C.

Vyhodnotenie mŕtvych a imobilizovaných organizmov prebiehalo po 24 h a 48 h. Nasadená bola samozrejme kontrola, kde boli organizmy vystavené iba pripravenému médiu, pre ktorú je vyhradený prvý riadok jamiek.

Akútny test bol vykonaný z vody na vstupe a výstupe z DČOV, a to v koncentračnej rade 100 %, 50 % (500 ml/l), 25 % (250 ml/l).

3.3 Chronické testy

Vzhľadom k tomu, že vyčistené vody je možné vypúšťať za určitých podmienok do vôd povrchových, boli prevedené aj chronické testy. Pre tieto účely bola študovaná iba voda na výstupe DČOV v dvoch koncentráciách 10 % (100 ml/l) a 1 % (10 ml/l).

Príprava koncentračnej rady: Pomocou odmerného valca bolo potrebné množstvo vzorku odpadovej vody prenesené do odmernej banky o objeme 1 l, ktorá bola po rysku doplnená pripraveným médiom. Test prebiehal v sklenených kadičkách o objeme 150 ml, ktoré boli naplnené vždy rovnakým množstvom testovanej vody (80–100 ml). Organizmy *D. magna* mladšie než 24 h boli mikropipetou prenesené do jednotlivých kadičiek, pričom pre jednu koncentráciu bolo nasadených 12 opakovaní (kadičiek), teda 12 jedincov. Keďže sa okrem reprodukcie sleduje aj telesný vývoj, boli dva organizmy vyhradené hlavne na zaznamenávanie rastu (nadmerná manipulácia by mohla viesť k zvýšenému stresu a ovplyvneniu reprodukcie). Zvolení jedinci boli fotografovaný na pozadí milimetrového papiera pri každom kŕmení a výmene média, ktoré prebiehalo trikrát v týždni. Podmienky testu sú zhodné s tými, pri ktorých prebieha chov, vrátane kŕmenia (množstvo riasy *D. subspicatus* na organizmus 200 µgC). Zaznamenávanie narodených jedincov prebiehalo trikrát v týždni spolu s výmenou média (obnovovací systém) a kŕmením.

Test prebiehal na základe metodiky OECD 211 [5] a trval 21–28 dní.



Obrázok 6: Meranie jedinca *D. magna* (vlastná fotografia)

3.4 Analytický rozbor odpadových vôd

Na základe nariadenia vlády č. 401/2015 Sb. [17], ktoré vymedzuje podmienky minimálnej účinnosti DČOV pre vypúšťanie odpadových vôd do vôd povrchových, boli vybrané ukazovatele stanovované molekulovou absorpčnou spektrofotometriou pomocou kyvetových testov firmy Merck na prístroji Spectroquant Prove 300. Na základe absorbancie bola získaná koncentrácia v mg/l. Kalibrácia prístroja prebieha automaticky, nakoľko Spectroquant Prove 300 má množstvo predprogramovaných metód, ktoré zahrňujú kalibráciu a detaily o analýze. Keďže výrobcovia týchto testov neposkytujú kompletné podrobnosti týkajúce sa niektorých stanovení, napr. presného zloženia reaktantov, použitých v testoch. Nižšie uvedené metódy opisujú všeobecné princípy stanovenia vybraných ukazovateľov, ktoré podľa priebehu a farby konečných produktov môžu pripadať do úvahy.

CHSK_{Cr}

Chemická spotreba kyslíka (CHSK_{Cr}) vyjadruje mieru celkového obsahu organických látok vo vode.

Princíp metódy sa zakladá na oxidácii prítomných organických látok vo vzorku za nadbytku dichromanu draselného. Reakcia prebieha v kyslom prostredí kyseliny sírovej pri dvojhodinovom varení (teplota 148 °C) za katalýzy iónmi Ag⁺ vo forme síranu strieborného. Dochádza k redukcii dichromanových iónov na ióny chromité, ktorých koncentrácia odpovedá obsahu organických látok. Výsledná koncentrácia je stanovená metódou absorpčnej spektrofotometrie pri vlnovej dĺžke 600 nm. Pre možnú prítomnosť chloridov, ktoré by spôsobili pozitívnu chybu oxidáciou na Cl₂, je pridaný síran ortuťnatý [53, 54].

N-NH₄⁺

Spektrofotometrické stanovenie amoniakálneho dusíka (N-NH₄⁺) indofenolovou metódou je založené na reakcii medzi amoniakom, chlórnanom a salicylanom.

Vo vodách sa amoniakálny dusík vyskytuje v dvoch formách: ako amónne ióny (NH₄⁺) a amoniak (NH₃). V silne alkalickom prostredí je amoniakálny dusík prítomný výhradne vo forme amoniaku, čo vedie k vyššie uvedenej reakcii. Amoniak reaguje s chlórnanmi a vzniká monochloramín, ktorý ďalej reaguje so salicylanom za vzniku modrého indofenolového farbiva. Katalýzou reakcie nitroprusidom so sodným žltej farby vzniká výsledné zelené sfarbenie. Absorpcia je meraná pri vlnovej dĺžke 655 nm. Potrebné chlórnaný sú tvorené in situ alkalickou

hydrolýzou dichlórízokyanurátanu sodného, ktorý je zložkou alkalického činidla. Prídavkom citronanu sodného sa odstráni rušivý vplyv kationov vápnika a horčíka [53].



Obrázok 7: Stanovenie amoniakálneho dusíka (vlastná fotografia)

NO₃⁻

Stanovenie dusičnanov (NO₃⁻) spočíva v ich reakcii s 2,6-dimetylfenolom, kedy v prítomnosti zmesi koncentrovaných kyselín sírovej a fosforečnej dôjde k tvorbe tehlovo červeného farbiva 4-nitro-2,6-dimetylfenolu. Intenzita zafarbenia odpovedá koncentrácii dusičnanov vo vzorke čím je možné ich kvantitatívne vyhodnotenie spektrofotometricky pri vlnovej dĺžke 324 nm [53].

Celkový dusík

Celkový dusík predstavuje súčet koncentrácií všetkých anorganických aj organických dusíkatých zlúčenín. Koroleffovou metódou sú všetky prítomné dusíkaté zlúčeniny vo vzorke transformované na dusičnany za využitia oxidačného činidla ako peroxodisíran pri teplote 120 °C, ktoré sú následne stanovené reakciou s 2,6-dimetylfenolom v kyslom prostredí (odstavec NO₃⁻) [55, 56].

Celkový fosfor

Princíp stanovenia spočíva v prevedení všetkých foriem fosforu (polyfosforečnany, organicky viazaný fosfor) na orthofosforečnany, ktoré v prostredí kyseliny sírovej reagujú s molybdenom amónnym za vzniku kyseliny fosfomolybdenovej. Následnou redukciou kyselinou askorbovou vzniká modrá farba fosfomolybdenanu, ktorá umožňuje spektrofotometrické stanovenie pri vlnovej dĺžke 690 nm. Intenzita sfarbenia je priamo úmerná množstvu fosforu vo vzorke.

Prevedenie jednotlivých foriem fosforu na orthofosforečnany prebieha nasledovne: v kyslom prostredí kyseliny sírovej, dochádza k hydrolýze polyfosforečnanu a organicky viazaný fosfor sa rozloží oxidáciou peroxodisíranom [53, 57].

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 DČOV 1

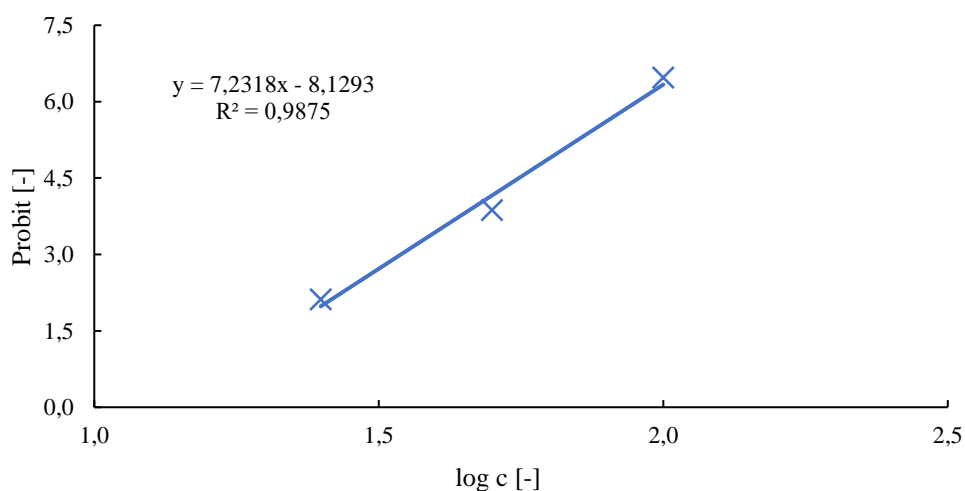
4.1.1 Test akútnej toxicity

Pre posúdenie účinnosti čistiarenskeho procesu vybraných domových čistiarní boli na organizmu *D. magna* prevedené testy akútnej toxicity. Pre tieto účely boli testované vody na vstupe a výstupe z DČOV 1. Prostredníctvom riediacej vody, ktorú v tomto prípade predstavovalo kultivačné médium, bola voda na vstupe aj výstupe nariadená na koncentrácie 100 %, 50 % (500 ml/l), 25 % (250 ml/l). Zisťovaná bola imobilizácia a mortalita jedincov po expozícii odpadovou vodou po dobu 24 h a 48 h (tabuľka č. 4). Hodnoty percentuálnej mortality boli prevedené na probitové hodnoty podľa prevodovej tabuľky (Príloha č. 1). V prípade, že percentuálna mortalita bola dostatočná k výpočtu orientačných hodnôt EC_{50} , boli tieto hodnoty vypočítané z rovnice regresnej priamky príslušného grafu závislosti probitových hodnôt na log c. Vypočítané boli hodnoty $24hEC_{50}$ a $48hEC_{50}$. Príklad výpočtu je uvedený v rovnici č. 1.

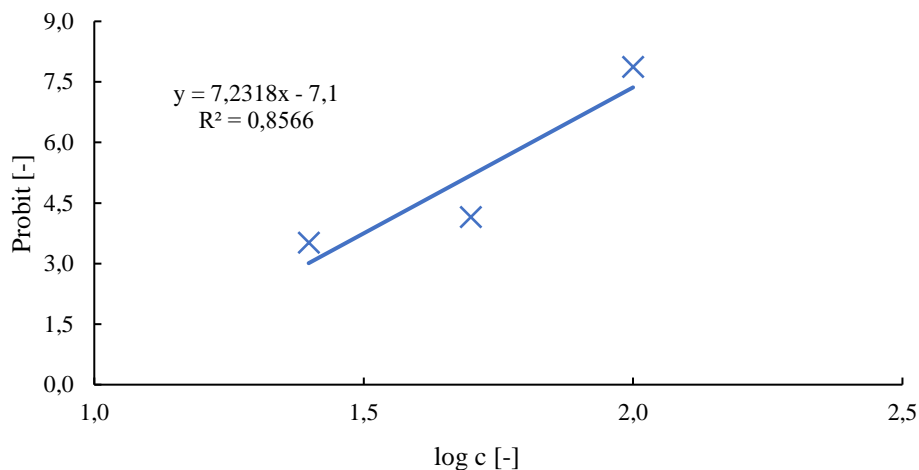
Tabuľka 4: Výsledky akútneho testu pre nátok a odtok

Expozícia: 24 h	Kontrola	Nátok			Odtok		
		25	50	100	25	50	100
c [%]							
Počet mŕtvych org.	0	0	2	14	0	0	0
Mortalita [%]	0	0	13,33	93,33	0	0	0
Probit	2,122	2,122	3,874	6,476	2,122	2,122	2,122
Expozícia: 48 h	Kontrola	Nátok			Odtok		
		25	50	100	25	50	100
c [%]							
Počet mŕtvych org.	0	1	3	15	0	0	0
Mortalita [%]	0	6,67	20,00	100,00	0	0	0
Probit	2,122	3,524	4,158	7,878	2,122	2,122	2,122

Iba u vody na vstupe do príslušných DČOV dochádzalo k mortalite nad 50 % a bolo možné vypočítať hodnoty EC_{50} (obr. 8 a 9).



Obrázok 8: Graf závislosti probitových hodnôt na log c po 24 h expozícii



Obrázok 9: Graf závislosti probitových hodnôt na log c po 48 h expozícii

Príklad výpočtu 48hEC₅₀:

$$y = 7,2318x - 7,1000$$

$$\log c = \frac{5 + 7,1000}{7,2318}$$

$$\log c = 1,6732$$

$$c = 10^{1,6732}$$

$$c = 47,11 \% = 471,1 \text{ ml/l} \quad (1)$$

Nakoľko mortalita nad 50 % bola zaznamenaná iba u vody na vstupe do DČOV, pre vodu na výstupe hodnoty EC₅₀ neboli vypočítané. Hodnota 24hEC₅₀ pre vodu na vstupe predstavovala 653,9 ml/l a 48hEC₅₀ bola vypočítaná na 471,1 ml/l (rovnica č. 1).

Z výsledkov testov akútnej toxicity je jasné, že voda na vstupe do DČOV je výrazne toxická v porovnaní s vodou na výstupe, kde počas trvania testu nebola pozorovaná mortalita ani v nenariedenej vzorke. Tento rozdiel poukazuje na prítomnosť toxických látok v prítoku, ktoré boli počas procesu čistenia účinne odstránené.

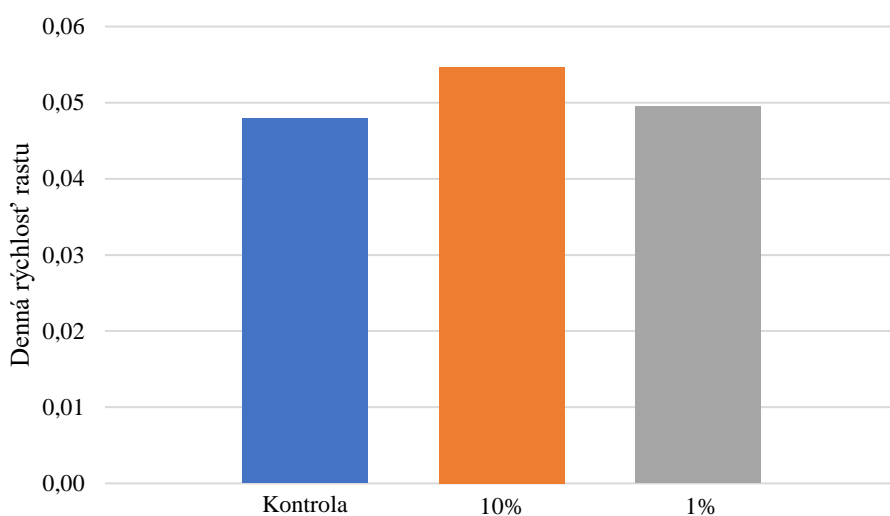
Napriek tomu, že bol počet jedincov potrebných pre nasadenie akútneho testu pre jednu testovanú koncentráciu zredukovaný na 15, namiesto normou stanoveného počtu 20 organizmov, z dôvodu obmedzeného množstva jedincov danej kvality (vek do 24 hodín), je možné konštatovať, že hodnotenie kvality vypúšťanej vody prostredníctvom ekotoxikologických testov na organizmoch z vodného ekosystému je relevantné a významné. Testy ekotoxicity síce neposkytujú prehľad o chemickom zložení vody, ale posudzujú celkový vplyv prítomných látok na biotu daného ekosystému.

Hodnotenie toxicity odpadových vôd z čistiarní prostredníctvom týchto testov bolo aplikované taktiež napr. v štúdií Kima a Farnaza [58], ktorá analyzovala akútnu toxicitu surových a vyčistených odpadových vôd z dvoch čistiarní odpadových vôd v Južnej Kórei pomocou organizmu *D. magna*. V rámci štúdie boli vykonané 48-hodinové akútne testy toxicity, kde boli

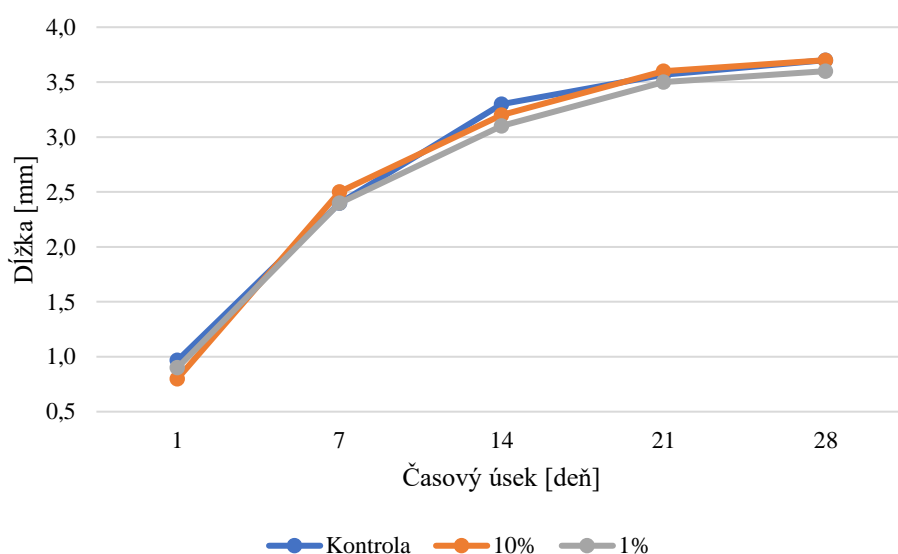
organizmy vystavené surovej vode, vode po primárnom čistení a vyčistenej odpadovej vode. Výsledné hodnoty EC_{50} ukázali, že toxicita vody sa výrazne znižovala s ďalšími fázami čistenia. Po sekundárnej fáze čistenia sa tieto hodnoty výrazne zvýšili, z pôvodných hodnôt $54,13 \pm 32,64 \%$ a $30,38 \pm 24,96 \%$, na $96,49 \pm 7,84 \%$ a 100% , čo naznačuje celkové zníženie akútnej letálnej toxicity odpadových vôd.

4.1.2 Testy chronickej toxicity

Ako už bolo spomenuté v podkapitole 3.3, chronické testy na organizme *D. magna* boli vykonané len pre koncentrácie, ktoré reflektujú možné nariadenie v životnom prostredí. Sledovanými parametrami boli miera reprodukcie a miera rýchlosti rastu. Z dôvodu nulovej mortality materských organizmov bol test prolongovaný nad požiadavky normy OECD na dobu 28 dní, namiesto 21 dní.

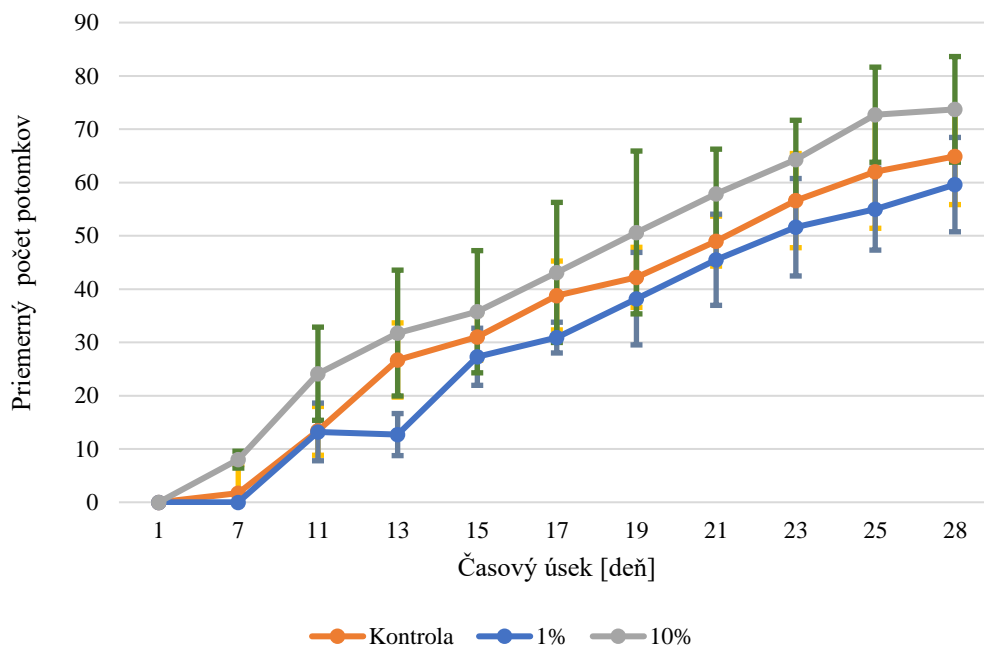


Obrázok 10: Priemerná rýchlosť rastu



Obrázok 11: Priemerná dĺžka testovacích organizmov v sedemdňových intervaloch

Z vyššie uvedeného grafu (obr. 10) možno konštatovať, že denná rýchlosť rastu stúpa s rastúcou koncentráciou odpadovej vody. V oboch testovaných koncentráciách bola priemerná rýchlosť rastu približne o 3–12 % vyššia než v kontrole. Dôvodom môže byť zvýšená koncentrácia prítomných dusičnanov v odpadovej vode, ako bolo zistené v analytickom rozbere (tabuľka č. 5), ktoré podporujú rast riasy slúžiacej ako krmivo. Keďže nebola zaznamenaná inhibícia rastu testovacích organizmov, je pravdepodobné, že počas procesu čistenia odpadovej vody došlo k odstráneniu alebo významnému zníženiu koncentrácie látok s takýmto účinkom. Toto zníženie muselo byť dostatočne výrazné na to, aby sa v testovaných koncentráciách neprejavil žiadny merateľný účinok týchto látok. Na obr. 11 je znázornená priemerná dĺžka testovacích organizmov v jednotlivých testovaných koncentráciách, ktorá bola zisťovaná v sedemdňových intervaloch. Tento graf taktiež poukazuje na veľmi malé rozdiely v priemernej dĺžke testovacích organizmov v jednotlivých testovaných koncentráciách. Ďalším sledovaným endpointom, ako už bolo spomenuté, bola miera reprodukcie materských organizmov, ktorú zobrazuje obr. 12.



Obrázok 12: Priemerná kumulatívna reprodukcia

Ako je z grafu na obr. 12 pozorovateľné, je reprodukčná aktivita jedincov v oboch testovaných koncentráciách veľmi podobná, avšak v porovnaní s kontrolou je cca o 10–12 % nižšia, pričom tento rozdiel v ekotoxikológii nie je významný. Dôvodom mierneho zníženia reprodukcie môže byť fyziologický stres spôsobený rezíduami látok, ktoré neboli dostatočne odstránené. Z legislatívneho hľadiska je vyžadované sledovanie iba vybraných ukazovateľov daných nariadením vlády č. 401/2015 Sb., ktoré môžu vypovedať o celkovej záťaži ako napr. CHSK, avšak negatívny vplyv na organizmus má celá rada látok, ktoré môžu pochádzať z domácnosti ako sú PPCPs (farmaceutické a osobné hygienické produkty) či mikroplasty, ktorých reziduá častokrát v odpadových vodách zostávajú aj po čistiarenských procesoch. Mnohé štúdie potvrdzujú ich neúplne odstránenie [59, 60].

4.1.3 Analytický rozbor odpadovej vody

Vybrané ukazovatele podľa nariadenia vlády č. 401/2015 Sb., boli stanovené spektrofotometricky prostredníctvom kvetových testov (tabuľka č. 5).

Tabuľka 5: Stanovené hodnoty vybraných ukazovateľov

Ukazovateľ [mg/l]	CHSK _{Cr}	N-NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	ΣN	ΣP
Nátok	842	0,85	19,4	94	6,1
Odtok	80	0,44	19,9	9	LO
Účinnosť čistenia [%]	90,50	48,24	-2,58	90,43	

Z tabuľky č. 5 vyplýva, že proces čistenia DČOV 1 je účinný, keďže došlo k zníženiu koncentrácií vybraných ukazovateľov na výstupe z čistiarene v porovnaní s ich hodnotami na vstupe. Výnimkou sú dusičnany, u ktorých bol zaznamenaný jemný nárast koncentrácie. Ten môže byť spôsobený poruchou čistiaceho procesu, avšak taktiež možno predpokladať, že voda, ktorá bola odoberaná pre analýzy v odtoku, nebola rovnaká ako voda v prítoku pre časovú diferenciu medzi odberom vzoriek a reálnou dobou zadržania vody v čistiarni. Keďže sa tieto vzorky z prítoku a odtoku nerovnajú v čase odberu, môže to viesť k zdanlivo zvýšeným hodnotám v odtoku, keďže čistiareň síce znížila vstupné množstvo znečistenia, ale nie na úroveň nižšiu ako bola v prítoku v čase odberu vzoriek.

V nariadení vlády č. 401/2015 Sb. o vypúšťaní odpadových vôd do vôd povrchových je stanovená minimálna účinnosť čistenia CHSK na 70 %, pričom u danej čistiarene bolo dosiahnutých 90 %. Napriek tomu, že ostatné ukazovatele nemajú stanovenú minimálnu účinnosť čistenia, je z výsledkov viditeľný ich výrazný pokles v koncentrácii po procese čistenia, okrem vyššie spomenutých dusičnanov. Taktiež nebola presiahnutá maximálna hodnota CHSK 220 mg/l. Výsledná hodnota CHSK predstavovala 80 mg/l. Vyčistená voda z DČOV 1 môže byť z týchto dôvodov vypúšťaná do vôd povrchových.

Vyčistená voda z tejto čistiarene smie byť taktiež vypúšťaná do vôd podzemných, nakoľko podľa nariadenia vlády č. 57/2016 Sb. o prípustnom znečistení odpadových vôd vypúšťaných do vôd podzemných, je maximálna prípustná hodnota CHSK 150 mg/l. Voda na výstupe z DČOV 1 dosahovala hodnotu CHSK 80 mg/l. Zároveň nebola prekročená ani maximálna prípustná hodnota celkového dusíka 30 mg/l.

Zo všetkých získaných výsledkov testov možno usúdiť, že DČOV 1 z ekotoxikologického aj analytického hľadiska, dosahuje dostatočnú účinnosť čistiarenských procesov, ktoré poskytujú vysokú kvalitu vyčistenej vody, ktorá môže byť vypúšťaná ako do vôd povrchových, tak i do vôd podzemných.

4.2 DČOV 2

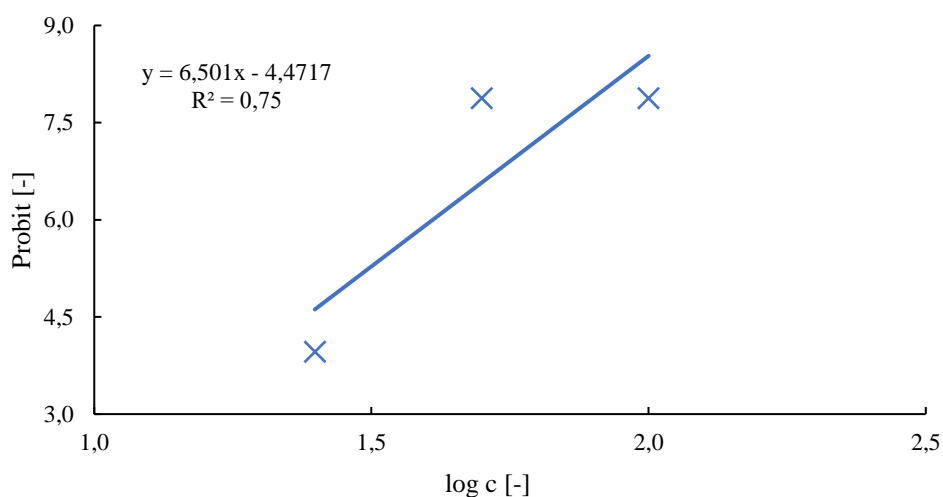
Hodnotenie účinnosti DČOV 2 prebiehalo rovnakým spôsobom ako pre DČOV 1, pričom boli použité identické testy a metodiky. Všetky testy a analýzy boli vykonané za rovnakých podmienok, aby sa zabezpečila konzistencia a porovnateľnosť výsledkov.

4.2.1 Test akútnej toxicity

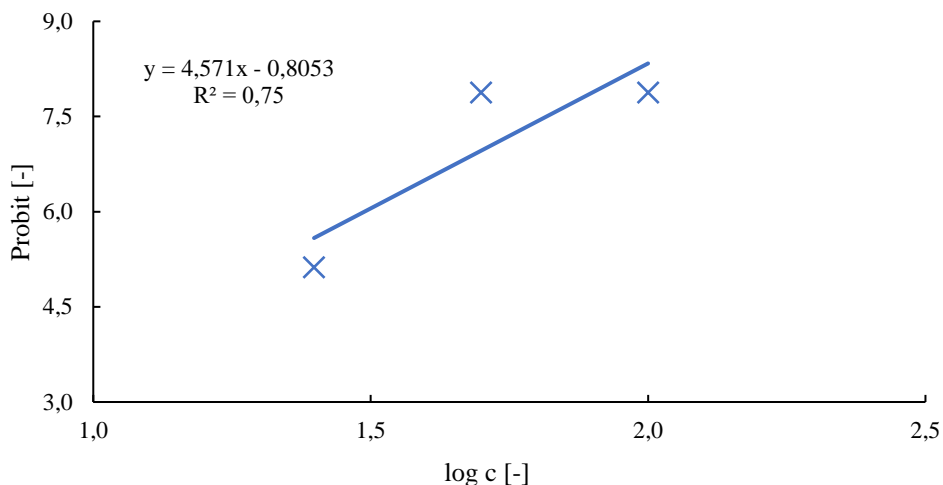
Test akútnej toxicity vody na vstupe a výstupe z DČOV 2 na organizme *D. magna* prebiehal za rovnakých podmienok ako pre DČOV 1. Výsledné hodnoty percentuálnej mortality prevedené na probitové hodnoty sú uvedené v tabuľke č. 6.

Tabuľka 6: Výsledky akútnej toxicity

Expozícia: 24 h		Nátok			Odtok		
c [%]	Kontrola	25	50	100	25	50	100
Počet mŕtvych org.	0	3	20	20	0	0	1
Mortalita [%]	0	15	100	100	0	0	5
Probit	2,122	3,964	7,878	7,878	2,122	2,122	3,355
Expozícia: 48 h		Nátok			Odtok		
c [%]	Kontrola	25	50	100	25	50	100
Počet mŕtvych org.	0	11	20	20	0	0	2
Mortalita [%]	0	55	100	100	0	0	10
Probit	2,122	5,126	7,878	7,878	2,122	2,122	3,718



Obrázok 13: Graf závislosti probitových hodnôt na log c po 24 h expozícii



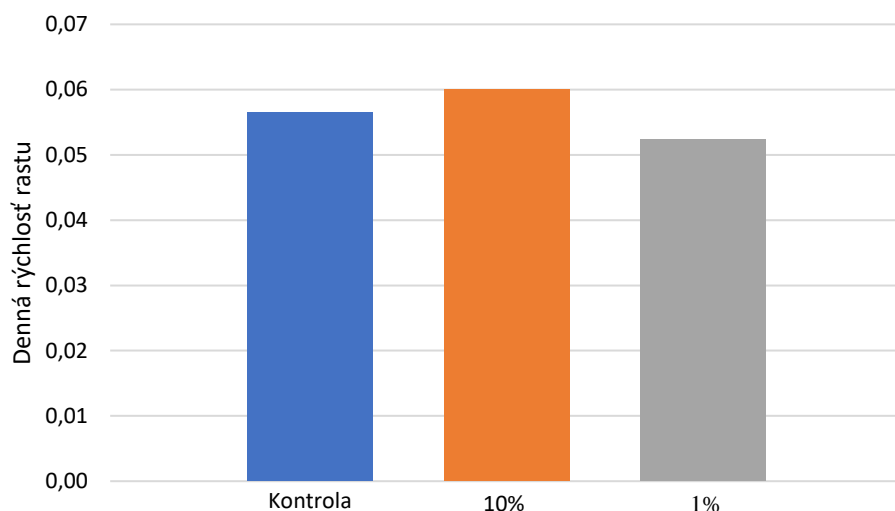
Obrázok 14: Graf závislosti probitových hodnôt na log c po 48 h expozícii

Hodnoty EC_{50} boli vypočítané iba pre vodu na vstupe do čistiarene, keďže pre vodu na výstupe nebola zaznamenaná hodnota mortality nad 50 %. Hodnota $24hEC_{50}$ bola stanovená na 286,4 ml/l a hodnota $48hEC_{50}$ predstavovala koncentráciu 186,2 ml/l.

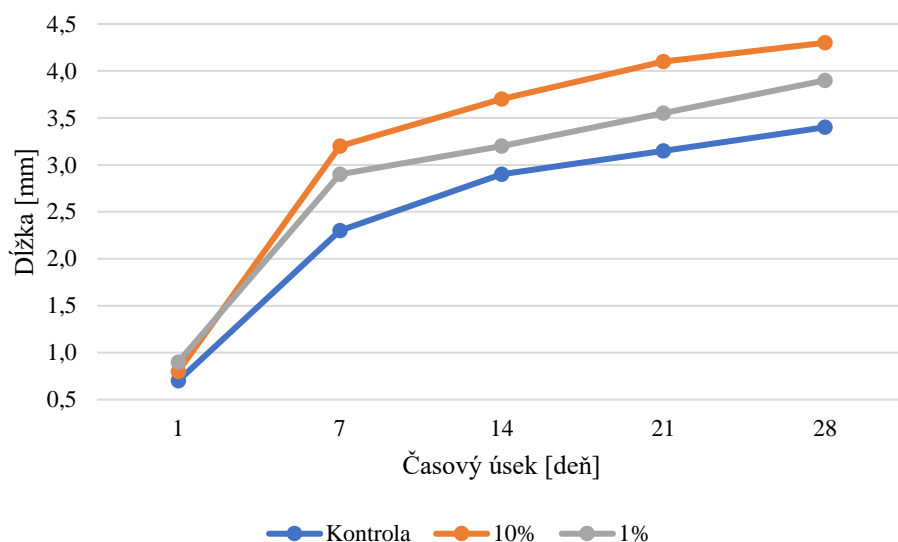
Na základe výsledkov akútnej toxicity možno konštatovať, že proces čistenia v DČOV 2 zredukoval toxicitu vody vstupujúcej do čistiarene a dá sa tak považovať za účinný. Z mortality 100 % na prítoku došlo k zníženiu na 10 % na odtoku. Avšak, v porovnaní s údajmi z DČOV 1 (zo 100 % na 0 %), kde hodnota $48hEC_{50}$ bola približne 2,5-krát vyššia, sa táto čistiareň javí ako menej účinná.

4.2.2 Testy chronickej toxicity

Rovnako ako v prípade DČOV 1 bola opäť testovaná iba voda na výstupe z čistiarene v rovnakých koncentráciách a podmienkach, ako voda z DČOV 1. Sledovanými endpointami boli vývoj rastu a miera reprodukcie rodičovských organizmov. Obr. 15 a 16 znázorňujú priemernú rýchlosť rastu a priemernú dĺžku testovacích organizmov v sedemdňových intervaloch.



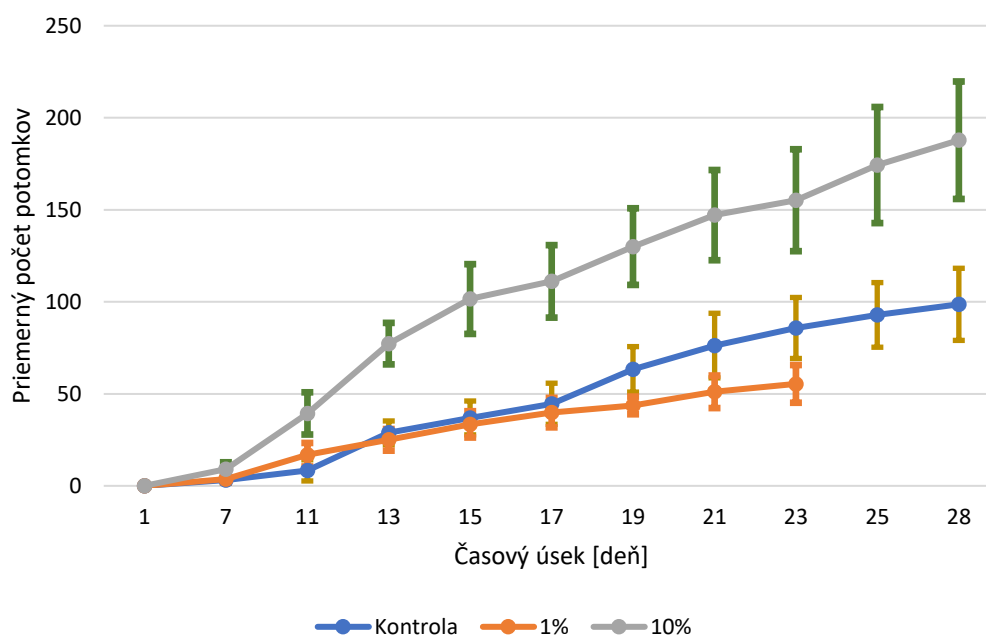
Obrázok 15: Priemerná rýchlosť rastu



Obrázok 16: Priemerná dĺžka testovacích organizmov v sedemdňových intervaloch

Na základe vyššie uvedených grafov možno usúdiť, že testovaný odtok z DČOV 2 má mierny stimulačný účinok na rast *D. magna* v závislosti od koncentrácie. V 10% roztoku testovanej odpadovej vody bola dosiahnutá najvyššia priemerná rýchlosť rastu aj najväčšia priemerná dĺžka organizmu na konci testu, čo naznačuje výraznú stimuláciu v porovnaní s nižšou 1% koncentráciou, kde bol rast miernejší. Naproti tomu, kontrolná vzorka bez pridanej koncentrácie čistiarenskeho odtoku vykazovala vyššiu priemernú rýchlosť rastu než 1% odtok, avšak priemerná dĺžka organizmu na konci testu bola najmenšia. Tento fenomén môže byť dôsledkom prítomnosti látok v odtoku, ktoré pôsobia ako rastové stimulanty, príp. podporujú rast riasy, ktorá slúži ako krmivo a zvyšujú dostupnosť živín. V danom prípade by sa mohlo jednať o zvýšené koncentrácie celkového dusíka, ktoré boli zistené v analytickom rozbere odpadovej vody (tabuľka č. 7). Ďalej boli vo výrazne vysokej koncentrácii prítomné dusičnany, amoniakálny dusík a celkový fosfor, čo môže vykazovať tieto účinky. V 1% koncentrácii

dochádzalo zvýšeným rastom rias k zachytávaniu sa organizmov do týchto rias. Tým sa zmenšila ich dostupnosť ako krmiva, čo vysvetľuje nižšiu dennú rýchlosť rastu organizmov v porovnaní s kontrolou.



Obrázok 17: Priemerná kumulatívna reprodukcia

V 10% roztoku odtoku bol pozorovaný výrazne vyšší priemerný počet potomkov ako v kontrole. Naproti tomu však 1% roztok odpadovej vody vykazoval v porovnaní s kontrolou cca 35% pokles a jeho testovanie prebiehalo po dobu 23 dní z dôvodu mortality, ktorá viedla k nedostatočnému množstvu organizmov pre validné pokračovanie testu. Príčinou mortality bolo zachytenie jedincov do riasy, čím došlo k obmedzeniu mobility a príjmu potravy.

Rozdiely v reprodukcií materských organizmov pre testované koncentrácie mohli byť pravdepodobne spôsobené vyšším obsahom zlúčenín dusíka a fosforu v odtoku, zistených v analytickom rozboře (tabuľka č. 7), ktoré podporujú rast rias používaných ako krmivo. V 10% odtoku mohla táto výživa zabezpečiť optimálne podmienky pre rast a reprodukciu, čo vysvetľuje vyšší počet potomkov v porovnaní s kontrolou a nižšou koncentráciou. Na druhej strane v 1% odtoku, aj keď obsahoval menej živín, dochádzalo k zamotávaniu organizmov do rias, čím sa následne znížila ich dostupnosť ako krmiva, čo viedlo k zníženiu reprodukcie. Taktiež môžu byť v odtoku prítomné látky, ktoré spôsobia hormetický efekt, t.j. prirodzená reakcia organizmu umožňujúca mu prežitie nepriaznivých podmienok, ktorá v tomto prípade mohla vyvolať zvýšenú reprodukčnú aktivitu a pod.

4.2.3 Analytický rozbor odpadovej vody

Vybrané ukazovatele boli stanovené spektrofotometricky, rovnakými kvetovými testami ako pri DČOV 1. Získané hodnoty sú uvedené v tabuľke č. 7.

Tabuľka 7: Hodnoty vybraných ukazovateľov

Ukazovateľ [mg/l]	CHSK _{Cr}	N-NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	ΣN	ΣP
Nátok	1003	0,35	24,8	HI	9,0
Odtok	279	121,00	1340,0	HI	30,9
Účinnosť čistenia [%]	72,18	-34471,43	-5303,23		-243,33

Rovnako ako aj predchádzajúca čistiareň, DČOV 2 spĺňa stanovenú hodnotu minimálnej účinnosti čistenia CHSK, ktorá musí byť vyššia ako 70 % podľa nariadenia vlády č. 401/2015 Sb. Z tabuľky č. 7 vyplýva, že účinnosť čistenia CHSK bola 72 %. Napriek tomu hodnota CHSK vo vyčistenej vode dosiahla 279 mg/l, čím prekročila maximálnu hodnotu 220 mg/l stanovenú pre vypúšťanie odpadovej vody do povrchových vôd podľa tohto nariadenia. Voda z tejto čistiarene tak nesmie byť vypúšťaná do vôd povrchových.

Voda z čistiarene DČOV 2 taktiež nesmie byť vypúšťaná do vôd podzemných. Podľa nariadenia vlády č. 57/2016 Sb. môže byť vo vode hodnota CHSK maximálne 150 mg/l, pričom táto čistiareň mala na odtoku hodnotu CHSK 279 mg/l. Hodnota celkového dusíka tiež niekoľkonásobne prekročila stanovené limity.

V odtoku z čistiarene bol okrem zvýšenej koncentrácie amoniakálneho dusíku zaznamenaný aj nárast koncentrácie dusičnanov, celkového fosforu a možno predpokladať aj nárast celkového dusíka, ktorého hodnoty však boli nad limit stanovenia danou spektrofotometrickou metódou. Ako už bolo spomenuté pri DČOV 1, príčinou zvýšených hodnôt môže byť súbežný odber vzoriek nátok a odtoku, kedy sa kvôli dobe trvania čistiaceho procesu nejednalo o rovnakú vodu.

Ďalším možným dôvodom zvýšenej koncentrácie týchto iónov je porucha samotného čistiaceho procesu, konkrétne sekundárnej fáze.

Z výsledkov ekotoxikologických testov čistiaci proces DČOV 2 účinne znížil mieru toxicity odpadovej vody pre organizmus *D. magna*. Hoci sa toxicita znížila, nie je jasné, aký vplyv by mali vyššie koncentrácie odpadovej vody a či by nevykazovali negatívne účinky, ktoré by sa preukázali pri dlhodobom pôsobení na organizmy. Tieto účinky by sa mohli prejaviť až na ďalších generáciách. Z tohto dôvodu je vhodné pri sledovaní účinkov matric, ktoré vstupujú kontinuálne do ekosystému využívať aj testy dlhodobé a multigeneračné. Z analytického hľadiska voda z tejto čistiarene nesmie byť vypúšťaná do povrchových ani podzemných vôd.

5 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo posúdenie účinnosti vybraných domových čistiarní s kapacitou EO 30-500. Hodnotenie účinnosti prebiehalo prostredníctvom ekotoxikologických testov a analytického rozboru vybraných ukazovateľov stanovených nariadením vlády č. 401/2015 Sb. a č. 57/2016 Sb.

Z ekotoxikologického hľadiska bola účinnosť hodnotená na základe akútnych a chronických testov toxicity. Za zástupcu konzumentov akvatického systému bol zvolený kôrovec *Daphnia magna*. V akútnom teste bol sledovaný rozdiel toxicity vody na vstupe a výstupe do čistiarne. V oboch čistiarniach došlo v procese čistenia odpadovej vody k jednoznačnému poklesu vstupnej toxicity. Hodnoty EC_{50} boli vypočítané iba pre vodu vstupujúcu do čistiarne, nakoľko vo vode na výstupe nebola zaznamenaná 50% mortalita. Pre DČOV 1 hodnota $24hEC_{50}$ predstavovala 653,9 ml/l a $48hEC_{50}$ bola vypočítaná na 471,1 ml/l. Hodnota $24hEC_{50}$ pre DČOV 2 bola stanovená na 286,4 ml/l a hodnota $48hEC_{50}$ na 186,2 ml/l.

Chronický test prebiehal iba s vodou na výstupe z domovej čistiarne odpadových vôd v koncentráciách, ktoré reflektujú možné nariadenie, konkrétne 10% (100 ml/l) a 1% (10 ml/l). Sledovanými parametrami boli miera rastu a reprodukcie. Voda z oboch čistiarní nevykazovala v testovaných koncentráciách výrazný negatívny vplyv na *D. magna*. Zvýšený obsah dusičnanov, a v prípade DČOV 2 aj zlúčenín fosforu, podporoval rast rias, ktoré v našom teste slúžili ako krmivo pre organizmy. Vo vode však môžu byť prítomné aj iné látky, ktoré sa na výstupe z čistiarne nesledujú, preto je otázkou, či by voda nemala z dlhodobého hľadiska negatívny vplyv na organizmy a táto prosperita je len zdanlivá a ide o hormetický efekt. Taktiež je potrebné zmieniť, že vysoké koncentrácie dusičnanov a zlúčenín fosforu v týchto odpadových vodách by mohli v akvatickom ekosystéme prispieť k eutrofizácii vôd.

Z analytického hľadiska majú obe čistiarne dostatočnú účinnosť čistenia CHSK podľa nariadenia vlády č. 401/2015 Sb. Avšak, len čistiareň DČOV 1 neprekročila maximálnu hodnotu CHSK 220 mg/l pre vypúšťanie vyčistených vôd do povrchových vôd. Čistiareň DČOV 1 dosiahla 90% účinnosť čistenia s hodnotou CHSK 80 mg/l, zatiaľ čo DČOV 2 dosiahla účinnosť 72 % a hodnotu CHSK 279 mg/l. V súlade s nariadením vlády č. 57/2016 Sb., ktoré určuje maximálne hodnoty 150 mg/l pre CHSK a 30 mg/l pre celkový dusík v odpadových vodách vypúšťaných do podzemných vôd, tieto limity dodržala len čistiareň DČOV 1.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] KOČÍ, Vladimír a Klára MOCOŤÁ. *Ekotoxikologie pro chemiky*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-699-9.
- [2] NEWMAN, M.C. Ecotoxicology: The History and Present Directions. In: *Encyclopedia of Ecology* [online]. Elsevier, 2008, s. 1195-1201 [cit. 2023-10-22]. ISBN 9780080454054. Dostupné z: doi:10.1016/B978-008045405-4.00431-6
- [3] LYUBENOVA, Mariyana a Silvena BOTEVA. Biotests in ecotoxicology: Current Practice and Problems. In: *Toxicology- New Aspects to This Scientific Conundrum* [online]. Croatia: In Tech, 2016, s. 147-177 [cit. 2023-10-25]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.5772/64776>
- [4] *Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilisation Test* [online]. OECD, 2004 [cit. 2023-11-01]. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. ISBN 9789264069947. Dostupné z: doi:10.1787/9789264069947-en
- [5] *Test No. 211: Daphnia magna Reproduction Test* [online]. OECD, 2012 [cit. 2023-11-01]. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. ISBN 9789264185203. Dostupné z: doi:10.1787/9789264185203-en
- [6] PADILLA SUAREZ, E.G., S. PUGLIESE, E. GALDIERO, et al. Multigenerational tests on *Daphnia* spp: a vision and new perspectives. *Environmental Pollution* [online]. 2023, **337** [cit. 2023-11-02]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2023.122629
- [7] DIETER, Ebert. Chapter 2: Introduction to *Daphnia* Biology. In: *Ecology, Epidemiology, and Evolution of Parasitism in Daphnia* [online]. Bethesda (MD): National Center for Biotechnology Information (US), 2005, s. 5-27 [cit. 2023-11-06]. ISBN 1-932811-06-0. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2042/>
- [8] MAGESTER, Sergi, Aina BARCELONA, Jordi COLOMER a Teresa SERRA. Vertical distribution of microplastics in water bodies causes sublethal effects and changes in *Daphnia magna* swimming behaviour. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2021, **228** [cit. 2023-11-06]. ISSN 01476513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2021.113001
- [9] YISA, Abraham Gana, Mathias Ahii CHIA, Ibrahim Madu Katsallah GADZAMA, Sonnie Joshua ONIYE, Ramatu Idris SHA'ABA a Balli GAUJE. Immobilization, oxidative stress and antioxidant response of *Daphnia magna* to Amoxicillin and Ciprofloxacin. *Environmental Toxicology and Pharmacology* [online]. 2023, **98** [cit. 2023-11-12]. ISSN 13826689. Dostupné z: doi:10.1016/j.etap.2023.104078
- [10] GONÇALVES, Renata Amanda, Ana Letícia DE OLIVEIRA FRANCO ROSSETTO, Diego José NOGUEIRA, Denice Schulz VICENTINI a William Gerson MATIAS.

- Comparative assessment of toxicity of ZnO and amine-functionalized ZnO nanorods toward *Daphnia magna* in acute and chronic multigenerational tests. *Aquatic Toxicology* [online]. 2018, **197**, 32-40 [cit. 2023-11-12]. ISSN 0166445X. Dostupné z: doi:10.1016/j.aquatox.2018.02.002
- [11] CONNOLLY, M., G. MOLES, F. Candotto CARNIEL, et al. Applicability of OECD TG 201, 202, 203 for the aquatic toxicity testing and assessment of 2D Graphene material nanoforms to meet regulatory needs. *NanoImpact* [online]. 2023, **29** [cit. 2023-11-12]. ISSN 24520748. Dostupné z: doi:10.1016/j.impact.2022.100447
- [12] RA, Jin Sung, Hyun Koo KIM, Nam Ik CHANG a Sang Don KIM. Whole Effluent Toxicity (WET) Tests on Wastewater Treatment Plants with *Daphnia magna* and *Selenastrum capricornutum*. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 2007, **129**(1-3), 107-113 [cit. 2024-05-01]. ISSN 0167-6369. Dostupné z: doi:10.1007/s10661-006-9431-2
- [13] *AQUATEC: Domové čistiarné odpadových vôd (ČOV) - všeobecné informácie* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://www.aquatec.sk/sk/vseobecne-informacie-domove-cov/>
- [14] *ASIO: Čistírna odpadních vod AS-MONOcomp* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/p/1.cistirna-odpadnich-vod-as-monocomp>
- [15] *Aquatec usbf: Domovní ČOV Aquatec AT* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.usbf.cz/cov-aquatec-at/domovni-cov-aquatec-at>
- [16] *Ekoprogres: ČOV - DOMOVÉ ČISTIARNE ODPADOVÝCH VÔD* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://www.ekoprogres.sk/cistiarny-odpadovych-vod/male-cistiarny-odpadovych-vod>
- [17] *Zákony pro lidi: Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>
- [18] *Zákony pro lidi: Nařízení vlády č. 57/2016 Sb.* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-57>
- [19] *Zákony pri lidi: Zákon č. 254/2001 Sb. vodní zákon* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [20] *What is the working principle of A/O/O in domestic wastewater treatment?* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: https://www.linkedin.com/pulse/what-working-principle-aoo-domestic-wastewater-treatment-alice-chi?trk=articles_directory
- [21] KOUL, Bhupendra, Dhananjay YADAV, Swati SINGH, Manoj KUMAR a Minseok SONG. Insights into the Domestic Wastewater Treatment (DWWT) Regimes: A Review.

- Water* [online]. 2022, 14(21) [cit. 2024-01-26]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w14213542
- [22] *Wastewater Treatment Principles and Regulations* [online]. 2016 [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/aex-768>
- [23] *Akruthi enviro solutions: Domestic Waste Water Treatment* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://neoakruthi.com/blog/domestic-wastewater-treatment.html>
- [24] *Vodovod.info: Řízení procesu nitrifikace a denitrifikace na čistírnách odpadních vod* [online]. 2015 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/307-rizeni-procesu-nitrifikace-a-denitrifikace-na-cistirnach-odpadnich-vod>
- [25] *Tzbinfo: Dusičnany a snižování jejich obsahu na ČOV: Metody denitrifikace* [online]. 2022 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/23938-dusicnany-a-snizovani-jejich-obsahu-na-cov-metody-denitrifikace>
- [26] *Jak funguje čistička odpadních vod (ČOV)?* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/jak-funguje-cisticcka-odpadnich-vod>
- [27] *Jak se starat o čistírnu: Aktivační čistírna* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <http://www.jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/aktivacni-cistirna/>
- [28] *Šedá a černá voda aneb Jak se dělí odpadní vody v domácnosti* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/jak-se-deli-odpadni-vody-v-domacnosti>
- [29] *Hydrotech: Vysvětlujeme, čo je čierna a šedá voda a ako sa dá recyklovat'* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.hydrotech-group.com/sk/blog/vysvetlujeme-co-je-cierna-a-seda-voda-a-ako-sa-da-recyklovat>
- [30] *Co je to šedá voda?* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda/>
- [31] *Domovní čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: https://poradme.se/index.php?title=Domovn%C3%AD_%C4%8Dist%C3%ADrny_odpadn%C3%ADch_vod
- [32] *Jak se starat o domovní ČOV, aby vydržela co nejdéle* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://www.ventura-venkov.cz/magazin/jak-se-starat-o-domovni-cov-aby-vydrzela-co-nejdele-detail-276>
- [33] *Co se smí a nesmí vypouštět na čistírnu* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <http://jaksestaratocistirnu.cz/co-se-smi-a-nesmi/>

- [34] *Běžná údržba aktivací čistírny* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://jaksestaratocistirnu.cz/bezna-udrzba-aktivacni-cistirny/>
- [35] *FONHIT: Info o ČOV* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.fonhit.sk/infoocov.htm>
- [36] *Jak se starat o čistírnu: Biofilmová čistírna* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <http://jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/biofilmova-cistirna/>
- [37] PANTEA, Emilia Valentina, Romocea TAMARA, Ghergheles CARMEN a Ioana BLAJ. Comparison of Efficiency of Different Type Systems for Wastewater Treatment. *SSRN* [online]. 2013, (Vol. XXI) [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://ssrn.com/abstract=2692007>
- [38] TANTAK, Nilesh, Nitin CHANDAN a Pavan RAINA. An Introduction to Biological Treatment and Successful Application of the Aqua EMBR System in Treating Effluent Generated from a Chemical Manufacturing Unit. In: *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse* [online]. Elsevier, 2014, s. 369-397 [cit. 2024-02-04]. ISBN 9780080999685. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-099968-5.00009-X
- [39] Wastewater Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactors. *EPA: United States Environmental Protection Agency* [online]. 1999 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sbr_new.pdf
- [40] RADJENOVIĆ, Jelena, Marin MATOŠIĆ, Ivan MIJATOVIĆ, Mira PETROVIĆ a Damià BARCELÓ. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology. In: BARCELÓ, Damià a Mira PETROVIC, ed. *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 37-101 [cit. 2024-02-04]. The Handbook of Environmental Chemistry. ISBN 978-3-540-79209-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-79210-9_2
- [41] *Membránové čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.envi-pur.cz/cisticky-odpadnich-vod-cov-s-membranou/>
- [42] *ČOV s MBR* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.cisteniodpadnivody.cz/cov-s-mbr/>
- [43] *Kořenovky: Jak fungují kořenové čistírny* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.korenova-cisticka.cz/korenove-cistirny/jak-funguji-korenove-cistirny>
- [44] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ* [online]. 2015 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z:

http://uvhk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/kzp/pdf/korenove_cistirny_odpadnich_vod.pdf

- [45] *Co je septik a kdy ho vybrat* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/co-je-septik>
- [46] *ČOV, septik nebo jímka – v čem je rozdíl? Kde je vhodně použít?* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.vodavdome.cz/cov-septik-nebo-jimka-v-cem-je-rozdil-kde-je-vhodne-pouzit/>
- [47] *EPA: How Septic Systems Work* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/septic/how-septic-systems-work>
- [48] *Magazín čistírny odpadních vod: Výhody a nevýhody čistírny odpadních vod* [online]. 2018 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://www.cistirny.net/vyhody-a-nevyhody-cistitry-odpadni-vody/>
- [49] *Výhody a nevýhody domácí čističky odpadních vod* [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/vyhody-a-nevyhody-domaci-cisticky-odpadnich-vod-cov>
- [50] *Domestic Wastewater Treatment: Summary and Advantages* [online]. 2016 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://genesiswatertech.com/blog-post/domestic-wastewater-treatment-summary-advantages/>
- [51] KONEČNÁ, Kateřina. *Využití testů ekotoxicity pro posouzení účinnosti čistírenských technologií* [online]. Brno, 2023 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=251996. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.
- [52] *Standard Guide for Conducting Acute Toxicity Tests on Test Materials with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians: ASTM E729 – 96*. USA: ASTM, 2007.
- [53] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2003. ISBN 978-80-7080-520-6.
- [54] *VETUNI: Stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) ve vodách (MERCK)* [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.vfu.cz/files/sop-04_chsk_zasobni-roztoky.pdf
- [55] *Merck Millipore: Nitrogen (total) Cell Test* [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-KR-Site/ko_KR/-/KRW/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-114537&DocumentId=6154.ProNet&DocumentType=PI&Language=EN&Country=NF&Origin=PDP

- [56] NYDAHL, F. On the peroxodisulphate oxidation of total nitrogen in waters to nitrate. *Water Research* [online]. 1978, **12**(12), 1123-1130 [cit. 2024-04-23]. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/0043-1354(78)90060-X
- [57] VETUNI: Stanovení fosfátů a celkového fosforu ve vodách (MERCK) [online]. [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: https://www.vfu.cz/files/sop-06_fosfor-kt_odpadni-vody.pdf
- [58] KIM, Younghee a Danvir Mark FARNAZO. Toxicity characteristics of sewage treatment effluents and potential contribution of micropollutant residuals. *Journal of Ecology and Environment* [online]. 2017, **41**(1) [cit. 2024-05-08]. ISSN 2288-1220. Dostupné z: doi:10.1186/s41610-017-0057-9
- [59] MONTES-GRAJALES, Diana, Mary FENNIX-AGUDELO a Wendy MIRANDA-CASTRO. Occurrence of personal care products as emerging chemicals of concern in water resources: A review. *Science of The Total Environment* [online]. 2017, **595**, 601-614 [cit. 2024-05-09]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2017.03.286
- [60] IYARE, Paul U., Sabeha K. OUKI a Tom BOND. Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review. *Environmental Science: Water Research & Technology* [online]. 2020, 2020-10-1, **6**(10), 2664-2675 [cit. 2024-05-09]. ISSN 2053-1400. Dostupné z: doi:10.1039/D0EW00397B

7 ZOZNAM SKRATIEK

BSK₅	biologická spotreba kyslíku za 5 dní
DČOV	domová čistiareň odpadových vôd
DDT	dichlórdifenyltrichlóretán
EC_x	koncentrácia testovanej látky rozpustenej vo vode, ktorá spôsobuje x% zníženie reprodukcie organizmu počas určeného obdobia
EO	ekvivalentný obyvateľ
CHSK_{Cr}	chemická spotreba kyslíka stanovená dichromanom draselným
LOEC	najnižšia koncentrácia testovanej vzorky, pri ktorej je účinok signifikantný
N_{celk}	celkový dusík
NL	nerozpustené látky
N-NH₄⁺	amoniakálny dusík
NO₃⁻	dusičnany
NOEC	najvyššia koncentrácia testovanej vzorky nevyvolávajúca žiadne pozorovateľné účinky
OECD	Organizácia pre rozvoj ekonomickej spolupráce
P_{celk}	celkový fosfor
PPCPs	farmaceutické a osobné hygienické produkty
SBR	Sequencing Batch Reactor

8 PRÍLOHY

Príloha č. 1 – Tabuľka pre prepočet percentuálnej mortality na probit

(https://is.muni.cz/el/1431/jaro2009/Bi5620/um/Vyhodnoceni_testu.pdf)

%	probit	%	probit	%	probit	%	probit	%	probit	%	probit
0,2	2,122	10,0	3,718	30,0	4,476	50,0	5,000	70,0	5,524	90,0	6,282
0,4	2,348	11,0	3,773	31,0	4,504	51,0	5,025	71,0	5,553	91,0	6,341
0,6	2,488	12,0	3,825	32,0	4,532	52,0	5,050	72,0	5,583	92,0	6,405
0,8	2,591	13,0	3,874	33,0	4,560	53,0	5,075	73,0	5,613	93,0	6,476
1,0	2,574	14,0	3,920	34,0	4,588	54,0	5,100	74,0	5,643	94,0	6,555
1,2	2,743	15,0	3,964	35,0	4,615	55,0	5,126	75,0	5,674	95,0	6,645
1,4	2,803	16,0	4,006	36,0	4,642	56,0	5,151	76,0	5,706	95,5	6,695
1,6	2,856	17,0	4,046	37,0	4,668	57,0	5,176	77,0	5,739	96,0	6,751
1,8	2,903	18,0	4,085	38,0	4,695	58,0	5,202	78,0	5,772	96,5	6,812
2,0	2,946	19,0	4,122	39,0	4,722	59,0	5,228	79,0	5,806	97,0	6,881
2,5	3,040	20,0	4,158	40,0	4,747	60,0	5,253	80,0	5,842	97,5	6,966
3,0	3,123	21,0	4,194	41,0	4,772	61,0	5,278	81,0	5,878	98,0	7,054
3,5	3,188	22,0	4,228	42,0	4,798	62,0	5,305	82,0	5,915	98,2	7,096
4,0	3,249	23,0	4,261	43,0	4,824	63,0	5,332	83,0	5,954	98,4	7,144
4,5	3,305	24,0	4,294	44,0	4,849	64,0	5,358	84,0	5,994	98,6	7,197
5,0	3,355	25,0	4,326	45,0	4,874	65,0	5,385	85,0	6,036	98,8	7,257
6,0	3,445	26,0	4,357	46,0	4,900	66,0	5,412	86,0	6,080	99,0	7,326
7,0	3,524	27,0	4,387	47,0	4,925	67,0	5,440	87,0	6,126	99,2	7,409
8,0	3,595	28,0	4,417	48,0	4,950	68,0	5,468	88,0	6,175	99,4	7,512
9,0	3,659	29,0	4,447	49,0	4,975	69,0	5,496	89,0	6,227	99,6	7,652
										99,8	7,878

Príloha č. 2 – Príklad výpočtu 48hEC₅₀ z rovnice regrese grafu obr. 14

$$y = 4,571x - 0,8053$$

$$\log c = \frac{5 + 0,8053}{4,5710}$$

$$\log c = 1,2700$$

$$c = 10^{1,2700}$$

$$c = 18,62 \% = 186,2 \text{ ml/l}$$