

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2025

Bc. Martina Skalová

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Testování tabákových výrobků a jejich vliv na životní prostředí
Diplomová práce

2025

Bc. Martina Skalová

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Martina Skalová**
Osobní číslo: **C23306**
Studijní program: **N0711A130014 Udržitelný rozvoj v chemii a technologii**
Téma práce: **Testování tabákových výrobků a jejich vliv na životní prostředí**
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma, zaměřte se na stanovení ekotoxikologických účinků pomocí standardních technik s využitím dafnií, řas a aktivovaného kalu.
2. Provedte ekotoxikologické testování (test akutní toxicity u dafnií, inhibice růstu řas a inhibice respirace aktivovaného kalu podle směrnice OECD) u cigaretových nedopalků klasických a elektronických cigaret. Dále se zaměřte na studium látek ve výluzích z cigaretových nedopalků pomocí chromatografických metod a stanovení event. přítomných těžkých kovů.
3. Výsledky experimentů vhodným způsobem zpracujte, proveďte jejich diskusi a porovnejte.
4. Diplomovou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslava Kořínková, Dr.**
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Konzultant diplomové práce: **Mgr. Monika Roupová**
VÚOS, Ekotoxikologie

Datum zadání diplomové práce: **5. února 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Liběna Tetřevová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 5. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Testování tabákových výrobků a jejich vliv na životní prostředí jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 7. 5. 2025

Bc. Martina Skalová v. r.

PODĚKOVÁNÍ:

Ráda bych poděkovala svojí vedoucí práce Ing. Jaroslavě Kořínkové, Dr. za odbornou pomoc a ochotu při psaní práce, Mgr. Monice Roupcové za vedení a čas věnovaný vypracování experimentální části práce a prof. Mikuláškoví za spolupráci při shromažďování testovacího materiálu. Poděkování patří také mojí rodině, za umožnění studia, a Radkovi za nezbytnou psychickou podporu.

ANOTACE

Práce se zabývá environmentálním dopadem odpadu z tabákových výrobků. Rozebírá jejich globální vlivy, možnosti recyklace a ekotoxicitu. Pomocí standardizovaných metodik je následně vyhodnocena akutní toxicita jejich výluhu v testu imobilizace *Daphnia magna*, inhibice růstu řasy *Desmodesmus subspicatus* a inhibice respirace aktivovaného kalu. Součástí je i chemická analýza výluhů, včetně stanovení těžkých kovů.

KLÍČOVÁ SLOVA

cigaretové nedopalky, ekotoxikologické testy, dafnie, řasy, aktivovaný kal, recyklace

TITLE

Testing of tobacco products and their impact on the environment

ANNOTATION

The work examines the environmental impact of tobacco product waste. It discusses their global footprint, recycling options and ecotoxicity. Using standardized methodologies, the ecotoxicity of their leachate is then evaluated in a test of immobilization of *Daphnia magna*, inhibition of growth of the alga *Desmodesmus subspicatus* and inhibition of respiration of activated sludge. Chemical analysis of the leachates, including determination of heavy metals, is also included.

KEYWORDS

cigarette butts, ecotoxicological tests, daphnia, algae, activated sludge, recycling

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	11
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	17
ÚVOD.....	18
1 TEORETICKÁ ČÁST	19
1.1 Tabákový průmysl	19
1.2 Globální dopady tradičních tabákových výrobků.....	19
1.2.1 Ekotoxicita výluhů z tabákových výrobků	21
1.2.2 Life cycle assessment studie	23
1.3 Moderní tabákové výrobky	25
1.3.1 Historie moderních tabákových výrobků.....	25
1.3.2 Environmentální dopady moderních tabákových výrobků.....	30
1.4 Recyklace odpadu tabákového průmyslu	31
1.4.1 Surovinové využití cigaretových nedopalků.....	32
1.4.2 Upcyklace cigaretových nedopalků	33
1.4.3 Recyklace cigaretových nedopalků ve stavebnictví	34
1.4.4 Recyklace moderních tabákových výrobků	35
1.5 Analýza obsahu látek v tabákových výrobcích.....	36
1.5.1 Tradiční tabákové výrobky	37
1.5.2 Elektronické cigarety	41
1.5.3 Ekotoxikologicky významné chemické látky v tabákových výrobcích.....	42
1.6 Čištění výluhu z nedopalků.....	45
1.7 Ekotoxikologické testy	47
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	50

2.1	Použité vybavení.....	50
2.2	Metodika	51
2.2.1	Výluh z nedopalků	51
2.2.2	Akutní imobilizace <i>Daphnia magna</i>	52
2.2.3	Inhibice růstu řas.....	55
2.2.4	Inhibice respirace aktivovaného kalu	60
2.2.5	Analýza chemického složení výluhů	65
2.2.6	Biologické čištění výluhů z nedopalků.....	67
2.3	Výsledky	69
2.3.1	Akutní imobilizace <i>Daphnia magna</i>	69
2.3.2	Inhibice růstu řas.....	73
2.3.3	Inhibice respirace aktivovaného kalu	77
2.3.4	Analýza chemického složení výluhů	80
2.3.5	Biologické čištění výluhů z nedopalků.....	88
3	DISKUSE.....	93
	ZÁVĚR	95
	POUŽITÁ LITERATURA	96
	SEZNAM PŘÍLOH.....	114
	PŘÍLOHA A	114
	PŘÍLOHA G	114
	PŘÍLOHA A: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem z cigaretových nedopalků.....	115
	PŘÍLOHA B: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem nedopalků z elektronických cigaret.....	116

PŘÍLOHA C: Zkouška inhibice růstu <i>Desmodesmus subspicatus</i> výluhem z cigaretových nedopalků.....	117
PŘÍLOHA D: Zkouška inhibice růstu <i>Desmodesmus subspicatus</i> výluhem nedopalků z elektronických cigaret.....	123
PŘÍLOHA E: Zkouška inhibice dýchání akt. kalu výluhem z cigaretových nedopalků	129
PŘÍLOHA F: Zkouška inhibice dýchání aktivovaného kalu výluhem nedopalků z elektronických cigaret.....	131
PŘÍLOHA G: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem z cigaretových nedopalků po biologickém čištění	133
PŘÍLOHA H: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem nedopalků z elektronických cigaret po biologickém čištění	134

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 – Světová produkce tabáku v roce 2023 [9] (vlastní překlad)	20
Obrázek 2 – Deset nejčastěji sbíraných odpadů roku 2023 [20] (vlastní překlad).....	21
Obrázek 3 – „Zařízení ke kouření“ F. Bartolomeo [60].....	27
Obrázek 4 – „Cigareta bez dýmu a nikotinu“ [59]	27
Obrázek 5 – První generace vaporizéru společnosti Ruyan [61]	28
Obrázek 6 – Vývoj designu prvních vaporizérů [63]	28
Obrázek 7 – „Eclipse“ společnosti R.J. Reynolds [64]	29
Obrázek 8 – JUUL první generace [62]	29
Obrázek 9 – Elf Bar 600 [71]	29
Obrázek 10 – Technická řešení moderních tabákových výrobků [69] (vlastní překlad)	30
Obrázek 11 – Popelník vyrobený z cigaretových nedopalků [102]	34
Obrázek 12 – Vzorke hliněných cihel s obsahem CN [103].....	34
Obrázek 13 – Dlaždice s obsahem CN před (nalevo) a po vypálení (napravo) [104].....	35
Obrázek 14 – Výstražné symboly podle REACH [143]	48
Obrázek 15 – Nedopalky Marlboro (nalevo) a NEO (napravo) [154]	51
Obrázek 16 – Dospělec <i>Daphnia magna</i> s vajíčky [154].....	53
Obrázek 17 – Výluhy z nedopalků o konc. 2 ks/L na počátku louhování [154].....	54
Obrázek 18 – Výluhy z nedopalků o konc. 2 ks/L po 24 hodinách [154].....	54
Obrázek 19 – Výluhy z nedopalků o konc. 2 ks/L po zfiltrování [154].....	54
Obrázek 20 – Koncentrační řada výluhu z CN pro test na <i>Daphnia magna</i> [154]	54
Obrázek 21 – Koncentrační řada výluhu z ECN pro test na <i>Daphnia magna</i> [154].....	55

Obrázek 22 – Dafnie umístěné v kádinkách v jednotlivých koncentracích [154].....	55
Obrázek 23 – Buňky <i>Desmodesmus subspicatus</i> v Bürknerově komůrce [12].....	57
Obrázek 24 – Znázornění počítání buněk v jednom čtverci Bürknerovy komůrky [155].....	57
Obrázek 25 – Znázornění počítání buněk v mřížce Bürknerovy komůrky [155].....	57
Obrázek 26 – Výluhy z nedopalků o konc. 40 ks/L na počátku louhování [154].....	59
Obrázek 27 – Výluhy z nedopalků o konc. 40 ks/L po 24 hodinách [154].....	59
Obrázek 28 – Výluhy z nedopalků o konc. 40 ks/L po zfiltrování [154].....	59
Obrázek 29 – Konc. řada výluhu z CN pro test na <i>Desmodesmus subspicatus</i> [154].....	59
Obrázek 30 – Konc. řada výluhu z ECN pro test na <i>Desmodesmus subspicatus</i> [154].....	60
Obrázek 31 – Baňky s řasou umístěné pod lampou [154].....	60
Obrázek 32 – Výluhy z nedopalků o konc. 80 ks/L na počátku louhování [154].....	62
Obrázek 33 – Výluhy z nedopalků o konc. 80 ks/L po 24 hodinách [154].....	62
Obrázek 34 – Výluhy z nedopalků o konc. 80 ks/L po zfiltrování [154].....	62
Obrázek 35 – Roztoky s aktivovaným kalem připojené na provzdušňování [154].....	63
Obrázek 36 – Měření koncentrace rozpuštěného kyslíku oximetrickou sondou [154].....	64
Obrázek 37 – Výluhy z nedopalků s ef. konc. 2 ks/L po odstředění akt. kalu [154].....	67
Obrázek 38 – Konc. řada ošetřeného výluhu z CN pro test na <i>Daphnia magna</i> [154].....	68
Obrázek 39 – Konc. řada ošetřeného výluhu z ECN pro test na <i>Daphnia magna</i> [154].....	68
Obrázek 40 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1/8 ks/L [154].....	72
Obrázek 41 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1/4 ks/L [154].....	72
Obrázek 42 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1/2 ks/L [154].....	72

Obrázek 43 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1 ks/L [154]	72
Obrázek 44 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 2 ks/L [154]	72
Obrázek 45 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1/8 ks/L [154]	72
Obrázek 46 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1/4 ks/L [154]	72
Obrázek 47 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1/2 ks/L [154]	72
Obrázek 48 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1 ks/L [154].....	73
Obrázek 49 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 2 ks/L [154].....	73
Obrázek 50 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 2,5 ks/L [154]	76
Obrázek 51 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 5 ks/L [154]	76
Obrázek 52 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 10 ks/L [154]	76
Obrázek 53 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 20 ks/L [154]	76
Obrázek 54 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 40 ks/L [154]	76
Obrázek 55 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 2,5 ks/L [154].....	77
Obrázek 56 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 5 ks/L [154]	77
Obrázek 57 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 10 ks/L [154]	77
Obrázek 58 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 20 ks/L [154]	77
Obrázek 59 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 40 ks/L [154]	77
Obrázek 60 – Stanovení výluhů pomocí GC-FID, nahoře výluh z ECN, uprostřed výluh z CN, dole roztok se standardem.....	81
Obrázek 61 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 1/4 ks/L [154].....	91
Obrázek 62 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 1/2 ks/L [154].....	91
Obrázek 63 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 1 ks/L [154].....	91

Obrázek 64 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 2 ks/L [154].....	91
Obrázek 65 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 1/4 ks/L [154]	92
Obrázek 66 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 1/2 ks/L [154]	92
Obrázek 67 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 1 ks/L [154]	92
Obrázek 68 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 2 ks/L [154]	92
Tabulka 1 – Globální výnosy moderních tabákových výrobků od jejich rozšíření na trhu	26
Tabulka 2 – Přehled koncentrací organických látek přítomných ve výluhu z CN.....	38
Tabulka 3 – Další organické látky detekované ve výluhu z CN (Richardot et al.) [26]	39
Tabulka 4 – Přehled koncentrací kovů stanovených ve výluhu z CN.....	40
Tabulka 5 – Koncentrace kovů ve výluhu z ECN (Solomou et al.) [116].....	41
Tabulka 6 – Koncentrace kovů ve výluhu z ECN (Koutela et al.) [118]	41
Tabulka 7 – Kategorie klasifikace pro látky nebezpečné pro vodní prostředí [143].....	47
Tabulka 8 – Koncentrace a objemy živin v růstovém médiu [148]	56
Tabulka 9 – Koncentrace živin v syntetické odpadní vodě [150]	61
Tabulka 10 – Parametry víceprvkových standardů použitých pro stanovení kovů.....	66
Tabulka 11 – Výsledek analýzy org. látek ve výluhu z CN o koncentraci 40 ks/L	83
Tabulka 12 – Výsledek analýzy org. látek ve výluhu z ECN o koncentraci 40 ks/L	85
Tabulka 13 – Výsledek analýzy organických látek ve zředovací vodě	86
Tabulka 14 – Výsledek emisní spektrální analýzy pro výluhy o koncentraci 60 ks/L.....	87
Tabulka 15 – Výsledky stanovení CHSK ve výluzích	88

Graf 1 – Globální výnosy z moderních tabákových výrobků dle zdroje informací	25
Graf 2 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na konc. výluhu z CN po 24 hodinách	69
Graf 3 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na konc. výluhu z CN po 48 hodinách	70
Graf 4 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na konc. výluhu z ECN po 24 hodinách	70
Graf 5 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na konc. výluhu z ECN po 48 hodinách	71
Graf 6 – Závislost inhibice růstu řasy <i>Desmodesmus subspicatus</i> na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z CN	74
Graf 7 – Závislost počtu buněk řasy <i>Desmodesmus subspicatus</i> na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z CN	74
Graf 8 – Závislost inhibice růstu řasy <i>Desmodesmus subspicatus</i> na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN	75
Graf 9 – Závislost počtu buněk řasy <i>Desmodesmus subspicatus</i> na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN	75
Graf 10 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích výluhu z CN	78
Graf 11 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích roztoku 3,5-dichlorfenolu pro test výluhu z CN	78
Graf 12 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN	79
Graf 13 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích roztoku 3,5-dichlorfenolu pro test výluhu z ECN	79
Graf 14 – Chromatogram výluhu z CN GC-MS	80
Graf 15 – Chromatogram výluhu z ECN GC-MS	80
Graf 16 – Chromatogram zředovací vody GC-MS	81
Graf 17 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na koncentraci ošetřeného výluhu z CN po 24 hodinách	89
Graf 18 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na koncentraci ošetřeného výluhu z CN po 48 hodinách	89

Graf 19 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na koncentraci ošetřeného výluhu z ECN po 24 hodinách.....	90
Graf 20 – Závislost imobilizace <i>Daphnia magna</i> na koncentraci ošetřeného výluhu z ECN po 48 hodinách.....	90

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

OECD – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

REACH – registrace, evaluace a autorizace chemických látek

EU – Evropská unie

ČSN – Česká (státní) technická norma

ISO – International Organization for Standardization/Mezinárodní organizace pro normalizaci

LC50 – koncentrace toxické látky, která zahubí 50 % pokusných živočichů

EC50 – efektivní koncentrace toxické látky, která imobilizuje 50 % pokusných organismů (korýši)

ErC50 – efektivní dávka toxické látky, která inhibuje 50 % pokusných organismů (řasy)

ENDS – electronic nicotine delivery systems/ elektronické systémy dodávání nikotinu

HNB – heat-not-burn

CN – cigaretový nedopalek

ECN – nedopalek z elektronické cigarety

ÚVOD

Tabákový průmysl představuje podle studií životního cyklu nezanedbatelnou zátěž na životní prostředí ve všech částech planety. Tyto vlivy mají svůj původ nejen v náročnosti zemědělské produkce tabáku nebo konzumace produktů, které tento průmysl produkuje, ale ve velké míře i v konci životního cyklu těchto produktů.

Nejvýraznější podíl produkce tabákových společností představují v současné době filtrované cigarety. Jejich problematika je zkoumána zhruba od poloviny minulého století a zejména jejich vliv na zdraví konzumentů cigaret je již ve společnosti všeobecně dobře znám. Elektronické cigarety jsou naproti tomu poměrně novým a málo probádaným tématem. V obou případech je relativně zanedbána otázka dopadu těchto produktů na životní prostředí, ačkoli je odpad z tabákových výrobků ročně produkován v úctyhodných objemech a tonážích.

Cílem této práce bylo analyzovat negativní vliv tabákových výrobků na životní prostředí ekotoxikologickými testy a identifikovat škodlivé látky pomocí chromatografických metod. V literární rešerši byly přiblíženy i způsoby možného zmírnění jejich negativních environmentálních vlivů skrze recyklaci a čištění jejich výluhů.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Tabákový průmysl

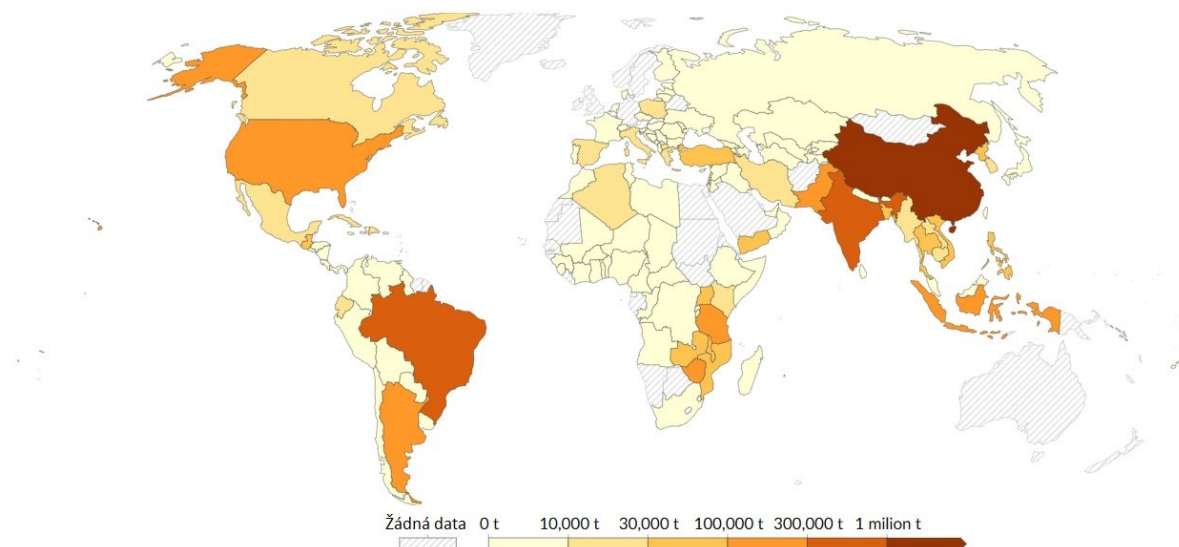
Tabákový průmysl je významným světovým průmyslovým odvětvím. Jen v České republice šplhají roční výnosy tří největších tabákových společností (Philip Morris ČR a.s., British American Tobacco (Czech Republic), s.r.o. a JT International spol. s r.o.) přes 3 miliardy korun. Podíly na trhu byly v roce 2023 pro Philip Morris 39,6 % (zisk 3 344 milionů Kč) [1], pro British American Tobacco 22,1 % (v roce 2023 ztráta 61,2 milionů Kč, ale v předchozím roce však měla zisk 215,3 milionů Kč a v roce 2024 opět očekává zisk) [2], a pro JT International 28,8 % (zisk 19,1 milionů Kč) [3]. Se světovým počtem zhruba 1,25 miliardy kuřáků [4] odpovídá globální hodnota tohoto průmyslu v posledních letech zhruba 900 bilionům amerických dolarů, (v roce 2024 dosáhla na 965,1 bilionů amerických dolarů [5]), tedy zhruba 20 bilionům Kč. Výnosy v tomto odvětví rostou, ačkoli se postupně snižuje počet kuřáků klasických cigaret (které jsou stále nejprodávanějším tabákovým výrobkem), protože jsou tradiční tabákové výrobky nahrazovány elektronickými [5].

1.2 Globální dopady tradičních tabákových výrobků

Tabákový průmysl není dominantní jen z hlediska výnosů, ale i s ohledem na počet pracovních míst, která generuje. Dle informací dostupných na stránkách společnosti Philip Morris International, největší tabákové společnosti na mezinárodním trhu [6] (největší tabákovou společností je Čínská národní tabáková korporace – CNTC, ta ovšem prodává pouze v Číně [7]), užívá tento sektor 1,6 milionu zaměstnanců [8]. Tento počet nicméně odpovídá pouze zpracovatelské části sektoru. Největší podíl zaměstnanců tabákového průmyslu připadá na zemědělece pěstující tabák. Ten je ale z velké části produkován v rozvojových zemích, kde nelze spolehlivě prokázat počet pracovníků.

Celosvětový objem produkce sušeného tabáku dosáhl v roce 2023 na 6 milionů tun [9], přičemž největším producentem tabákových listů je Čína (Obrázek 1), která v tomto roce vyprodukovala 2,3 milionů tun tabáku. Na druhém místě je z hlediska produkce Indie, kde bylo vypěstováno zhruba 770 000 tun a na třetím Brazílie se zhruba 680 000 tunami [9]. Odhady počtu zemědělců pěstujících tabák v Číně se ale výrazně liší podle zdroje (přesná data nejsou k dispozici). International Labour Organization ve zprávě o zaměstnanosti v tabákovém sektoru z roku 2014 uvádí, že v Číně tabák pěstuje 1,5 milionu domácností, odhady přesného počtu pracujících se potom pohybují mezi 17 a 35 miliony [10]. Vyhodnocení komplikuje samotná podstata tabákové produkce – tabák je obvykle pěstován na menších nebo středních rodinných

plantážích, kde nejsou pracovníci zaměřeni pouze na tuto jednu konkrétní plodinu a současně zde lze očekávat i zapojení dětské nebo sezónní práce [10].



Obrázek 1 – Světová produkce tabáku v roce 2023 [9] (vlastní překlad)

Zmíněný objem tabáku si v roce 2023 vyžádal 3,2 milionu hektarů zemědělské půdy [11]. Tabákové rostliny jsou navíc mimořádně náročné na zdroje vody – se spotřebou 670 m³ vody na jednu tunu zeleného tabáku jsou srovnatelné s rýží, a vyžadují tedy pět až osmkrát větší objem vodních zdrojů než rajčata nebo brambory, což má v oblastech, kde se produkují, vliv na dostupnost potravin [12].

Voda není jediný zdroj, kterého spotřebovává tabák více než běžné plodiny. Je známo, že z půdy odčerpává i mnohem více dusíku, fosforu a draslíku, takže je nezbytné mu dodávat velké množství průmyslových hnojiv, jinak rychle degraduje půdu, což je následně spojeno s deforestací pro vznik nových zemědělských ploch. Tabákové rostliny se také obvykle pěstují na monokulturních plantážích, takže musí být ošetřována herbicidy a jinými pesticidy, protože jsou náchylné k rozvoji škůdců. Pesticidy působením splachů často kontaminují vodní zdroje a ohrožují jejich rybí populace a biodiverzitu [13].

Působení pesticidů jsou vystaveni i zemědělci, kteří si často neuvědomují jejich toxicitu. Problémem specifickým pro pěstování tabáku je nemoc ze zeleného tabáku (GTS – Green Tobacco Sickness), která vzniká, když se zemědělci pracující na plantáži kůží dotýkají vlhkých tabákových listů. Dermálně absorbují nikotin a může se rozvinout otrava nikotinem, mezi jejíž příznaky patří zejména bolest hlavy, nevolnost, zvracení, dýchací potíže, kolísání srdeční frekvence nebo zvýšené pocení a slinění. Pokud na plantážích pracují děti, riziko vzniku otravy je vzhledem k nižší váze, ještě vyšší než u dospělých [14].

Dalším problémem spojovaným s produkcí tabáku je deforestace. Zelený tabák je v rámci procesu zpracování sušen (procesu zpracování tabáku se blíže věnuji ve své bakalářské práci [15]), přičemž jedním z využívaných postupů je i sušení dřevem. Zajištění dostatečného přísunu dřeva je často spojeno s deforestací blízkého okolí plantáže [13]. Alternativně mohou být listy sušeny i s použitím ventilátorů, potom ale environmentální dopad závisí na zdroji spotřebovávané energie [16].

1.2.1 Ekotoxicita výluhů z tabákových výrobků

V neposlední řadě je problematický i konec cesty produktů tabákového průmyslu, a to zejména nedopalků cigaret a s nástupem elektronických cigaret i odpadu z těchto zařízení. Ročně je vyprodukováno zhruba 5,2 bilionů cigaret (a následně cigaretových nedopalků) [17]. Z nich 60-80 % končí v životním prostředí (odhady se rozcházejí podle zdroje [13; 18]), což představuje roční produkci 0,34-1,2 milionů tun odpadu [13; 19].



Obrázek 2 – Deset nejčastěji sbíraných odpadů roku 2023 [20] (vlastní překlad)

Cigaretové nedopalky představují zhruba 30 % celkového světového odpadu [21] a jsou každoročně mezi nejčastěji se vyskytujícími odpadem sbíraným dobrovolnickými organizacemi

z celého světa při úklidech pláží (Obrázek 2). Dle publikovaných studií lze na 100 metrech pláže nalézt až 1600 nedopalků, v městské zástavbě je potom hustota ještě vyšší – až 130 nedopalků na m² [116]. V cigaretách přitom bylo detekováno dle studie provedené v roce 2022 přes 9500 chemických sloučenin, z nichž 83 je označeno za karcinogenní [22]. Tento chemický koktejl způsobuje značnou akutní toxicitu, (které se blíže věnuji ve své bakalářské práci [15]) i chronickou toxicitu vůči vodním organismům.

Výluh z cigaretových nedopalků vykazuje LC50 (koncentraci, která je letální pro 50 % sledovaných organismů) při testech akutní toxicity zhruba v hodnotě 0,06 CN/L pro organismy druhu *Ceriodaphnia dubia* (ve 48-hodinovém testu [21; 23]), v koncentraci cca 0,6 CN/L pro mořskou bakterii *Vibrio fischeri* (ve 30-minutovém testu [21; 23]), a zhruba 1 CN/L pro ryby gavúnovce jednopruhového (*Atherinops affinis*) a jelečka velkohlavého (*Pimephales promelas*) (96-hodinový test [21]). Akutní toxicita byla testována i pro další druhy mořských a sladkovodních ryb, případně jejich embrya, a žáby. U vyšších vodních organismů je obvykle patrná pouze změna v chování (nižší reaktivita, ostražitost vůči predátorům), případně ve fyziologii (zpomalený srdeční tep, zpomalený vývoj) nikoli akutní toxicita [24].

Subchronická nebo chronická toxicita (tedy v delším časovém horizontu) byla testována u larev mořských ježků (*Paracentrotus lividus*) [25], u jelečka velkohlavého [26] a ústřic (*Crassostrea gigas*) [27]. Ze studií vyplývá, že organismy vystavené působení výluhu z cigaretových nedopalků ve svých tkáních kumulují těžké kovy a dorůstají menších rozměrů než kontrolní jedinci. Podobný efekt lze sledovat i u rostlin jako koriandr, bazalka, máta nebo petržel, které pokud rostou na půdě znečištěné tabákem (nebo cigaretovými nedopalky), mají tendenci z ní přijímat nikotin [28]. V případě elektronických cigaret byla pozorována souvislost mezi přítomností odpadu z elektronických cigaret a sníženou hmotností biomasy produkované jíllem vytrvalým (*Lolium perenne*) [29]. Několik studií se zabývá i behaviorálními změnami vyšších terestrických organismů, u nich je sledována snížená ostražitost vůči predátorům [30]. Environmentálním efektem (ačkoli ne jednoznačně ekotoxikologickým) je konzumace cigaretových nedopalků rybami, ptáky nebo vodními savci [31].

Neopomenutelnou součástí problému znečištění životního prostředí cigaretovými nedopalky jsou i mikroplasty. Každý cigaretový nedopalek se skládá zhruba z 15 000 vláken. Ta se mohou vlivem fyzikálních procesů v prostředí oddělit a nedopalky se tak stávají nezanedbatelným zdrojem mikroplastů [32]. Palčivá je i otázka požárů, které jsou spojovány s cigaretovými nedopalky (prozatím neexistují informace o požárech vzniklých kvůli odpadu z elektronických

cigaret). Jen v České republice jich cigaretové nedopalky ročně způsobí zhruba 800 [33], celosvětově jsou potom příčinou 10 % smrtí spojených s požárem [34].

Největší tabákové společnosti mají na svých stránkách sekce, v nichž se vyjadřují ke svému vlivu na životní prostředí [35; 36; 37; 38]. S nástupem ESG reportingu v rámci legislativy Evropské unie jsou tyto jejich reporty spolu s dalšími systémy prokazování vlivu aktivit na společnost dostupné pro veřejnost. Tyto reporty však obvykle neobsahují snadno přehledné závěry nebo vyčíslení vlivu produkce na složky životního prostředí, jak je obvyklé v life cycle assessment (LCA) studiích. Některé vědecké týmy tedy vypracovaly nezávislé LCA studie, v nichž hodnotí část, nebo celý řetězec tabákového průmyslu.

1.2.2 Life cycle assessment studie

Boettcher et al. vypracovali studii, v níž se zaměřují na pěstování dvou odrůd tabáku (Virginia a Burley) v Brazílii. Studie využívá data od 14,4 tisíc brazilských farmářů a předpokládá hlavní produkci na menších rodinných farmách (průměrně zhruba 15,3 ha), se společnou plochou 31,8 tisíc ha, což představuje zhruba 10 % celkové plochy obdělávané pro pěstování tabáku. Je předpokládáno používání mechanizace a průmyslových hnojiv, pro většinu zemědělských prací je ale využívána lidská práce [16].

Kromě samotné produkce byly do studie zahrnuty i některé další fáze jako přeprava výstupů k producentovi tabákových výrobků, přeprava za účelem uvedení na trh nebo balení, ne však výroba cigaret nebo jejich konzumace a konec jejich životního cyklu. Pro porovnání s následujícími studii je důležité, že studie nepředpokládá sušení tabákových listů ohněm. Funkční jednotkou je 1 tuna zpracovaných tabákových listů (tedy 6,6 tun zelených listů) [16].

Z výzkumu vyplývá, že je průměrně na jednu tunu tabáku vyprodukováno 1,5 tuny CO₂ ekvivalentu (eq.), přičemž konkrétní hmotnost závisí výrazně na odrůdě tabáku a její spotřebě dusíkatých hnojiv, která byla hlavním zdrojem emisí CO₂. Větší zapojení mechanizace by zvedlo emise, stejně jako masivnější využití průmyslových hnojiv (které je z důvodu degradace půdy do budoucna očekáváno). Je předpokládáno, že pokud by k sušení listů byl využíván oheň, k současným emisím spojeným s tabákem Virginia by bylo nutno přičíst 5,88–6,89 kg CO₂ eq. na kilogram tabáku (v závislosti na tom, zda by bylo dřevo získáváno udržitelně, nebo deforestací) [16].

Nejnovější ze zmíněných je studie Ti et al. (2024), zaměřená na regionální rozdíly uhlíkové stopy produkce tabáku v Číně. V této studii autoři mapují rozdíly mezi 20 provinciemi, kde je pěstován tabák. Hranice studie jsou od zasetí po vysušení tabáku. Data pro výpočet jsou použita

ze sekundárních zdrojů (vědecké články, databáze Ecoinvent). Pro sušení je, dle provincie, využívána buď elektrina nebo uhlí. Jsou používána průmyslová hnojiva a podle regionu se mění míra zapojení mechanizace jak při pěstování, tak při sklizni tabáku. Ačkoli pro zpracování studie nebyla použita funkční jednotka (studie používá místo standardního software výpočtu rovnici s Kayovou konstantou), výsledky byly vyjadřovány pro 1 ha plochy pole [39].

Autoři studie zjistili, že oblasti s vyšší mírou mechanizace a použitím syntetických hnojiv vykazují vyšší uhlíkovou stopu. Naopak v oblastech, kde se uplatňuje ruční sběr a tradičnější zemědělské metody, jsou environmentální dopady výrazně nižší. Využití uhlí pro sušení je opět nejvýraznějším přispěvatelem do uhlíkové stopy, která se pohybovala mezi zhruba 10,8 t CO₂ eq. a 14,5 t CO₂ eq. na jeden hektar obdělávané plochy. Studie rovněž ukazuje, že během let došlo, s modernizací zemědělství, k navýšení produkce skleníkových plynů [39].

Uhlíkovou stopou tabákových výrobků zabývá i studie Zafeiridou et al. (2018). Ta studuje globální environmentální stopu tabákového průmyslu napříč celým jeho dodavatelským řetězcem. Funkční jednotkou je 1 tuna tabáku. Ve studii byla zpracována data z roku 2014, pocházející ze sekundárních zdrojů (odborných článků, zpráv o průzkumech průmyslu a trhu apod.) zahrnující globální údaje, nebo takové, které bylo možné na globální extrapolovat. Do výzkumu byly zahrnuty fáze pěstování, sušení, primárního zpracování tabáku, výroba, distribuce a použití cigaret, doprava a nakládání s odpady. Ve studii je předpokládáno, že všechny cigaretové nedopalky končí v systému běžného nakládání s odpady, tedy ne přímo v životním prostředí. Pro sušení je uvažováno využití dřeva (které bylo získáno udržitelným způsobem) a uhlí [12].

V rámci celého řetězce tabákového průmyslu vychází jako environmentálně nejnáročnější fáze pěstování rostlin, sušení tabákových listů a jejich zpracování. Z pěstování je opět nejvýraznějším prvkem používání průmyslových hnojiv. Dopad sušení tabákových listů závisí zejména na zdroji elektrické energie. Vzhledem ke zvolenému typu sušení listů tato fáze procesu emituje více CO₂ než všechny ostatní fáze dohromady (1 tuna tabáku v celém řetězci nakonec produkuje 14 tun CO₂ ekvivalentu) [12].

Uvedené studie se tedy shodují na faktu, že fáze pěstování a sušení tabáku představují v životním cyklu největší environmentální zátěž. Spotřeba hnojiv, pesticidů a energie přispívá nejen k emisím skleníkových plynů, ale také k degradaci půdy a znečištění sladkovodních ekosystémů [39]. Pro celý tabákový průmysl byla produkce skleníkových plynů pro rok 2014 vyčíslena na 84 Mt CO₂ eq., což představuje 0,2 % světových emisí a je to také objem

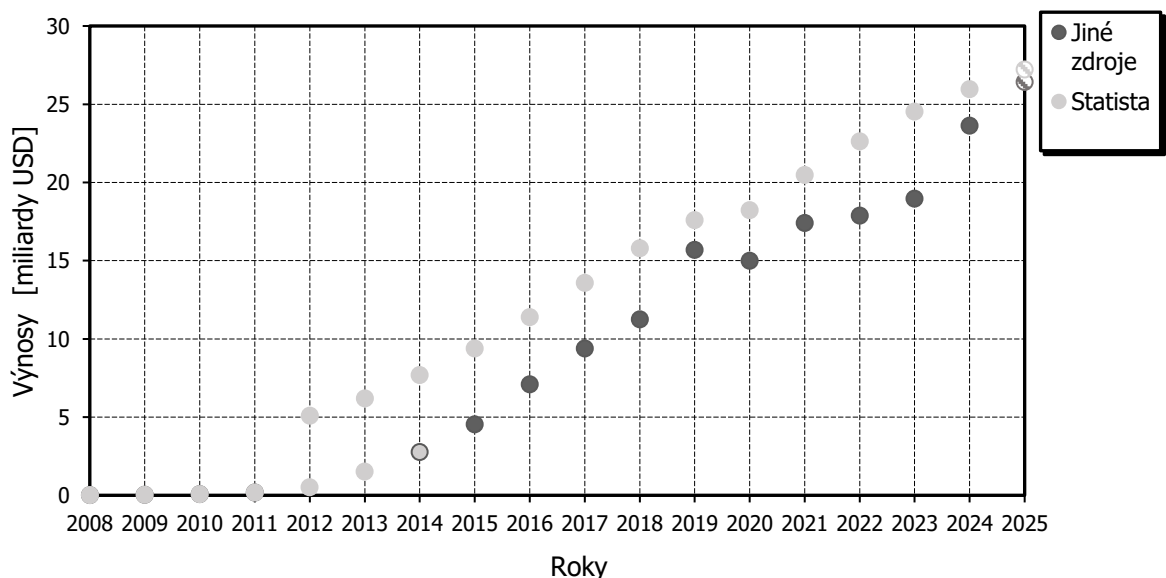
srovnatelný s emisemi Peru nebo Izraele. Spotřeba 21 Mt eq. ropy potom zhruba odpovídá roční spotřebě Nového Zélandu a Maďarska. Spotřeba vody je nakonec vyčíslena na 22 200 Mt, což je více než 2,5násobek roční spotřeby vody celou populací Spojeného království [12].

1.3 Moderní tabákové výrobky

Ani nejnovější LCA studie zatím nevyčísľujú environmentální dopad moderních tabákových výrobků, které jsou běžně nazývané „elektronické cigarety“. Tímto pojmem se dnes obvykle označují tzv. výrobky s potenciálně sníženým rizikem (British American Tobacco) nebo bezdýmne alternativy (Philip Morris). Ty zahrnují zejména vaporizéry označované také názvem ENDS (electronic nicotine delivery systems [40]) neboli elektronické systémy dodávání nikotinu, a heat-not-burn (HNB) produkty – česky zařízení na nahřívání tabáku (nejsou definovány jako e-cigarety, ačkoli je tak uživatelé nazývají).

1.3.1 Historie moderních tabákových výrobků

Vaporizéry i zařízení na nahřívání tabáku jsou v současnosti strategií tabákových společností pro postupnou transformaci tabákového průmyslu. Připisují těmto produktům nižší zdravotní rizika pro kuřáky (společnosti Philip Morris a British American Tobacco veřejně zpřístupnily svůj výzkum, který je dostupný na jejich stránkách [41; 42]), ačkoli informace ohledně jejich reálného zdravotního efektu z nezávislých zdrojů tuto myšlenku zcela nepotvrzují [43]. Produkce alternativních tabákových výrobků je proto ve strategii těchto firem spojená s vizí „Budoucnosti bez kouře“ (Philip Morris [44]) nebo obecněji „Lepších zítřků“ (British American Tobacco [45]). Trh s těmito produkty stále roste, ačkoli se zdroje informací neshodují v tom, jaká je jeho skutečná hodnota (Graf 1, Tabulka 1).



Graf 1 – Globální výnosy z moderních tabákových výrobků dle zdroje informací

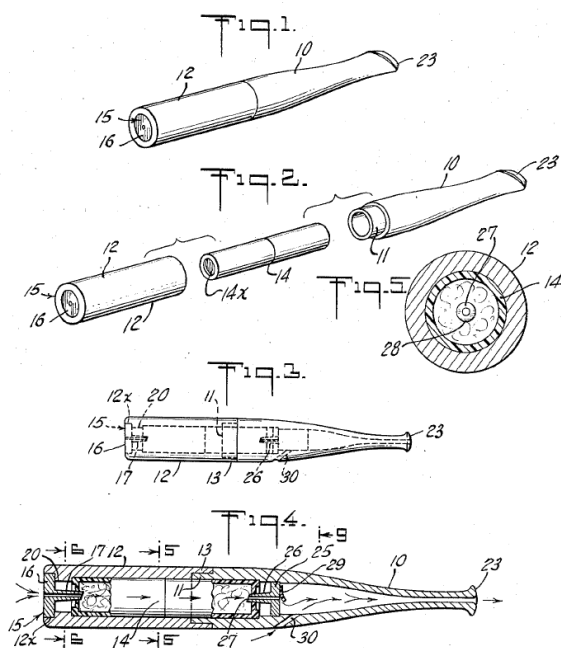
Tabulka 1 – Globální výnosy moderních tabákových výrobků od jejich rozšíření na trhu

Rok	Globální výnosy [miliardy USD] – Statista		Globální výnosy [miliardy USD] – Jiné zdroje
2008	0,02 [46]		-
2009	0,04 [46]		-
2010	0,08 [46]		-
2011	0,20 [46]		-
2012	5,10 [47]	0,50 [46]	-
2013	6,20 [47]	1,50 [46]	-
2014	7,70 [47]	2,76 [46]	2,76 [48]
2015	9,40 [47]		4,55 [48]
2016	11,40 [47]		7,10 [48]
2017	13,60 [47]		9,39 [48]
2018	15,80 [47]		11,26 [49]
2019	17,60 [47; 47]		15,70 [50]
2020	18,24 [5]		15,00 [51]
2021	20,48 [5]		17,43 [52]
2022	22,64 [5]		17,90 [53]
2023	24,55 [5]		18,98 [54; 55]
2024	25,98 [5]		23,65 [56]
2025 (projekce)	27,21 [5]		26,42 [57]

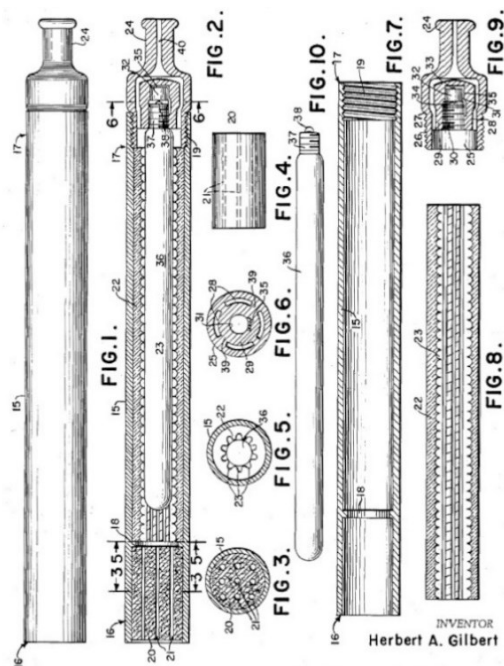
Oba typy zařízení získaly na popularitě zejména v posledním desetiletí, ačkoli byl první návrh zařízení pro inhalaci nikotinu bez pálení tabáku patentován již v roce 1958 [58]. Toto zařízení vymyslel Frank Bartolomeo a bylo navrženo jako alternativa bez ohně pro prostředí s rizikem výbuchu, nebo pro případ války, kdy je zakázáno světlo. Mělo fungovat na základě nasávání vzduchu skrz perforovanou kapsli naplněnou bavlněnou vatou namočenou do roztoku nikotinu nebo dehtu pro simulaci chutě cigarety (Obrázek 3).

Následně v roce 1965 Herbert A. Gilbert patentoval návrh zařízení, které obsahuje součásti pro ohřev kapalné náplně a vzhledem velmi připomíná moderní vaporizéry [58]. Bylo určeno jako alternativa bez obsahu nikotinu. Pro ohřev je předpokládáno použití žárovky, nebo baterie, která

by se vyměňovala. „Kuřák“ by inhaloval páru se zvolenou příchutí, navrhován je mentol a whisky (Obrázek 4) [59].



Obrázek 3 – „Zařízení ke kouření“ F. Bartolomeo [60]



Obrázek 4 – „Cigareta bez dýmu a nikotinu“ [59]

Ačkoli tedy lze počáteční nápad zařízení pro konzumaci nikotinu bez přímého spalování tabáku vysledovat do hlubší historie, první elektronickou cigaretu, která našla své uplatnění na trhu, vynalezl v roce 2003 Hon Lik, čínský lékař, jehož otec zemřel na rakovinu plic. Snažil se vymyslet produkt, který by kuřákům umožnil konzumovat nikotin bez inhalace kouře a dalších škodlivých chemických látek [58].

Hok Lik založil společnost Ruyan a po dlouhém vývoji v roce 2004 představil Číně (v USA byl produkt uveden na trh v roce 2006) první elektronickou cigaretu, jejíž hlavní částí byly bateriový zdroj, plastová kartridž naplněná nikotinem rozpuštěným v ethylenglykolu (tzv. liquid) a topné těleso složené z ultrazvukového atomizéru (Obrázek 5). Jednalo se o zařízení dnes označované jako vaporizér [58]. Brzy poté vznikly další společnosti, které původní design kopírovaly a snažily se prosadit na trhu. V roce 2006 bratři Umer a Tariq Sheikh ze Spojeného království vynalezli tzv. katomizér, což je mechanismus, který umožnil vložit zahřívací cívku přímo do kartriže s liquidem [61].

Mnoho původních designů elektronických cigaret imitovalo vzhledem klasické cigarety nebo cigarillos (Obrázek 6, první 4 modely zleva v horní řadě), těmito zařízeními se proto začalo říkat

„cig-a-like“ (lze volně přeložit ve smyslu „jako-cigareta“). Objevila se také vaporizační pera (Obrázek 6, pátý a šestý model zleva) a nakonec i typy zařízení, která bylo možné různě modifikovat (Obrázek 6, třetí model zleva), pro ta se vžil název „box mod“ (volně přeložitelné jako „modifikovatelná krabice“). Ani jeden z těchto produktů ale nezískal mnoho příznivců a poměrně dlouho byl trh s těmito produkty relativně malý [62].



Obrázek 5 – První generace vaporizéru společnosti Ruyan [61]



Obrázek 6 – Vývoj designu prvních vaporizérů [63]

Současně se na trhu objevovala i takzvaná „heat-not-burn“ tabáková zařízení, která na rozdíl od vaporizérů stále obsahují sušený tabák, fungují ale na principu nepřímého ohřevu, nikoli spalování. Prvním designem takového produktu byl Premier (1988) a později Eclipse společnosti R. J. Reynolds. Zařízení obsahovalo malé množství uhlí, které hořelo a tím zahřívalo tabák, zabalený v hliníkové folii (Obrázek 7) [64]. Ani tyto produkty (ačkoli byly uváděny na trh již známými tabákovými společnostmi) ale nezískaly při svém uvedení na trh velký ohlas a rychle byly staženy [40].

Revoluce pro oba typy zařízení přišla až po roce 2010. V případě zařízení na nahřívání tabáku jí byl produkt IQOS od společnosti Philip Morris, který byl poprvé představen v roce 2014 (Ploom od společnosti JTI, původně navržený startupem Pax Labs, byl uveden dříve, ale pouze v USA a Japonsku) [40]. Tento produkt použil speciální tabákové náplně (zhruba ve tvaru cigaret), které jsou nahřívány keramickou čepelí tak, aby produkovaly páru obsahující nikotin, která je následně vdechována kuřákem [65].

V případě vaporizérů byl přelomový rok 2015. Adam Bowen (spolumajitel tehdejší firmy Pax Labs a spolu s Jamesem Monseesem budoucí zakladatel firmy JUUL Labs) s Chenuen Xing

nechali patentovat technologii nikotinových solí pro použití ve vaporizérech [66]. Téhož roku představila firma Pax Labs vaporizér JUUL (Obrázek 8) [67], který po marketingové kampani v roce 2017 doopravdy odstartoval celosvětovou popularitu e-cigaret [68]. Produkt byl revoluční nejen svým vzhledem, který již nepřipomínal klasickou cigaretu, ale i technologií vyměnitelných předem naplněných podů (plastová nádobka naplněná liquidem), který pro zákazníka usnadňoval použití. Nikotinové soli také kuřákům zpřístupnily mnohem intenzivnější prožitek z kouření usnadněním příjmu nikotinu z páry [69].



Obrázek 7 – „Eclipse“ společnosti R.J. Reynolds [64]



Obrázek 8 – JUUL první generace [62]

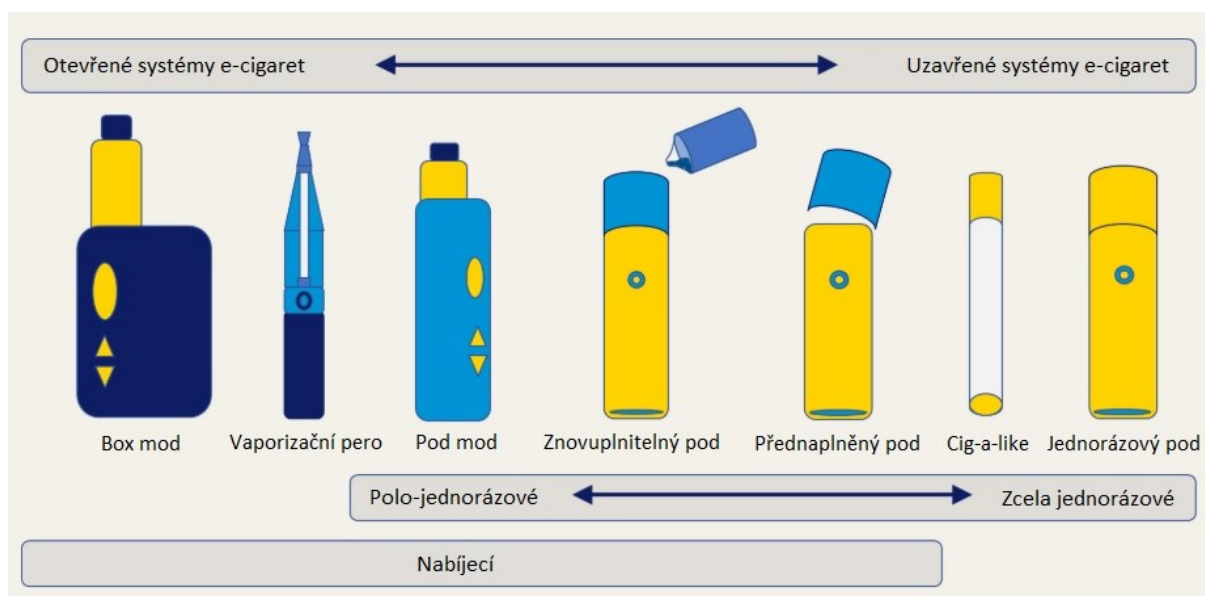
Nejnovějším produktem tohoto typu jsou jednorázové elektronické cigarety, které se na trhu objevily v roce 2019. První společností, která uvedla tento výrobek na trh byla MOTI, která představila MOJO pod kit. Nápad byl brzy replikován mnoha společnostmi, z nichž známějším produktem byl Elf Bar 600 (Obrázek 9), společnosti ELF BAR. Elektronické cigarety tohoto typu nemají žádné vyměnitelné části a jejich použití je proto omezené výdrží baterie, která je standardizována výrobcem na daný počet potáhnutí (obvykle 600). Zařízení se na trhu prosadila zejména díky široké nabídce příchutí [70].



Obrázek 9 – Elf Bar 600 [71]

1.3.2 Environmentální dopady moderních tabákových výrobků

V současné době jsou na trhu dostupné všechny výše zmíněné druhy produktů (některé v běžných trafikách, jiné spíše ve specializovaných internetových obchodech). Jejich trvanlivost je proměnlivá, zejména v závislosti na typu použité baterie. Obvykle se dělí na otevřené a uzavřené podle toho, do jaké míry umožňují uživateli modifikovat funkci zařízení (Obrázek 10).



Obrázek 10 – Technická řešení moderních tabákových výrobků [69] (vlastní překlad)

Environmentální dopady těchto zařízení jsou prozatím z velké části neprobádané [72]. Lze říci, že elektronické cigarety mají oproti klasickým nižší dopad při samotném vapování (nebo kouření), protože polyaromatické uhlovodíky, nitrosaminy, oxid uhelnatý a další chemické látky uvolňované do ovzduší při kouření běžných cigaret vznikají při konzumaci elektronických cigaret v menší míře [73; 74]. Dobíjecí zařízení ale tento efekt pravděpodobně od určité míry kompenzují emisemi z elektrické sítě (alespoň za předpokladu, že nejsou dobíjeny bezemisním zdrojem elektřiny).

Vaporizéry ale nejsou bezodpadové, i v případě, že nejsou jednorázové, protože je nezbytné jim buď vyměňovat pody, nebo je alespoň doplňovat liquidem, což představuje produkci plastových obalů se zbytky této tekutiny. Studie z roku 2020 navíc ukázala, že (mladí) uživatelé si často nevědí rady s otázkou, jak se vzniklým odpadem správně naložit [72]. To je problematické zejména v případě jednorázových elektronických cigaret, které často končí v komunálním odpadu (v lepším případě, tedy relativně lepším, pokud nejsou vyhozeny přímo do životního prostředí) [72]. Jen ve Velké Británii je tak s četností spotřeby 1,3 milionu

jednorázových elektronických cigaret do komunálního odpadu vyhozeno zhruba 10 tun lithia ročně (což by stačilo na výrobu baterií do 1 200 elektrických aut) [75].

Pokud je s těmito zařízeními naloženo správně (jsou tedy vytríděna do kontejnerů pro elektronická zařízení), znamená nicméně konec jejich životnosti nakládání s komplexním odpadem obsahujícím jak plast, tak i kovy (jako měď a hliník) a další materiály včetně baterie, a je nutno je pro další recyklaci rozebrat a součásti oddělit [76]. Tradiční cigareta naproti tomu obsahuje pouze papírový obal, plastový filtr a zbytek nespáleného tabáku [13]. V případě zařízení na zahřívání tabáku se k elektronickému zařízení navíc připojuje i zbytek tabáku, který kromě papíru a plastu obsahuje i malý podíl hliníkové folie, která je součástí obalu náplně [77].

Z kapitoly 1.2.1, v níž jsou shrnuty poznatky LCA studií provedených na klasických tabákových výrobcích, vyplývá, že samotná konzumace cigaret není fází jejich životního cyklu s nejvyšším environmentálním dopadem. Tou je naopak produkce tabáku [12], která v případě vaporizérů i zařízení na zahřívání tabáku přetrvává, do procesu se ale navíc přidá fáze extrakce nikotinu z tabákových listů, která spotřebovává velké objemy vody a tepelné energie [78]. Nikotin pro liquid může být i syntetizován, v tomto případě jsou ale místo tabáku spotřebovávány ropné produkty a je také zapotřebí dodání další energie a surovin (organická rozpouštědla apod.) [79].

Parametr, který oproti běžným cigaretám je nepochybně výrazně energeticky a surovinově náročnější je tedy výroba a konečná likvidace produktu. Některé společnosti zavedly systém zpětného odběru těchto výrobků (Philip Morris od roku 2019 v Maďarsku a Japonsku, do budoucna má cíl zavést globálně [80], British American Tobacco zatím pilotně v Anglii [81]). Je ale otázkou, jak rozšířené je mezi kuřáky povědomí o této možnosti nakládání s jejich vysloužilými zařízeními. Lze tedy usuzovat, že v porovnání s běžnými cigaretami jsou moderní tabákové výrobky z hlediska celého životního cyklu environmentálně méně přívětivé, pro skutečné posouzení je ale nezbytný rozsáhlý výzkum.

1.4 Recyklace odpadu tabákového průmyslu

Cestou ke zmírnění negativních environmentálních dopadů tabákového průmyslu může být systematický přístup k nakládání s odpadem, který z jeho produktů vzniká. Jak bylo zmíněno výše, klasické cigarety obsahují vedle tabáku a papíru také plastový filtr z acetátu celulózy [13]. Ačkoli se jedná o polymer částečně biologicky odbouratelný, v přírodě se ale rozkládá pomalu (některé studie dle způsobu provedení předpokládají měsíce [82], některé roky [83], nebo až 10

let [84]), přičemž uvolňuje toxické látky, které do sebe zachytil, jako nikotin, těžké kovy a polycyklické aromatické uhlovodíky [85].

Prozatím běžnými přístupy k nakládání s jakýmkoliv druhem odpadu je jeho skládkování, nebo spalování. Skládkování v případě běžných cigaretových nedopalků není vhodný způsob jejich odstraňování – studie z roku 2021 ukázala, že přídavek i malého hmotnostního procenta cigaretových nedopalků do běžného komunálního odpadu zvyšuje obsah těžkých kovů ve skládkovém výluhu (1 % nedopalků v odpadu zvýšilo obsah kovů ve výluhu o 10,52 %, pokud byly nedopalky čerstvé) [86]. Studie na vliv spalování cigaretových nedopalků zatím nebyly provedeny, ale předpokládá se, že by zvýšily obsah těžkých kovů v odplynech nebo nespalitelném zbytku [19].

1.4.1 Surovinové využití cigaretových nedopalků

Další běžnou technologií nakládání s odpadem je kompostování (jedná-li se o biologicky rozložitelný materiál). Cigaretové nedopalky ale pro tuto metodu vhodné nejsou, protože kromě zbytku tabáku a papírového obalu (které není problém kompostovat) obsahují i filtr. Materiál filtru sice lze biologicky degradovat s pomocí bakterií, obsahuje ale zachycené kovy (oxid titaničitý na bělení a další kovy z procesu kouření cigarety), které by přecházely do výsledného kompostu a znemožňovaly tím některá jeho využití [87].

Anaerobní digesce je další z možností využití odpadu, která je již v dnešní době často využívána v praxi. Ve studii z roku 2021 je realizován právě tento způsob nakládání s cigaretovými nedopalky. Ze studie vyplývá, že (pro kompostování problematické) filtry cigaretových nedopalků jsou pro tento způsob využití jejich nejvhodnější částí, ačkoli takto lze (a ve studii také jsou) využívat nedopalky celé. Autoři konstatují, že takto lze produkovat více než 181 litrů CH_4 z 500 cigaretových nedopalků, což je objem, který stačí k rozsvícení 36W žárovky na 5,7 hodin [88].

Pro produkci methanu z cigaretových nedopalků lze využít i proces mikrovlnně asistované pyrolýzy, kdy současně vzniká biopalivo bohaté na estery (přes 30 % relativního obsahu složek) a biochar se specifickým povrchem nad $500 \text{ m}^2/\text{g}$ (převládá mezoporézní struktura). Zastoupení jednotlivých produktů v celkovém výtěžku je 29,17–46,17 % pro biopalivo, z 40,06–59,92 % bioplyn a z 10,91–13,22 % biochar dle provedení technologie (při přidavku methanolu do procesu pyrolýzy se zvyšuje zastoupení biopaliva a biocharu na úkor bioplynu). Pokud by byla technologie aplikována celosvětově, očekávají z tohoto zdroje autoři roční kapacitu produkce zhruba $350\,000 \text{ m}^3$ kapalného biopaliva [89].

1.4.2 Upcyklace cigaretových nedopalků

Biochar může být z nedopalků připraven i jako jediný produkt. Při optimalizaci procesu (předúpravě nabobtnáním nedopalků pomocí roztoku NaOH a následné karbonizaci po dvě hodiny při 400 °C) bylo možné specifický povrch zvýšit až na více než 900 m²/g (pro roztok NaOH o hmotnostní koncentraci 48 % bylo dosaženo až 1083 m²/g) [90]. Biochar připravený z cigaretových nedopalků pouze tepelnou karbonizací byl s úspěchem použit pro odstranění olova z vody – pro tento polutant byla změřena účinnost odstranění 66 mg/g biocharu [91].

Zřejmě díky obsahu kovů ve filtrech cigaretových nedopalků vykazuje materiál připravený jejich pyrolýzou dobrou elektrickou vodivost [92]. Toho bylo využito například pro přípravu N-dopované uhlíkové anody pro sodíkové baterie, která je svými parametry srovnatelná s elektrodami, které jsou běžně dostupné na trhu [93]. Filtry z nedopalků cigaret zbavené zbytků tabáku a papírového obalu byly použity pro přípravu separační membrány do lithiové baterie. Membrána prokázala dobré mechanické vlastnosti, tepelnou stabilitu a velmi dobrou iontovou vodivost (kvalitou je stejná nebo lepší než standard běžně dostupný na trhu) [94].

Velmi zajímavým a do budoucna potenciálně výborně využitelným způsobem recyklace cigaretových nedopalků je příprava porézního uhlíku jejich hydrotermální karbonizací. Jestliže jsou nedopalky zpracovány tímto způsobem (nadrčené nedopalky byly zahřívány s vodou v poměru 1:10 v autoklávu na 250 °C po dobu 2 hodin) a vzniklý materiál je následně aktivován s roztokem KOH za optimálních podmínek (600 °C), lze dosáhnout specifického povrchu až 4300 m²/g, přičemž většinu této plochy představují mikropóry a jeho struktura je charakteristická funkčními skupinami bohatými na kyslík. Vzniklý materiál lze využít pro ukládání vodíku – při podchlazení na -196 °C a tlaku 40 barů přijme až 11,2 hmotnostních % vodíku, což je nejvíce ze všech aktuálně známých materiálů [95].

Jiným směrem výzkumu je chemická extrakce organických látek z tabákového odpadu. Vodný výluh cigaretových nedopalků lze i v relativně nízkých koncentracích (bylo experimentováno s 5 g nedopalků v 50 mL vody [96] a 3 nedopalky ve 100 mL vody, louhované po dobu 24 hodin [97]) pro hubení komárů. Ačkoli se tato metoda jeví jako efektivní, larvy komárů si postupně budují rezistenci, takže by nebylo možné dlouhodobé, plošné použití [98].

Výluh 5 cigaretových nedopalků ve 100 ml vody (louhování trvalo opět 24 hodin) byl testován i jako antikoroziní přípravek na ocel při aplikaci kyseliny chlorovodíkové – účinnost přípravku se snižovala se zvyšující se koncentrací kyseliny chlorovodíkové. Nejvyšší účinnosti bylo dosaženo, když byla aplikována 10% HCl – inhibice koroze byla 94,6 % (při použití 20% HCl

byla pozorována inhibice 88,4 %) [99]. Prodloužení doby louhování na 7 dní nemělo na kvalitu inhibitoru koroze žádný vliv [100]. Když byl výluh proveden místo s vodou se směsí voda a ethanol 1:1 (koncentrace zůstává 5 g nedopalků ve 100 litrech kapaliny) a louhování probíhalo opět 7 dní, vznikl roztok, který byl účinným inhibitorem koroze i pro slitinu mědi a niklu [101].

Recyklací cigaretových nedopalků se (spolu s jinými, těžko recyklovatelnými typy odpadů) zabývá anglická společnost TerraCycle. Společnost má pobočky v mnoha světových zemích (Evropa, Severní a Jižní Amerika, jihovýchodní Asie) a nabízí soukromníkům zaslání krabic na specifický typ odpadu, který následně může být odeslán zpět a společnost zajistí jeho recyklaci. Z cigaretových nedopalků vyrábí třeba pingpongové stoly, konferenční (čajové) stolky nebo popelníky (Obrázek 11) [102].



Obrázek 11 – Popelník vyrobený z cigaretových nedopalků [102]

1.4.3 Recyklace cigaretových nedopalků ve stavebnictví

V neposlední řadě již také byly probádány některé způsoby využití cigaretových nedopalků jako příměsí do jiných hmot ve stavebnictví. Nedopalky takto byly použity pro výrobu hliněných cihel (Obrázek 12) [103], keramických dlaždic (Obrázek 13) [104], nebo přimíchány do asfaltu [105]. Takto obohacené směsi mají odlišné vlastnosti než původní materiál (a tyto vlastnosti mohou být pozitivní i negativní v závislosti na požadavcích na produkt).



Obrázek 12 – Vzorčky hliněných cihel s obsahem CN [103]



Obrázek 13 – Dlaždice s obsahem CN před (nalevo) a po vypálení (napravo) [104]

V případě cihel je zvýšena porozita, což na jednu stranu znamená nižší pevnost, na stranu druhou jsou takové cihly lehčí – po vypálení organického materiálu, tedy nedopalků, který také během pálení snižuje spotřebu paliva, mají díky většímu množství pórů nižší hustotu. Současné také vykazují menší tepelnou vodivost, což znamená potenciálně nižší spotřebu izolantů a tím i energetické a surovinové úspory [103]. Obdobné výsledky byly pozorovány i v případě přimíchání nedopalků do keramické hlíny. Krystalická struktura se s příměsí nedopalků neměnila, za to ale keramika při sušení a vypálení měla vyšší tendenci se smršťovat a měla vyšší porozitu. Vlákniatá struktura ale (ačkoli ne výrazně) výsledné dlaždice zpevnila a organický materiál umožnil úsporu energie při vypálení [104].

Přídavek cigaretových nedopalků do bitumenu snižuje jeho viskozitu a měkkost, po aplikaci v asfaltu ale vlákniatá struktura snižuje míru jeho vymývání i tím může zvýšit trvanlivost povrchu [105]. Uplatnění nedopalků ve stavebních materiálech má nakonec nespornou výhodu v tom, že jsou polutantů ve struktuře materiálu zcela imobilizovány – ve výluzích z těchto materiálů nelze sledovat zvýšený podíl kovů, jsou tedy do těchto materiálů spolehlivě zakonzervovány [106].

1.4.4 Recyklace moderních tabákových výrobků

Moderní tabákové produkty (obdobně jako v předchozích kapitolách) nemají prozatím velmi probádané způsoby recyklace. Společnost Philip Morris, která nabízí zpětný odběr svých produktů slibuje jejich repasování – tedy opravu elektroniky a posléze její opětovný prodej [80]. Bude-li ale nezbytné se s elektronickými cigaretami vypořádat v rámci systému nakládání s odpady (zejména v případě, kdy kvůli nesprávnému třídění tyto produkty skončí na skládkách), není zatím technologický způsob vracení surovin z nich do oběhu.

Řešením pro otázku alternativní recyklace elektroodpadu se zabývají ve své studii Erkmen et al., kteří jako řešení navrhuji tzv. „bioleaching“ – bioloužení anebo „phytomining“ – fytotěžbu. Bioloužení je proces využívající specifické druhy bakterií k převedení vzácných kovů do roztoku (ze kterého mohou být poté sráženy). Naproti tomu při fytotěžbě zakoncentrovávají rostliny kovy ve svých organismech. Kovy se následně získávají jejich spálením.

Obě tyto metody umožňují bez velkých energetických výdajů získávat zpět kovy ze zdrojů jako jsou třeba skládky komunálního odpadu, za předpokladu, že částice obsahující kovy mají dostatečně malý rozměr. Autoři studie proto navrhuji jejich využití pro recyklaci elektroodpadu za předpokladu, že bude nejprve nadrcen [107]. Metodou se již dlouhodobě zabývají vědci na Masarykově univerzitě v Brně a v loňském roce již byla ve spolupráci s rakouskými výzkumníky tato metoda úspěšně adaptována pro získávání kovů z vysloužilých lithiových baterií (bylo vylouženo až 100 % Li, Co, Ni, Mn, a Al) [108].

Alternativou pro recyklaci náplní do zařízení na nahřívání tabák, obdobně jako v případě klasických cigaret může být uplatnění pro výrobu asfaltu. Studie z loňského roku testuje zapojení pelet vyrobených z tohoto odpadního materiálu pro výrobu pelet používaných jako aditivum do litého asfaltu pro zvýšení jeho mechanické odolnosti. Ze studie vyplývá, že pelety z těchto náplní, přidané do asfaltu, zvýšily nejen jeho mechanickou odolnost (tedy odolnost proti vyjždění), ale i tuhost a sílu v tahu [109].

Společným jmenovatelem recyklace moderních i klasických tabákových výrobků je zejména jejich odběr. Hlavně v případě klasických cigaret již bylo alespoň v laboratorním provedení ověřeno mnoho různých metod jejich potenciální recyklace, od technologicky velmi nenáročných po velmi komplexní. Ani ty nejefektivnější metody využití odpadu ale nemohou mít žádané výsledky neexistuje-li spolehlivý způsob sběru a shromažďování tohoto odpadu. Prozatím neexistuje konsenzus v názorech na to, kdo má zodpovědnost za odpad, který vznikne po konzumaci cigaret. Ať už to ale jsou tabákové společnosti [110] nebo státní správa, otázka řešení odpadu z tabákového průmyslu potřebuje, vzhledem k jeho rozměrům, i svoji odpověď.

1.5 Analýza obsahu látek v tabákových výrobcích

Prozatím zůstává řešení odpadu tabákového průmyslu v nedohlednu, je tedy důležité se zabývat tím, jak řešit jeho ekotoxicitu. K tomu je nezbytné vědět, jaké látky odpad z tabákových produktů do životního prostředí vlastně uvolňuje. Jak bylo zmíněno výše, tabák a potažmo i cigarety obsahují velké množství chemických sloučenin z organické i anorganické oblasti [22].

Jejich obsah se ale liší mezi jednotlivými značkami a typy produktů a koncentrace (případně identita) látek v tabákových produktech není z důvodu obchodního tajemství veřejně dostupná. I kdyby byla, bylo by ale pouze z vlastností samotných sloučenin pravděpodobně velmi obtížné přesně matematicky namodelovat, jaké procento z původního množství by zůstalo zachyceno ve filtru cigarety, případně obalu liquidu, a jak efektivně by se z těchto materiálů opět látky eluovaly do vodního prostředí.

Vědecká komunita se analýzou tabákových produktů zabývá již dlouho. Analyzován byl jak tabák samotný, tak i tabákový kouř [111; 112]. Vědeckými studiemi zaměřenými na analýzy výluhů tabákových produktů se zabývají následující kapitoly.

1.5.1 Tradiční tabákové výrobky

Ze všech tabákových výrobků jsou klasické cigarety položkou s nejvyšším procentem produkce i prodeje [5]. Vědecká komunita se proto jejich analýzou také zabývá nejvíce. Studie se bohužel často zabývají celkovým obsahem látek přítomných přímo v cigaretách, (např. Fresquez et al. [113] nebo Soleimani et al. [114]), nikoli v jejich vodných výluhách. Výluhy z cigaretových nedopalků (CN) obsahují desítky až stovky chemických látek, mnohé z nich se ale do výluhů dostávají v takřka nedetekovatelných koncentracích. Ačkoli by bylo možné analyzovat i anorganické sloučeniny, pro ekotoxicitu je obvykle zásadní obsah (toxických) organických látek, případně těžkých kovů.

Tabulka 2 uvádí přehled organických látek dle různých literárních zdrojů, u nichž byla stanovena koncentrace ve výluhu z CN. Z uvedených zdrojů byla vybrána pouze data, která se pojí s materiálem studovaným v této práci – tedy použitými cigaretovými nedopalky, za podmínek, které se také co nejvíce podobají podmínkám experimentální části práce (podmínky jsou uvedeny pod tabulkou). Data získaná ze studií jsou pro účely vzájemného porovnání převedena na společné jednotky. Údaj <LOD uvádí, že byla pro stanovovanou látku změřena koncentrace nižší, než je detekční limit. Pokud je řádek u dané látky vyplněn pomlčkou, nebyla tato látka ve studii stanovována (tento způsob záznamu je i v následující tabulkách).

Tabulka 2 – Přehled koncentrací organických látek přítomných ve výluhu z CN

Název	Koncentrace [$\mu\text{g}/\text{CN}\cdot\text{L}$]			
	Soleimani et al. ^a [115]	Solomou et al. ^b [116]	Dobaradaran et al. ^c [117]	Richardot et al. ^d [26]
acenaften	3,96 ± 0,030	0,04 ± 0,005	-	-
fenanthren	3,68 ± 0,023	0,02	-	-
anthracen	3,14 ± 0,018	0,01 ± 0,001	-	-
fluoren	2,92 ± 0,025	0,03 ± 0,004	-	-
naftalen	2,38 ± 0,028	1,69 ± 0,030	-	-
acenaftylen	1,69 ± 0,018	0,03 ± 0,003	-	-
benzo[<i>k</i>]tetrafen	1,65 ± 0,013	-	-	-
benzo[<i>ghi</i>]perylene	1,52 ± 0,013	-	-	-
indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyren	0,47 ± 0,003	-	-	-
benzo[<i>a</i>]anthracen	<LOD	-	-	-
benzo[<i>a</i>]pyren	<LOD	-	-	-
benzo[<i>b+k</i>]fluoranthren	<LOD	-	-	-
fluoranthren	<LOD	-	-	-
chrysen	<LOD	-	-	-
pyren	<LOD	-	-	-
fenylamin	-	-	0,1720	-
2-naftylamin	-	-	0,0066	-
2-methoxyanilin	-	-	0,0023	-
2,6-dimethylanilin	-	-	0,0014	-
1-naftylamin	-	-	0,0015	-
Σ TOL (2-methylanilin, 3-methylanilin, 4-methylanilin)	-	-	0,0008	-
Σ ABP (3-aminobifenyl, 4-aminobifenyl)	-	-	0,0001	-
nikotin	-	-	-	3 454 ± 42
myosmin	-	-	-	13,08 ± 0,20
3-(1-methylpyrrol-2-yl)pyridin	-	-	-	1,314 ± 0,18

2,2'-bipyridin (isonikotein)	-	-	-	0,2660
------------------------------	---	---	---	--------

a – vybrána data pro použité nedopalky cigaret, louhování 24 h v destilované vodě

b – vybrána data pro použité nedopalky cigaret, louhování ve vodě s pH = 6, po 24 h

c – vybrána data pro cigaretové nedopalky louhované v říční vodě, po 1 den

d – vybrána data pro cigaretové nedopalky louhované ve vodě po 24 hodin

Další organické látky byly ve výluhu detekovány, ale nebyla stanovena jejich koncentrace. Tyto sloučeniny jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3 – Další organické látky detekované ve výluhu z CN (Richardot et al.) [26]

Název	Název
diacetin	2-methylpyridin
triacetin	3-ethyl-3-methylpyrrolidin-2,5-dion
anatabin	2,3,5-trimethylpyrazin
kotinin	2,6,6-trimethylcyclohex-2-en-1,4-dion
anabasin	1-fenylethanon
2,3-dimethylcyclopent-2-en-1-on	3-methyl-2(5H)-furanon
2,6-dimethylpyrazine	benzo[c]pyridin
2-methylcyclopent-2-en-1-on	2,3-dimethylpyrazin
2-furanmethanol	4-ethylfenol
fenol	2-ethylpyrazin
2-methylpyrazin	1-indanon
benzyl-karbamát *	3-methylvalerová kyselina
3-fenylpropannitril	1-methylpyrrolidin-2,5-dion
3-methylfenol	benzo[b]pyridin
3-methylcyclopent-2-en-1-on	3-ethylpyridin
2-hydroxy-3-methylcyclopent-2-en-1-on	3-hydroxy-2-methylpyridin
3-hydroxy-4,4-dimethyloxolan-2-on (pantolakton)	cyclopent-4-en-1,3-dion
2-methylindol	6-methylhepta-3,5-dien-2-one
cyclohex-2-en-1-on	5-methylfuran-2-karbaldehyd
benzonitril	

Pro ekotoxicitu je také důležitý obsah kovů, kterým je tabák dobře známý. Ve výluhu byly detekovány (a stanoveny) kovy uvedené v Tabulce 4.

Tabulka 4 – Přehled koncentrací kovů stanovených ve výluhu z CN

Kov	Koncentrace kovů [$\mu\text{g}/\text{CN}\cdot\text{L}$]		
	Soleimani et al [115] ^a	Koutela et al. [118] ^b	Moerman [119] ^c
Al	-	$260 \pm 6,667$	$19,58 \pm 2,56$
As	-	<LOD	-
Ba	-	$39,67 \pm 0,133$	$9,53 \pm 1,03$
Cd	$0,75 \pm 0,013$	<LOD	<LOD
Co	$183,50 \pm 1,555$	-	-
Cr	$22,25 \pm 0,053$	$0,80 \pm 0,067$	$0,62 \pm 0,06$
Cu	$9,00 \pm 0,113$	$15,67 \pm 0,333$	$9,90 \pm 1,48$
Fe	$189,50 \pm 1,525$	-	$29,25 \pm 3,25$
Hg	$0,75 \pm 0,003$	<LOD	-
Mn	$31,50 \pm 0,063$	-	$63,75 \pm 8,00$
Ni	$157,00 \pm 1,288$	$1,93 \pm 0,133$	$0,78 \pm 0,20$
Pb	$0,63 \pm 0,002$	<LOD	$2,80 \pm 0,30$
Se	-	$2,11 \pm 0,467$	-
Sr	-	-	$24,73 \pm 3,23$
Ti	-	-	$1,62 \pm 0,17$
Zn	$19,75 \pm 0,088$	$65,07 \pm 0,133$	$16,40 \pm 1,73$

a – vybrána data pro použité nedopalky cigaret, louhování 24 h v destilované vodě

b – vybrána data pro použité nedopalky cigaret, louhování 24 h v dešťové vodě

c – vybrána data pro použité nedopalky cigaret, louhování po 24 h

Z informací uvedených v tabulkách je zřejmé, že i po převedení na společné jednotky mají hodnoty koncentrací pro stanovované látky výrazný rozptyl. Variabilitu může způsobovat odlišný způsob přípravy výluhů (ačkoli v případě uvedených článků jsou si použítá média relativně podobná), případně velikost použitých nedopalků (pohybovala se mezi 0,25 g [116] a 1 g [119]), druh tabáku (tedy značka cigaret), poměr hmotnosti tabáku a filtru nebo další parametry (v případě organických sloučenin se nabízí i rychlost zpracování nedopalků do výluhu po vykouření). Pro jednoznačné určení vlivu těchto parametrů na stanovení ale zatím chybí informace.

1.5.2 Elektronické cigarety

Jestliže pro stanovení obsahu látek ve výluhu z cigaretových nedopalků chybí informace, v případě moderních tabákových výrobků jsou data ještě chudší. Z kategorie „elektronických cigaret“ (tedy vaporizérů a zařízení na zahřívání tabáku), prozatím byly v omezené míře analyzovány pouze výluhy z použitých náplní HNB zařízení (pro jednoduchost dále označováno jako „nedopalky z elektronických cigaret“ – ECN). Vzhledem k tomu, že zařízení na zahřívání tabáku tabák pouze nahřívají na teplotu, kdy přechází nikotin do par, lze očekávat přítomnost jiných organických látek v jejich vodném výluhu, nebo alespoň jejich jinou koncentraci. V dostupné literatuře ale byly koncentrace překvapivě podobné jako u běžných cigaret, jak uvádí Tabulka 5.

Tabulka 5 – Koncentrace kovů ve výluhu z ECN (Solomou et al.) [116]

Název	Koncentrace* [ug/ECN·L]
acenaften	0,01 ± 0,002
acenaftylen	0,01 ± 0,002
fenanthren	0,02 ± 0,003
fluoren	0,02 ± 0,003
naftalen	1,96 ± 0,515

* použité ECN, louhování ve vodě s pH = 6, po 24 h

Při analýze kovů je pro parametr obsahu hliníku důležité, zda použitý ECN obsahuje hliníkovou folii, či nikoliv. Vzhledem k materiálu použitému v experimentální části práce byla zvolena data, z testování ECN s obsahem hliníkové folie, jak je uvedeno v Tabulce 6.

Tabulka 6 – Koncentrace kovů ve výluhu z ECN (Koutela et al.) [118]

Kov	Koncentrace* [ug/ECN·L]
Al	508,00 ± 0,80
As	<LOD
Ba	79,20 ± 0,40
Cd	<LOD
Cr	0,36 ± 0,04
Cu	5,52 ± 0,28
Hg	<LOD

Ni	1,52 ± 0,12
Pb	<LOD
Se	4,80 ± 0,08
Zn	50,00 ± 0,40

* použity hodnoty pro použité ECN s obsahem hliníku, louhování 24 hodin v dešťové vodě

Při porovnání obou typů tabákových výrobků (tedy tradičních i moderních) bohužel vzhledem k vysokému rozptylu dosažených výsledků nelze jednoznačně konstatovat významný rozdíl v publikovaných datech a určit, zda se obsahy pro oba typy výrobků liší.

1.5.3 Ekotoxikologicky významné chemické látky v tabákových výrobcích

Po rešerši v databázích PubChem [120] a ECHA [121] byly ze seznamu látek, u nichž byla stanovena koncentrace ve výluhu z CN a ECN vybrány látky, které by mohly způsobovat ekotoxicitu výluhů z nedopalků. Byly zahrnuty látky dosahující ve výluhu koncentrace alespoň 1 ng/L. Z databáze ECHA poté byla kompilována data o jejich akutní ekotoxicitě (kromě údajů kde je uveden jiný zdroj informací). Jako potenciálně ekotoxikologicky významné organické látky se jeví (jsou uvedeny příklady hodnot letálních koncentrací pro některé sladkovodní organismy):

- anthracen
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 30–754 µg/L
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 1,2–29,3 µg/L (fototoxická)
 - ryby – LC50 (96 h) *Lepomis sp.*: 2,78–26,47 µg/L (fototoxická)
 - řasy – EC50 (24 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 24 µg/L (absorpce CO₂ po 24 h UVA záření)
- benzo[*a*]pyren
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 0,58–0,77 µg/L [122]
- benzo[*k*]tetafen
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 17–24 µg/L [122]
- benzo[*ghi*]perylene
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 0,992–1,042 µg/L (fototoxická) [123]
- 2,6-dimethylanilin
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 20 mg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Oryzias latipes*: >98 mg/L
 - řasy – EC50 (72 h) *Raphidocelis subcapitata*: >100 mg/L (rychlost růstu)

- fenanthren
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 185–243 µg/L [124]
- fluoranthen
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 86–150 ug/l [122]
- fenylamin
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 0,16–4,7 mg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 10,6–36,2 mg/l
 - řasy – EC50 (72 h) *Chlorella pyrenoidosa*: 175 mg/L (rychlost růstu)
- 1-naftylamin
 - ryby – LC50 (48 h) *Oryzias latipes*: 7 mg/L [125]
- 2-naftylamin
 - korýši – EC50 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 9,47 mg/L
- naftalen
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 2,16–24,1 mg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Pimephales promelas*: 1,99–7,9 mg/l
 - řasy – EC50 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 2,41–3,92 mg/L (inkorporovaná radioaktivita jako míra asimilace)
- nikotin
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 3–3,75 mg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 4 mg/l [126]
 - řasy – EC50 (72 h) *Desmodesmus subspicatus*: 37 mg/L (rychlost růstu)
- pyren
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 67–120 µg/L [122]
 - řasy – EC10 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 1,2–12,4 µg/L (biomasa)

Z kovů, které byly při analýze výluhů z tabákových produktů stanoveny, byly jako ekotoxické vyhodnoceny tyto:

- rtuť
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 1,5–9,6 µg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 193–238 µg/L
 - řasy – EC50 (96 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 9 µg/L (rychlost růstu)
- měď
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 20–52 µg/L

- korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 7 µg/L (fototoxicita)
- ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 83,3–890 µg/L
- ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 17–29 µg/L (fototoxicita)
- řasy – EC50 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 32–245 µg/L (biomasa)
- kadmium
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 38–110 µg/L
 - ryby – EC50 (24 h) *Salmo salar*: 34–6 470 µg/L
 - řasy – EC50 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 70–120 µg/L (rychlost růstu)
- chrom (oxidační stav 6+)
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 105 µg/L [127]
 - ryby – LC50 (96 h) *Pimelas promelas*: 48–67,4 mg/L [128; 129]
 - řasy – EC50 (72 h) *Chlorella protothecoides*: 100 µg/L [129]
- nikl
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 0,51–9,48 mg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 7,8–35,5 mg/L
 - řasy – EC50 (72 h) *Chlorella sp.*: 0,1–1,43 mg/L (rychlost růstu)
- zinek
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 0,1–3,29 mg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Oncorhynchus mykiss*: 0,107–3,1 mg/L
 - řasy – EC50 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 22–398 µg/L (rychlost růstu)
- olovo
 - korýši – EC50 (48 h) *Daphnia magna*: 280–364,5 µg/L
 - ryby – LC50 (96 h) *Pimephales promelas*: 40,8–3 597,9 µg/L
 - řasy – EC50 (72 h) *Pseudokirchneriella subcapitata*: 20,5–364 µg/L (rychlost růstu).

Na základě informací uvedených v předchozích kapitolách byly porovnány změřené koncentrace chemických látek s minimálními hodnotami EC50 pro *Daphnia magna*. Pravděpodobnými příčinami toxicity mohou být nejspíše látky, které minimální toxické koncentrace dosahují při koncentraci výluhu z nedopalků kolem 1 kusu na litr vody (tedy hodnotě, při níž je sledována toxicita EC50 výluhu z cigaretových nedopalků pro *Daphnia magna*). Po tomto výběru se jeví jako potenciální příčiny ekotoxicity výluhu z organických

látek nikotin a benzo[ghi]perylene (ty minimální potřebné koncentrace pro samotnou látku dosahují již při koncentraci zhruba 1 CN ks/L). Z kovů se jako možné příčiny pozorované toxicity jeví rtuť (min. koncentrace zhruba 2 CN ks/L), měď (min. koncentrace zhruba 3 CN ks/L), a zinek (min. koncentrace zhruba 2 CN ks/L). Ve směsi ale pravděpodobně bude docházet k synergickému působení různých polutantů.

1.6 Čištění výluhu z nedopalků

Doplňkem technologií pro recyklaci tabákových produktů a jejich odpadů jsou technologie pro mírnění vlivu tabákového odpadu, který se již v prostředí vyskytuje (a v budoucnu stále může vznikat), tedy čištění vod, které vznikají louhováním tabákových produktů. V tomto ohledu zatím nebyl realizován rozsáhlý výzkum, je tedy otázkou, jaký typ znečištění má být vlastně z výluhu odstraněn, aby došlo ke zmírnění jeho toxicity.

Nikotin je jedním z kontaminantů, které se vyskytují nejen v městských vodách, ale často i v přírodě [130]. Jeho koncentrace na nátok do čistíren odpadních vod odpovídá 474 $\mu\text{g/L}$. Na čistírnách odpadních vod je ale nikotin dobře odbouráván (účinnost biologické degradace při běžném čištění aktivovaným kalem se pohybuje mezi 57–99 %) a jeho koncentrace na výtok z čistírny odpadních vod dosahuje 0,015–32 $\mu\text{g/L}$. Dobře odbouráván je i jeho degradační produkt kotinin (na výtok z ČOV snížení koncentrace o 46-99 %).

Polyaromatické uhlovodíky, do nichž spadá i benzo[ghi]perylene jsou také na čistírně odpadních vod odstraňovány poměrně efektivně – Wu et al. ve své studii uvádí, že celkový obsah PAU je na ČOV snížen o 85-93 %. Samotný benzo[ghi]perylene se v komunálních vodách vyskytuje v koncentraci zhruba 18-36 ng/L a jeho obsah je snížen o 85-94 % (na zhruba 2 ng/L) [131]. U těchto sloučenin je ale bohužel častým jevem, že nejsou na čistírnách odpadních vod degradovány, ale pouze přecházejí do aktivovaného kalu, kde se následně zvyšuje jejich koncentrace, což může negativně ovlivnit možnost nakládání se vznikajícím přebytečným kalem [132].

Tímto problémem je typické i odstraňování těžkých kovů, které mohou být odstraněny již v počátečních fázích čištění vody (pokud jsou v nerozpustné podobě), nebo v aktivační nádrži adsorpcí na mikroorganismy aktivovaného kalu. Účinnost tohoto procesu ale výrazně závisí na provozních podmínkách – například v případě mědi bylo v aktivační nádrži dosaženo až 94 % odstranění, za odlišných podmínek ale bylo z roztoku vyloučeno jen 8 % [133].

Alternativním přístupem k regeneraci odpadní vody s obsahem těžkých kovů je fytoremediace, využívající schopnosti některých vodních rostlin, absorbovat a akumulovat kontaminanty z vody. Při optimalizaci probíhajících procesů bylo dosaženo odstranění 88 % obsahu Cu, 88 % Pb, 49 % Ni, 91 % Zn a 47 % Hg [133]. Alternativní biologické metody čištění vody lze využít i k odbourání nikotinu. V tomto směru jsou využívány biofiltry a biologické reaktory, kde dochází k rozkladu škodlivých látek působením specifických mikroorganismů. Pro odstranění nikotinu jsou s úspěchem aplikovány zejména bakterie rodu *Pseudomonas*, které ho oxidují na méně toxickou kyselinu nikotinovou [134]. Tato bakterie (kmen CS3) byla schopna přežít v koncentracích až 4 000 mg/L a oxidovat koncentraci 1 000 mg/L s účinností 98,6 % za 24 hodin [135].

Vedle biologických metod se využívají i fyzikálně-chemické technologie. Pro efektivní odstranění nikotinu a těžkých kovů z odpadních vod byly využity adsorpční metody – adsorpce na aktivní uhlí [136; 133] nebo zeolity [137]. Vysoce účinné jsou i oxidační technologie, jako je ozonizace, UV/H₂O₂ nebo Fentonova reakce [138] (například při použití Fentonovy oxidace bylo možné dosáhnout odstranění nikotinu z více než 90 % [139]). Tyto technologie však často narážejí na vysoké provozní náklady. Některé metody také mohou vést k tvorbě toxických vedlejších produktů, které i přes nižší stabilitu mohou mít biologický účinek [139].

Látky ve směsi obvykle nevykazují stejné vlastnosti jako když jsou samostatně, výzkum chování výluhu z cigaretových nedopalků při čistírenských procesech je ale prozatím nedostatečný. V jediné dostupné studii, v níž byla studována možnost dekontaminace výluhu z cigaret byly aplikovány pro vyčištění řasy z rodu *Scenedesmaceae*, *Chlamydomonas* a *Chlorella*. Vzhledem k toxicitě výluhu bylo nutné optimalizovat proces tak, aby řasy při experimentech nehynuly (což bylo sledováno zachováním obsahu chlorofylu). Bylo zjištěno, že při této aplikaci je nejvyšší koncentrace výluhu, kterou lze takto upravovat 5 g CN/L (což v případě této studie odpovídá koncentraci 25 CN ks/L), přičemž bylo odstraněno 69 % polutantů. Současně bylo zjištěno, že nikotin řasy odbourávají nejméně efektivně (přetrvával po ukončení procesu ve všech vzorcích takřka v nezměněné koncentraci) [140]. Existuje tedy řada slibných metod pro snižování toxicity výluhů z tabákových výrobků. Pro posouzení jejich skutečné efektivity je ale nezbytné je testovat přímo na výluhu z tabákových výrobků a následně vyhodnotit jaká je ekotoxicita výluhu po jejich zapojení.

1.7 Ekotoxikologické testy

K vyhodnocení ekotoxicity látek jsou běžně používány ekotoxikologické testy, jimž se blíže věnuji ve své bakalářské práci [15]. Testy jsou standardizovány normami na státní i mezinárodní úrovni. Na národní úrovni je upravují normy ČSN, které mají na mezinárodní úrovni svůj protějšek v normách ISO případně OECD. Rozdíl mezi normami OECD a ISO je zejména v množství detailů a závaznosti normy – normy ISO poskytují konkrétní pracovní postup, nejsou však závazné. Normy OECD jsou naopak méně detailní, v některých oblastech ale mohou být pro signatářské státy zavazující (tyto státy musí zajistit jejich implementaci do legislativního rámce). Dělí se proto na rozhodnutí (ta jsou pro členské země závazná), doporučení a prohlášení (ta zavazují nejméně) [141].

V případě chemických látek existuje v České republice Zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon), který upravuje mimo jiné i zkoušení nebezpečných vlastností látek a směsí na území České republiky [142]. Chemickým zákonem není přímo stanovena konkrétní norma OECD nebo ČSN, kterou je nutno použít pro testování látky. Zákon se ale odkazuje na Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky (nařízení REACH), které uvádí konkrétní podmínky pro označování chemických látek (a z něj vyplývající další povinnosti pro nakládání s nimi). To stanovuje mimo jiné i povinnost zkoušet jejich ekotoxicitu některým ze stanovených testů podle norem OECD. Tyto testy jsou v rámci GHS sdíleny napříč členskými státy Evropské unie a OECD pro zamezení opakování již provedených testů (zejména z důvodu jejich vysoké finanční náročnosti). Při testování chemických látek a směsí podle metodik OECD je tedy možno vyhodnotit jejich nebezpečnost podle nařízení REACH (Tabulka 7).

Tabulka 7 – Kategorie klasifikace pro látky nebezpečné pro vodní prostředí [143]

Krátkodobá (akutní) nebezpečnost pro vodní prostředí	
Kategorie Akutní toxicita 1:	
96 h LC ₅₀ (pro ryby)	≤ 1 mg/L a/nebo
48 h EC ₅₀ (pro korýše)	≤ 1 mg/L a/nebo
72 nebo 96 h ErC ₅₀ (pro řasy nebo jiné vodní rostliny)	≤ 1 mg/L

Při klasifikaci látek do kategorie Akutní toxicita 1 je nezbytné zároveň uvést příslušný multiplikační faktor nebo faktory. Klasifikace je založena na ErC50 (= EC50 (rychlost růstu)). Není-li základ EC50 specifikován nebo není zaznamenána žádná ErC50, zakládá se klasifikace na nejnižší dostupné EC50 [143].

Pokud je u zkoušených látek nebo směsí zjištěna nebezpečná vlastnost, jsou označeny příslušným výstražným znakem – látky nebezpečné pro životní prostředí (Obrázek 14) [143].

Výstražné symboly nebezpečnosti podle nařízení (ES) č. 1272/2008:



Obrázek 14 – Výstražné symboly podle REACH [143]

V experimentální části této práce byly provedeny tři normami upravené testy – test akutní imobilizace *Daphnia magna*, test inhibice růstu sladkovodních řas a test inhibice respirace aktivovaného kalu. Test akutní imobilizace na *Daphnia magna* upravuje v České republice norma ČSN EN ISO 6341 (75 7751) Kvalita vod – Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Zkouška akutní toxicity [144]. V evropském a mezinárodním rámci se potom tomuto testu věnuje ekvivalentní norma ISO 6341:2012 [145] a metodika OECD Test Guideline No. 202 – *Daphnia sp.*, Acute Immobilisation Test [146].

Test inhibice růstu sladkovodních řas se týká inhibice jejich reprodukce, test je tedy z prováděných časově nejnáročnější – probíhá až 72 hodin. Existuje několik základních druhů, které jsou doporučeny pro ekotoxikologické testování. Těmito druhy jsou *Desmodesmus subspicatus* a *Pseudokirchneriella subspicata* v případě české, respektive ISO normy (metoda OECD umožňuje testovat i na druhu *Navicula pelliculosa*, *Anabaena flos-aquae* anebo *Synechococcus leopoliensis* [147]). V této práci byly testy prováděny na druhu *Desmodesmus subspicatus* – použitý druh určuje doporučenou koncentraci buněk v jednom mililitru

testovaného roztoku, jinak je test pro všechny druhy identický. V rámci českých norem existuje pro tento test norma ČSN EN ISO 8692 (75 7740) Kvalita vod – Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas [148], v mezinárodním měřítku potom norma ISO 8692:2012 [149], resp. OECD Test Guideline No. 201 - Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test [147].

Test ekotoxicity na aktivovaném kalu není běžným testem, který je v rámci posuzování ekotoxicity pro REACH vyžadován, stejně jako předchozí testy je ale upraven normami. Jedná se o test inhibice respirace testovaných organismů, je tedy z prováděných testů nejkratší – testování v jednotlivých koncentracích trvá 180 minut. V rámci českých norem existuje pro tento test norma ČSN EN ISO 8192 (75 7731) Jakost vod – Zkouška inhibice spotřeby kyslíku aktivovaným kalem při oxidaci uhlikatých látek a amoniakálního dusíku [150], odpovídající mezinárodní normě ISO 8192:2007 [151]. Ekvivalentní OECD normou je potom OECD Test Guideline No. 209: Activated Sludge, Respiration Inhibition Test (Carbon and Ammonium Oxidation) [152].

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Použité vybavení

Přístroje a zařízení:

Testy toxicity

- zařízení pro udržování teploty ve zkušebním prostoru
- rampa se zářivkami bílého denního světla
- zařízení pro úpravu vody GORO AQUA COMPLET 65
- laboratorní třepačka SM-30 A control (Edmund Bühler), a Unimax 1010 (Heidolph Instruments)
- stolní centrifuga ROTANTA 460 (Hettich)
- ultrazvuková čistička BANDELIN Sonorex Super RK
- oximetr WTW OXI 730 s membránovou sondou Cellox 325
- pH metr WTW inoLab pH 730 s elektrodou SenTix 81
- konduktometr FE 30
- analytické váhy KERN 870
- luxmetr TESTO 540
- mikroskop Carl Zeiss Jena
- elektromagnetické míchadlo LAVAT
- teploměr

Analýza výluhu z nedopalků

- plynový chromatograf GCMS-QP-2010 Ultra (SHIMADZU)
- optický emisní spektrometr SPECTRO ARCOS
- mineralizační reaktor COD HI 839800 (HANNA instruments)
- spektrofotometr DR6000 (HACH)
- kyvetové testy LCI 400 0-1000 mg/L O₂ (HACH)

Další materiál:

- kádinky
- Erlenmeyerovy baňky se zátkami propouštějícími vzduch (z buničité vaty)
- Bürknerova počítací krevní komůrka
- odměrné baňky
- odměrné válce

- automatická pipeta a plastové špičky, dělené skleněné pipety
- sítko na výlov
- papírové filtry Schleicher & Schuell č. 589/3, Ø 150 mm, Ref. No. 10300212, velikost pórů 2 µm [153]
- skleněné desky

2.2 Metodika

Praktické provedení testů ekotoxicity obvykle zahrnuje podmínky prostředí (osvětlení, teplota v místnosti v průběhu testu apod.), které musí být v určitém rozmezí a podmiňují platnost testu. Z tohoto důvodu byly tyto testy prováděny ve spolupráci s Výzkumným ústavem organických syntéz v Rybitví.

2.2.1 Výluh z nedopalků

Před provedením samotných testů byly připraveny výluhy z nedopalků. Vždy byly současně připravovány výluhy z nedopalků pocházejících z klasických i elektronických cigaret. Oba výluhy měly pro možnost porovnání účinku stejnou základní koncentraci. Nedopalky v obou případech pocházely přímo od kuřáků (byly sbírány do uzavíratelných označených nádob a následně skladovány ve vzduchotěsné krabici bez přístupu světla), aby byl vyloučen vliv povětrnostních vlivů a jiné možné degradace na kvalitu a případný ekotoxikologický efekt materiálu. Tento postup současně zajistil i relativně stejnou velikost použitých nedopalků.

Byly sbírány nedopalky cigaret Marlboro Red pro klasické nedopalky, a pro nedopalky z elektronických cigaret zbytky z tabákového produktu NEO for GLO (Obrázek 15). Průměrná váha CN činila 0,3192 g, průměrná váha ECN 0,5208 g.



Obrázek 15 – Nedopalky Marlboro (nalevo) a NEO (napravo) [154]

Pro přípravu výluhu z nedopalků byl vždy potřebný počet vložen do daného objemu zředovací vody (zvolená koncentrace pro každý test a objem jsou uvedeny v kapitolách jednotlivých testů)

v odměrné baňce, do které bylo současně vloženo i magnetické míchadélko. Následně byl roztok míchán po dobu 24 hodin. Poté byly výluhy zfiltróvány na papírovém filtru (při míchání se papírové obaly nedopalků i samotné filtry rozlepují a rozkládají na jednotlivá vlákna, což by rušilo při stanoveních) přes Büchnerovu nálevku, umístěny do vhodných označených nádob, které byly uzavřeny, a uskladněny v lednici při 4 °C až do jejich použití.

2.2.2 Akutní imobilizace *Daphnia magna*

Test byl proveden v souladu s výše zmíněnou normou ČSN EN ISO 6341 [144]. Teplota během testu se musí pohybovat v rozmezí 20 ± 2 °C. Vzhledem k tomu, že test probíhá ve vodním prostředí má voda používaná v testu dle normy stanovený postup přípravy – do jednoho litru destilované nebo demineralizované vody (voda s konduktivitou menší než 10 µS/cm) je přidáno 25 mL roztoků každé z těchto solí. Solemi jsou $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (roztok 11,76 g v 1 L vody), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (roztok 4,96 g v 1 L vody), NaHCO_3 (roztok 2,56 g do 1 L vody) a KCl (roztok 0,23 g v 1 L vody). Výsledná zředovací voda by měla mít pH v intervalu $7,8 \pm 0,5$. Pokud tohoto rozmezí není dosaženo, pH lze upravit přidavkem NaOH nebo HCl ($c = 1$ mol/L). Obsah rozpuštěného kyslíku v této vodě by měl být vyšší než 7 mg/L [144].

Testované roztoky jsou připraveny smísením zkoušeného roztoku s zředovací vodou tak, aby jednotlivé koncentrace tvořily geometrickou řadu s ředícím faktorem nepřesahujícím 2,2 (faktor může dosáhnout až 3,2 pokud není předpokládán strmý průběh závislosti koncentrace-odezva). Na každého testovaného jedince musí připadat nejméně 2 ml roztoku [144].

Hodnota pH v jednotlivých koncentracích se musí pohybovat v rozmezí hodnot 6-8, a musí být zajištěno alespoň 40% nasycení roztoku kyslíkem. Pokud není dosaženo hodnot pH lze jej opět upravit přidavkem roztoku NaOH nebo HCl na potřebnou hodnotu, v tomto případě již ale nelze takový roztok provzdušňovat. Provzdušňování obvykle není nutné, pokud ano, musí o něm být v testu uveden záznam [144].

Dafnie použité v testu musí pocházet ze stálého chovu, ve kterém nejeví známky stresu (vykazují nízkou mortalitu) a množí se partenogeneticky. Pokud takový chov není dostupný je možné je získat i líhnutím z ehippií od specializované společnosti (v případě této práce ale pocházely ze stálého chovu). Dva dny před počátkem testu jsou z chovu odebrány samice s vajíčky (Obrázek 16) a umístěny do nádoby s dostatečným množstvím roztoku zředovací vody pro aklimatizaci na podmínky testu. V den počátku testu jsou potom z této nádoby odebrány zdravé dafnie ne starší než 24 hodin a umístěny do kádinek s testovanými roztoky. V

každé koncentraci musí být zkoušeno 20 jedinců, kteří jsou obvykle rozděleni pro snazší vyhodnocení do čtyř replik po pěti jedincích [144].



Obrázek 16 – Dospělec *Daphnia magna* s vajíčky [154]

Organismy se během zkoušky nekrmí. Při vyhodnocení se stanovuje procento imobilizovaných jedinců v každé ze zkoušených koncentrací a kontrolní skupině (jedinci v této skupině jsou umístěni pouze do roztoku zředovací vody). Za imobilizované se potom počítají jedinci, kteří nejsou schopni plavat po 15 sekundách po mírném promíchání roztoku (i když jinak jeví známky života – pohybují tykadly).

Pro výpočet EC50 je nezbytné, aby alespoň 3 z použitých koncentrací měly odezvu v rozmezí 10-90% imobilizace (je tedy nutné testovat alespoň 3 koncentrace v každém testu). Zaznamenají se počty imobilizovaných jedinců v jednotlivých koncentracích, stejně jako všechny anomálie v chování přeživších jedinců. Imobilizace se vyhodnocuje po 24 a 48 hodinách od počátku testu [144].

Při ukončení testu (po 48 hodinách) je opět stanovena hodnota pH v jednotlivých koncentracích, stejně jako obsah rozpuštěného kyslíku (za platné se považují výsledky pouze z roztoků kde se pH pohybuje mezi hodnotami 6-8 a obsah kyslíku je alespoň 2 mg/L). Podmínkou platnosti testu je nejvýše 10% imobilizace jedinců v kontrolní skupině [144].

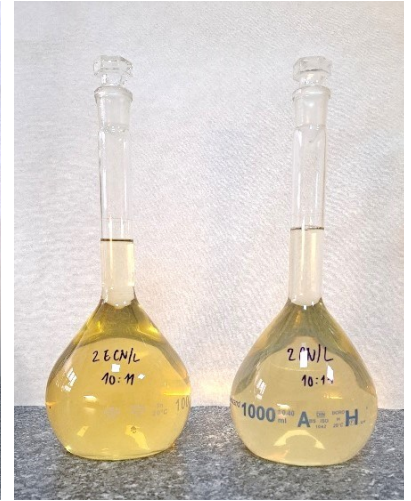
Pro výluh byla, stejně jako v případě mé bakalářské práce [15], zvolena základní koncentrace 2 nedopalky na litr zředovací vody (pro elektronické i klasické cigarety). Byl připraven 1 L výluhu v obou případech (Obrázek 17–19).



Obrázek 17 – Výluhy z nedopalků o konc. 2 ks/L na počátku louhování [154]



Obrázek 18 – Výluhy z nedopalků o konc. 2 ks/L po 24 hodinách [154]



Obrázek 19 – Výluhy z nedopalků o konc. 2 ks/L po zfiltrování [154]

V testu bylo sledováno 5 koncentrací s ředícím faktorem 2. Použitými koncentracemi tedy byly 2, 1, 0,5, 0,25 a 0,125 nedopalku na litr zředovací vody (byla zapojena i kontrolní skupina pouze ve zředovací vodě) jak zobrazují Obrázky 20 a 21, v každé koncentraci bylo připraveno 250 mL roztoku.

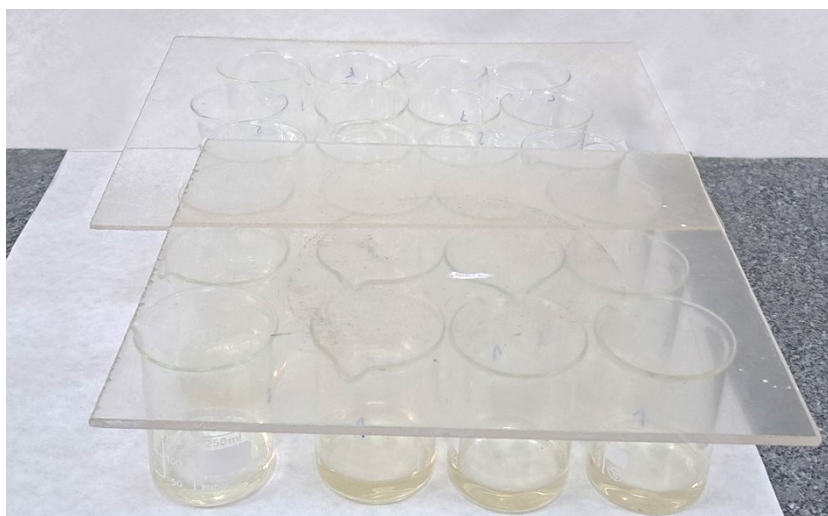


Obrázek 20 – Koncentrační řada výluhu z CN pro test na *Daphnia magna* [154]



Obrázek 21 – Koncentrační řada výluhu z ECN pro test na *Daphnia magna* [154]

Dafnie byly pro snadné vyhodnocení rozděleny do 4 skupin po 5 organismech a umístěny do kádinek s dostatečným objemem kapaliny (do každé kádinky bylo odměřeno zhruba 50 mL konkrétního roztoku). Kádinky byly poté umístěny do temperované místnosti a překryty sklem, které zamezilo znečištění roztoků prachem a současně i odparu kapaliny (Obrázek 22).



Obrázek 22 – Dafnie umístěné v kádinkách v jednotlivých koncentracích [154]

2.2.3 Inhibice růstu řas

Provedení testu na *Desmodesmus subspicatus* odpovídalo postupu ve výše uvedené normě (ČSN EN ISO 8692 [148]). V testu na řasách se stejně jako v testu na dafniích pracuje ve vodním prostředí, je proto nezbytné připravit zřed'ovací vodu (zde se nazývá růstové médium). Pro její přípravu se používá demineralizovaná voda s konduktivitou nižší než 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a poté

se přidají roztoky živin v koncentracích a objemech uvedených v Tabulce 8. Výsledný roztok by měl mít pH $8,1 \pm 0,2$ [148].

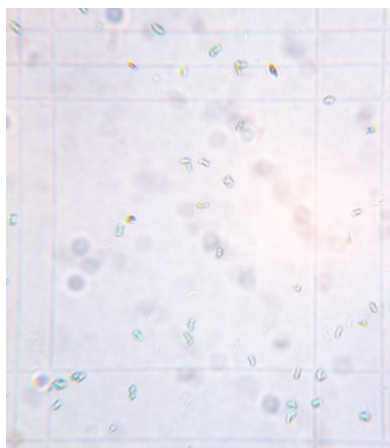
Tabulka 8 – Koncentrace a objemy živin v růstovém médiu [148]

Zásobní roztok	Živina	Hmotnostní koncentrace v zásobním roztoku	Objem roztoku v 1 000 mL růstového média
1. Makrosložky živin	NH ₄ Cl	1,5 g/L	10 mL
	MgCl ₂ ·6H ₂ O	1,2 g/L	
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	1,8 g/L	
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	1,5 g/L	
	KH ₂ PO ₄	0,16 g/L	
2. Fe-EDTA	FeCl ₃ ·6H ₂ O	64 mg/L	1 mL
	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	100 mg/L	
3. Stopové prvky	H ₃ BO ₃ ^a	184 mg/L	1 mL
	MnCl ₂ ·4H ₂ O	415 mg/L	
	ZnCl ₂	3 mg/L	
	CoCl ₂ ·6H ₂ O	1,5 mg/L	
	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0,01 mg/L	
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	7 mg/L	
4. NaHCO ₃	NaHCO ₃	50 g/L	1 mL

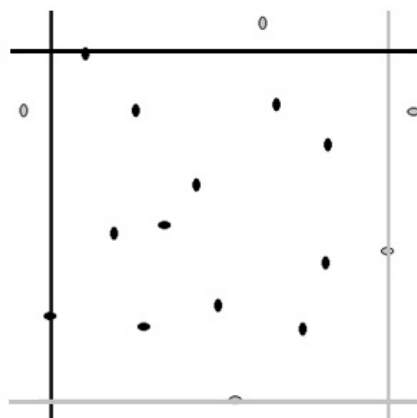
Před samotným testem probíhá ještě předkultivace očkovací kultury. Předkultivace probíhá za stejných podmínek jako samotná zkouška, jako zdroj řas lze použít stabilní zásobní kulturu nebo řasy z alginovaných kuliček [148]. Předkultivace začíná 2–4 dny před samotnou zkouškou – růstové médium o dostatečném objemu (např. 100 mL) je inokulováno buňkami testované řasy (*Desmodesmus subspicatus* – Obrázek 23) o dostatečně nízké koncentraci tak, aby převládl exponenciální růst řas až do začátku zkoušky. Při použití počáteční hustoty 5 000 buněk v 1 mL média by po třetím dni kultivace měla být hustota buněk 10^4 v jednom mL média.

Takto rostoucí kultura řas je následně vhodná pro použití jako inokulum pro zkoušku. Před naočkováním jednotlivých koncentrací je spočítána hustota buněk a následně vypočten objem inokula nezbytný pro jednotlivé koncentrace. V testu má odpovídat počáteční hustota řas opět

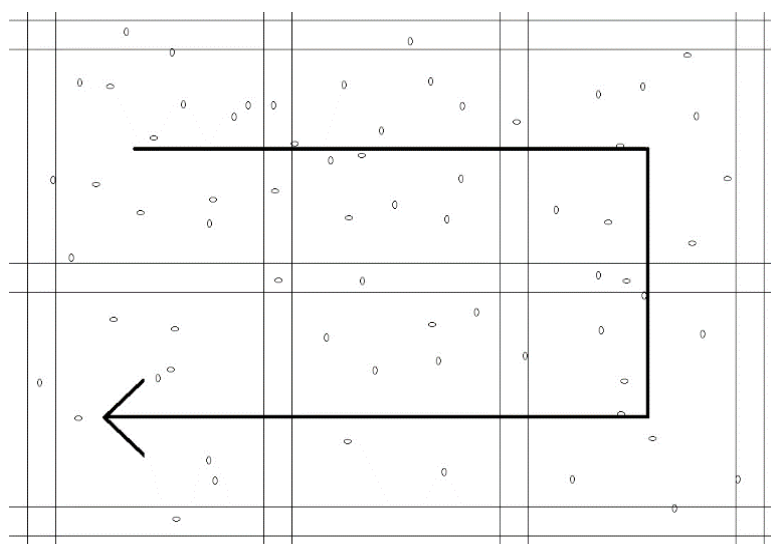
5 000 buněk v 1 mL roztoku [148]. Počítání může probíhat buď pomocí počítače nebo manuálně s použitím Bürknerovy krevní komůrky.



Obrázek 23 – Buňky *Desmodesmus subspicatus* v Bürknerově komůrce [12]



Obrázek 24 – Znázornění počítání buněk v jednom čtverci Bürknerovy komůrky [155]



Obrázek 25 – Znázornění počítání buněk v mřížce Bürknerovy komůrky [155]

Při počítání s použitím Bürknerovy komůrky jsou vyhodnocovány počty buněk v jednotlivých čtvercích viditelných pod mikroskopem tak, že jsou počítány buňky uvnitř čtverce mřížky, včetně těch, které přesahují jeho levou a horní stranu (buňky označené černou barvou na Obrázku 24, šedé buňky počítány nejsou) nebo naopak buňky přesahující pravou a dolní stranu [156]. Pro statisticky správné vyhodnocení je počítáno celkem 40 přiléhajících čtverců ve čtyřech řadách způsobem naznačeným na Obrázku 25 [156].

Získaný počet buněk je poté přepočten na obsah buněk v 1 mL. Pro výpočet lze použít vzorec (1), kde x představuje potřebný objem inokula v mL, c požadovanou hustotu řasové kultury na

počátku testu (5 000 buněk/1 mL), V objem testovaného roztoku v mL a parametr a je hustota inokulační kultury (počet buněk v 1 mL).

$$x = \frac{V \cdot c}{a} \quad (1)$$

Pro tento výpočet je nezbytné znát hustotu inokulační kultury. Ta je vyjádřena vztahem (2). Parametr p představuje součet buněk ve všech počítaných čtvercích, veličina v převratnou hodnotu plochy jednoho čtverce, v němž jsou buňky počítány, h je převratná hodnota hloubky komůrky, P počet spočítaných čtverců (40) a 1000 značí přepočet na 1 mL.

$$a = \frac{p \cdot v \cdot h \cdot 1000}{P} \quad (2)$$

Úpravou potom získáme vztah

$$a = \frac{p \cdot 25 \cdot 10 \cdot 1000}{40} \quad (3)$$

a po dopočtu zlomku

$$a = p \cdot 6250. \quad (4)$$

Řasy mají být v testu stejně jako při testu na daňkách vystaveny koncentracím v geometrické řadě s koeficientem nepřesahujícím 3,2. V každé koncentraci se potom mají nasadit nejméně tři replikáty. Teplota by se v průběhu testu měla pohybovat mezi 21 °C a 25 °C, během testu probíhá nepřetržitě osvětlení bílým světlem o světelné intenzitě 6 000 – 10 000 lx. Kultury se také kontinuálně protřepávají nebo promíchávají, aby byla usnadněna výměna plynů mezi roztokem a okolním vzduchem.

Hustota buněk v jednotlivých koncentracích včetně kontrolní skupiny se stanovuje nejméně každých 24 hodin, celková doba trvání testu je potom 72 hodin (jako hustotu buněk na počátku lze použít jmenovitou, respektive stanovenou, hustotu buněk bez dalšího ověření) [148]. Na počátku a na konci zkoušky také musí být stanovena hodnota pH v jednotlivých koncentracích. Podmínkou platnosti testu potom je, že na konci testu hodnota pH nesmí vzrůst více než o 1,5 oproti pH růstového média. Průměrná růstová rychlost v kontrolních replikátech by měla být 0,9 za den (1,4 dle normy ČSN [148]) a variační koeficient výsledků v těchto baňkách nesmí překročit 5 % [147].

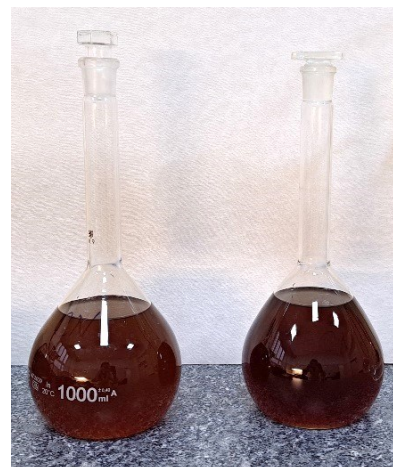
V provedeném testu pro výluh byla po rešerši v odborné literatuře [157; 158] zvolena jako základní koncentrace 40 nedopalků na litr a byl připraven 1 litr tohoto výluhu v případě klasických i elektronických cigaret (Obrázek 26–28).



Obrázek 26 – Výluhy z nedopalků o konc. 40 ks/L na počátku louhování [154]



Obrázek 27 – Výluhy z nedopalků o konc. 40 ks/L po 24 hodinách [154]



Obrázek 28 – Výluhy z nedopalků o konc. 40 ks/L po zfiltrování [154]

Výluh byl následně ředěn s koeficientem 2 a bylo testováno 5 koncentrací. Koncentrační řada tedy byla 40, 20, 10, 5 a 2,5 nedopalku na litr, jak zobrazují Obrázky 29 a 30.



Obrázek 29 – Konc. řada výluhu z CN pro test na *Desmodemus subspicatus* [154]



Obrázek 30 – Konc. řada výluhu z ECN pro test na *Desmodesmus subspicatus* [154]

Oba testy (na klasických i elektronických cigaretách) probíhaly současně, byla tedy využita společná kontrolní skupina. Roztoky byly připraveny do 200mL odměrných baněk, z nichž byly připraveny tři replikáty jednotlivých koncentrací v Erlenmayerových baňkách – v každém bylo použito 50 mL daného roztoku. Baňky byly uzavřeny prodyšnými zátkami z buničiny pro vyloučení odparu roztoků a jejich znečištění prachem (Obrázek 31).



Obrázek 31 – Baňky s řasou umístěné pod lampou [154]

2.2.4 Inhibice respirace aktivovaného kalu

Test inhibice respirace aktivovaného kalu byl proveden postupem dle metodiky OECD Guideline No. 209 [159] nebo ČSN EN ISO 8192 [150]. Test na aktivovaném kalu je nejkratší z uvedených testů – trvá v každé koncentraci pouze 180 minut. Před začátkem testu je nejprve nezbytné připravit syntetickou odpadní vodu, což je roztok připravený jako v předchozích

testech z demineralizované vody (musí obsahovat méně než 1 mg/L rozpuštěného organického uhlíku) přidavkem solí a živin dle Tabulky 9 a doplněním na 1 L [150].

Tabulka 9 – Koncentrace živin v syntetické odpadní vodě [150]

Živina	Hmotnostní koncentrace [g/L]
pepton	16
masový extrakt	11
močovina	3
NaCl	0,7
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0,4
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,2
K ₂ HPO ₄	2,8

Takto připravená syntetická odpadní voda musí mít výsledné pH $7,5 \pm 0,5$, pokud pH neodpovídá tomuto rozmezí lze jej na vhodné upravit přidavkem H₂SO₄ ($c = 0,5$ mol/L) nebo NaOH ($c = 1$ mol/L). Vzhledem k přidavku peptonu a masového extraktu je vhodné jej připravit těsně před testem. Současně se také připravuje roztok referenční látky – roztok 3,5-dichlorfenolu (hmotnostní koncentrace 1 g/L, vzhledem k nízké rozpustnosti je vhodné rozpouštění podpořit ultrazvukem). Pokud lze předpokládat, že má kal nitrifikační efekt, testuje se i roztok inhibitoru nitrifikace – roztok N-allylthiomočoviny (ATU) v koncentraci 2,5 g/L. Inhibitor nitrifikace se přidává v objemu 2,32 mL zásobního roztoku do 500 mL vzorku odpadní vody, výsledná koncentrace N-allylthiomočoviny v testovaném roztoku je tedy 11,6 mg/L [150]. V případě tohoto testu nitrifikační efekt nebyl předpokládán, tato část testu tedy nebyla zapojena.

Při testu je používán aktivovaný kal odebraný z čistírny odpadních vod, která zpracovává převážně splaškové vody, z oblasti odtoku z aerační nádrže. Po odebrání dostatečného objemu se nechá kal sedimentovat, načez se dekantuje a je třikrát promyt pitnou vodou bez obsahu chloru. Po přidání syntetické odpadní vody a naředění se kal za stálého provzdušňování nechá stát do dalšího dne [150]. Den před zkouškou je stanoven obsah sušiny v sedimentovaném kalu následujícím způsobem – je odebráno 10 ml sedimentu ve dvou replikách do keramického kelímku a vysušeno v sušárně při 105 °C až do konstantní hmotnosti. Na základě rozdílů hmotností je následně stanoven obsah sušiny v kalu a vypočteno jeho ředění pro test – obsah sušiny v roztoku v testovací nádobě byl zvolen na 3 g/L.

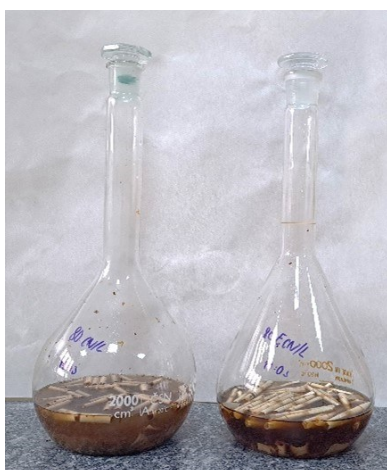
Kal se během testu aeruje, pokud je to nutné tak se vzduch používaný k aeraci vede přes filtr pro odstranění prachu a oleje. Vybavení používané k přivádění aeračního vzduchu by nemělo adsorbovat chemikálie (v případě aparatury použité v tomto testu se jednalo o skleněné pipety vedené do skleněných válců dostatečného objemu). Provzdušňování nádob je prováděno tak, aby koncentrace rozpuštěného kyslíku v roztoku neklesla pod 2 mg/L a po 3 hodiny před měřením dosáhla hodnoty blízké nasycení roztoku kyslíkem, tedy zhruba 7 mg/L. Teplota při testu musí být podobná jako v předchozích případech, tedy 20 ± 2 °C [150].

Při rešerši inhibice respirace aktivovaného kalu nebyla nalezena literatura, která by uváděla nebo umožňovala odhadnout hodnotu EC50 pro tento systém. Jediným vodičkem v tomto směru byl článek Darii Madej-Knysak [160], kdy je proveden test toxicity pro mikroorganismy z řeky Brynica a z výtoků z místní čistírny odpadních vod. V tomto článku byla zkoumána nejnižší koncentrace, kdy byl pozorován toxický efekt na růst organismů a pohybovala se v závislosti v rozmezí 111 ± 59 ks/L pro ECN a od 36 ± 16 ks/L v případě CN.

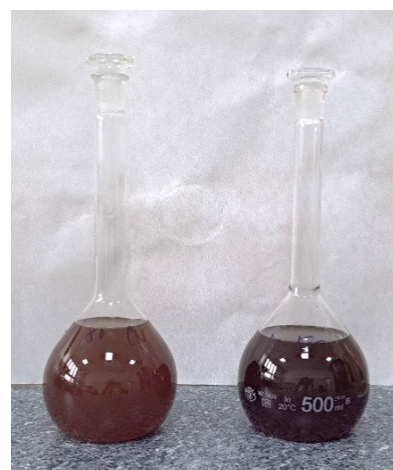
Pro výluh tedy byla zvolena vzhledem k omezením z hlediska možností provedení (dostupné množství materiálu pro výluh a další aspekty jako míchání roztoku, ztráty roztoku smočením filtrů apod.) jako základní koncentrace 80 cigaretových nedopalků na litr a bylo připraveno půl litru tohoto výluhu mícháním půl litru vody odměřené válcem v 1L nádobách pro snazší míchání (Obrázky 32–34). Vyjma koncentrace byl výluh připraven stejně jako v předchozích testech.



Obrázek 32 – Výluhy z nedopalků o konc. 80 ks/L na počátku louhování [154]



Obrázek 33 – Výluhy z nedopalků o konc. 80 ks/L po 24 hodinách [154]



Obrázek 34 – Výluhy z nedopalků o konc. 80 ks/L po zfiltrování [154]

Samotné testovací koncentrace jsou připraveny smísením 250 ml suspenze aktivovaného kalu a 16 ml syntetické odpadní vody s různými objemy roztoku testované látky, a doplněním

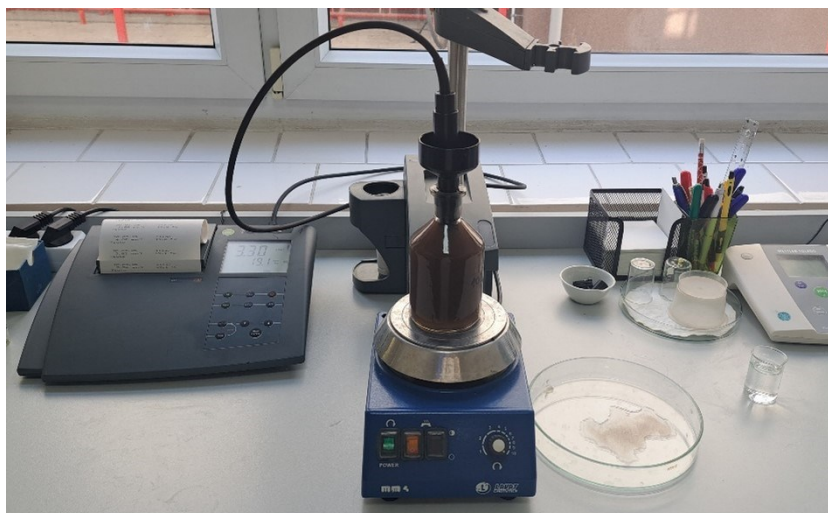
roztoku na 500 ml deionizovanou vodou [150]. Bylo nasazeno 5 koncentrací výluhu z nedopalků přidáním 200, 100, 50, 25 a 12,5 ml výluhu, výsledná koncentrace po naředění tedy odpovídala 32, 16, 8, 4 a 2 nedopalkům ks/L. Současně byly testovány i dvě kontrolní skupiny (suspenze kalu je po přidání syntetické odpadní vody doplněna pouze deionizovanou vodou), jedna před začátkem a druhá po ukončení testu. Byl zapojen i test referenční látky – po nalití 250 ml suspenze aktivovaného kalu a 16 ml syntetické odpadní vody bylo přidáno 5, 10 a 20 ml zásobního roztoku 3,5-dichlorfenolu (výsledná koncentrace 5, 10 a 20 mg/L).

Taktéž byla provedena kontrola anaerobní respirace testovaného výluhu – byl připraven roztok odpovídající nejvyšší testované koncentraci, pouze bez přítomnosti aktivovaného kalu. K 50 mL výluhu byly přidány 4 mL syntetické odpadní vody a 1 mL roztoku HgCl_2 (koncentrace 5 g/l), roztok byl doplněn na 125 mL a dále s ním bylo zacházeno jako s ostatními roztoky. Jednotlivé koncentrace výluhu, referenční látky a kontroly byly nasazovány v 15minutových rozestupech, aby byla při ukončování dostatečná časová prodleva pro vyhodnocení testu (Obrázek 35).



Obrázek 35 – Roztoky s aktivovaným kalem připojené na provzdušňování [154]

Po smíchání jednotlivých složek roztoku bylo v každém z nich stanoveno pH a každá nádoba byla poté intenzivně provzdušňována po 180 minut. Následně bylo odpojeno vzduchovací zařízení a roztokem byla naplněna kyslíkovka, do níž byla ponořena oximetrická sonda, která zaznamenávala koncentrace rozpuštěného kyslíku během 10 minut (Obrázek 36).



Obrázek 36 – Měření koncentrace rozpuštěného kyslíku oximetrickou sondou [154]

Současně bylo také odlito dostatečné množství roztoku pro stanovení výsledného pH. Ze získaných dat byla následně stanovena změna rychlosti spotřeby kyslíku v jednotlivých koncentracích oproti kontrole, referenční látce a respiraci samotného výluhu pomocí stanovení celkové a specifické respirace v kontrolních roztocích a v jednotlivých koncentracích dle vztahů uvedených níže.

Rychlost spotřeby kyslíku se vypočítává, pokud možno z části grafu, kdy je koncentrace rozpuštěného kyslíku v rozmezí 2-7 mg/L a závislost rychlosti spotřeby kyslíku na čase je lineární [150]. V případě, že je spotřeba nízká a koncentrace kyslíku se nedostane alespoň ve třech bodech do tohoto rozmezí, použije se celý desetiminutový interval (za předpokladu, že splňuje podmínku lineárního průběhu). Koncentrace rozpuštěného kyslíku R (v miligramech na litr a hodinu), se potom vypočte dle vztahu (5)

$$R = \frac{(Q_1 - Q_2)}{(t_2 - t_1)} \cdot 60. \quad (5)$$

Kde Q_1 je koncentrace rozpuštěného kyslíku na začátku zvoleného intervalu v mg/L, Q_2 představuje koncentraci rozpuštěného kyslíku na konci zvoleného intervalu v mg/L a t_2 a t_1 jsou časové hodnoty odpovídající těmto měřením v minutách. Specifická rychlost spotřeby kyslíku R_S je potom definována vztahem (6) a vyjadřuje množství spotřebovaného kyslíku na jednotku sušiny kalu a hodinu.

$$R_S = \frac{R}{S_S}, \quad (6)$$

S_S zde představuje koncentraci suspendovaných látek v testované směsi (v případě tohoto testu tedy 3 g/L).

Pro stanovení EC50 je potom nezbytné z těchto údajů stanovit inhibici respirace kalu neboli inhibici spotřeby kyslíku I_T , v jednotlivých koncentracích. K tomu je využíván vztah (7) stanovující I_T v procentech.

$$I_T = \frac{[1-(R_T-R_{TAb})]}{R_{TK}} \cdot 100, \quad (7)$$

R_T je rychlost spotřeby kyslíku v konkrétní testované směsi, R_{TAb} představuje rychlost spotřeby kyslíku v abiotické zkoušce (tedy v roztoku bez přídavku aktivovaného kalu) a R_{TK} je rychlost spotřeby kyslíku v průměrném kontrolním stanovení, získaná výpočtem aritmetického průměru rychlosti spotřeby kyslíku v kontrolních roztocích.

2.2.5 Analýza chemického složení výluhů

Po rešerši v dostupných odborných člancích ([161; 162; 163] pro organické látky a [164; 165; 77] pro kovy) byla provedena analýza vodných výluhů z klasických a elektronických cigaret z hlediska organických látek a těžkých kovů. Pro organické látky byla provedena analýza plynovou chromatografií, těžké kovy byly analyzovány na ICP OES.

V případě analýzy plynovou chromatografií byl použit výluh připravený pro testování inhibice reprodukce řas (koncentrace tedy činila 40 nedopalků na litr výluhu v případě klasických i elektronických cigaret). 400 mL tohoto výluhu bylo třikrát extrahováno dichlormethanem a následně byl po přidání 10 μ L vnitřního standardu (naftalen-D8) analyzován hmotnostní spektroskopií na křemenné koloně HP-5MS UI, při vnitřním smočení stacionární fází 0,25 μ m. Standard naftalenu-D8 měl koncentraci 1 g/L a byl připraven rozpuštěním odpovídající hmotnosti naftalenu-D8 v methanolu.

Současně byl analyzován i roztok zředovací vody pro vyloučení případného zanesení organických látek do výluhu již ze zředovací vody. Získaný chromatografický záznam byl porovnán s knihovnou dostupnou v software LabSolutions a v databázi byly přiřazeny jednotlivé píky k odpovídajícím látkám. Kvantitativní vyhodnocení bylo uskutečněno porovnáním ploch jednotlivých píků s plochou píku vnitřního standardu.

Vzhledem k nízkému smočení kolony, které způsobilo komplikace při stanovení nikotinu, byly následně extrakty analyzovány ještě pomocí GC-FID, také na křemenné koloně, kdy ale vnitřní smočení stacionární fází bylo 1 μ m, což umožnilo lépe oddělit nikotin od ostatních složek roztoku. Pro potvrzení identifikace nikotinu ve vzorku (potvrzení přiřazeného retenčního času) byl vzorek porovnán se standardem nikotinu od firmy Supelco (čistota 98,9 %).

Při analýze kovů byl připraven samostatný výluh o koncentraci 60 nedopalků na litr v obou případech, zředovací vodou v tomto případě byla pouze demineralizovaná voda. Po hrubém zfiltrování na papírovém filtru byl výluh testován podle metody ČSN EN ISO 15587-2 Rozklad ke stanovení vybraných prvků ve vodě – Část 2: Rozklad kyselinou dusičnou [166].

K 50 ml vzorku tedy bylo přidáno 10 ml kyseliny dusičné (65%), načež byl vzorek pod hodinovým sklem udržován ve varu po 120 minut. Následně byl analyzován pomocí ICP-OES metodou kalibrační křivky kvantitativně i kvalitativně – byl proveden screening přítomnosti kovů stejně jako vyhodnocení jejich obsahu ve vzorku. Při kalibraci byly použity víceprvkové standardy pro ICP od firmy Merck (specifikace uvádí Tabulka 10). Pro Sb, Sn a Pd byly použity standardní roztoky (1000 mg/l) od firmy Analytika. Kalibrační řada potom byla připravena ředěním těchto standardů na koncentraci 0,1, 1 a 10 mg/L.

Tabulka 10 – Parametry víceprvkových standardů použitých pro stanovení kovů

	Koncentrace kovů	Matrix	Obsažené kovy
ICP víceprvkový standard IV [167]	1 000 mg/L	6,5% HNO ₃ (pH = 1, 20 °C)	Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, a Zn
ICP víceprvkový standard XVI [168]	100 mg/L	6,5% HNO ₃ (pH = 1, 20 °C)	As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V a Zn
CRM Antimon [169]	1 000±5 mg/L	10% HCl + 0,1% HF	Sb
CRM Cín [170]	1 000±2 mg/L	10% HCl	Sn
CRM Paladium [171]	1 000±2 mg/L	5% HCl	Pd

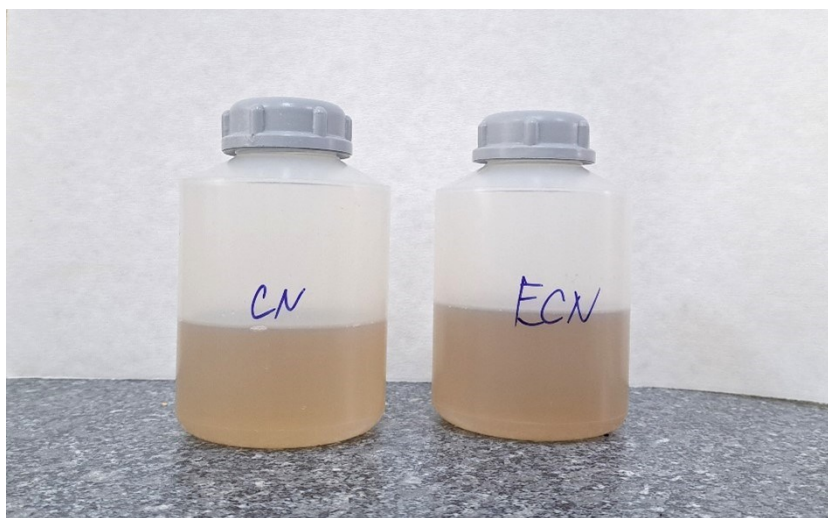
Výluh použitý pro test biologického čištění výluhu z nedopalků byl analyzován samostatně pro vyhodnocení efektivity biologického odbourávání kontaminantů přítomných ve výluhu. Vzhledem k nízké koncentraci kovů i jednotlivých organických látek (jednotlivé složky by nebyly přítomny v detekovatelné koncentraci) byl zvolen test CHSK_{Cr}, který byl proveden s použitím kyvetových testů dle postupu předepsaného výrobcem. Testovány byly, bez další úpravy, výluhy běžných i elektronických cigaret. Použit byl základní výluh použitý při testu na daňních o koncentraci 2 nedopalky na litr, výluh použitý pro biologické čištění s koncentrací 5 nedopalků na litr a výluh po biologickém čištění s výslednou efektivní koncentrací 2 nedopalky na litr.

2.2.6 Biologické čištění výluhů z nedopalků

Poznatky získané během výše uvedených ekotoxikologických testů byly využity pro provedení testu biologického čištění výluhu z nedopalků. Test vychází z myšlenky potenciální biologické dekontaminace výluhu a snaží se simulovat praktický průběh čištění odpadních vod na čistírně. Výluh z nedopalků je vystaven působení aktivovaného kalu, který je následně centrifugou odstředěn z roztoku, jehož toxicita je poté testována na nejcitlivějším systému, tedy na dafniích.

Pro test byla jako základní zvolena koncentrace 5 nedopalků na litr v případě klasických i elektronických cigaret z důvodu ředění výluhu samotným kalem (pro možnost porovnání vlivu aktivovaného kalu by měla být výsledná efektivní koncentrace výluhu stejná jako při testu akutní toxicity na *Daphnia magna*, tedy 2 nedopalky na litr). Výluh byl připraven s demineralizovanou vodou (bez přídavku solí). Po zfiltrování na papírovém filtru (proces simuluje odstranění tuhých částic z vod na ČOV) byl výluh uschován až do použití při 4 °C.

Kal byl připraven stejným postupem jako při testu inhibice respirace – byl promyt vodou bez obsahu chloru a naředěn na hustotu suspendovaných částic odpovídající 3 g/L. Následně byl výluh vystaven působení kalu po 4 hodiny (obvyklá minimální doba zdržení vody v aktivační nádrži [172; 173]). Roztok byl připraven smísením 200 mL výluhu z nedopalků s 250 mL aktivovaného kalu a 16 mL syntetické odpadní vody a doplněn na 500 mL demineralizovanou vodou. Po uplynutí zvolené doby byl kal odstředěn na centrifuze při 3 000 rpm dvakrát po pěti minutách, čistá kapalina byla dekantována a zbylý kal byl odstraněn (Obrázek 37). Do vzniklého roztoku byly přidány roztoky solí odpovídající přípravě zředovací vody v testu akutní imobilizace *Daphnia magna* (postup je uveden v kapitole 2.2.2).



Obrázek 37 – Výluhy z nedopalků s ef. konc. 2 ks/L po odstředění akt. kalu [154]

Takto připravený roztok byl použit jako základní roztok pro zkrácený test akutní imobilizace *Daphnia magna*. Byl připraven 1 L zředovací vody, dle postupu uvedeného v kapitole 2.2.2, ředěním základního roztoku s koeficientem 2 byly připraveny 4 koncentrace (každá v 100 mL roztoku). Výsledné efektivní koncentrace v roztocích tedy činily 2, 1, 0,5 a 0,25 nedopalku na litr (Obrázek 38 a 39). Byla zapojena i kontrolní skupina ve zředovací vodě.



Obrázek 38 – Konc. řada ošetřeného výluhu z CN pro test na *Daphnia magna* [154]



Obrázek 39 – Konc. řada ošetřeného výluhu z ECN pro test na *Daphnia magna* [154]

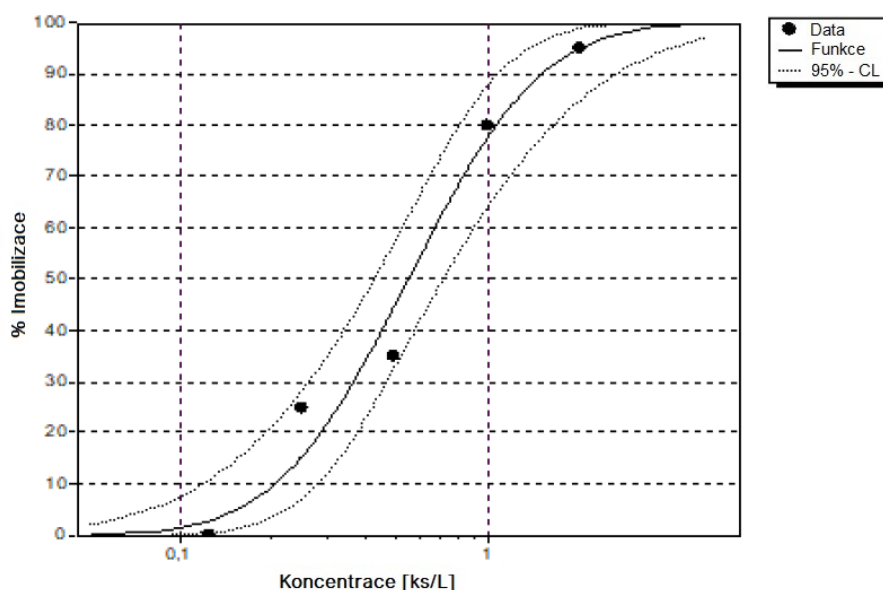
V každé koncentraci bylo nasazeno 20 dafnií ve čtyřech skupinách po 5 organismech. Toxicita byla sledována stejně jako při běžném testu, tedy po 24 a 48 hodinách.

2.3 Výsledky

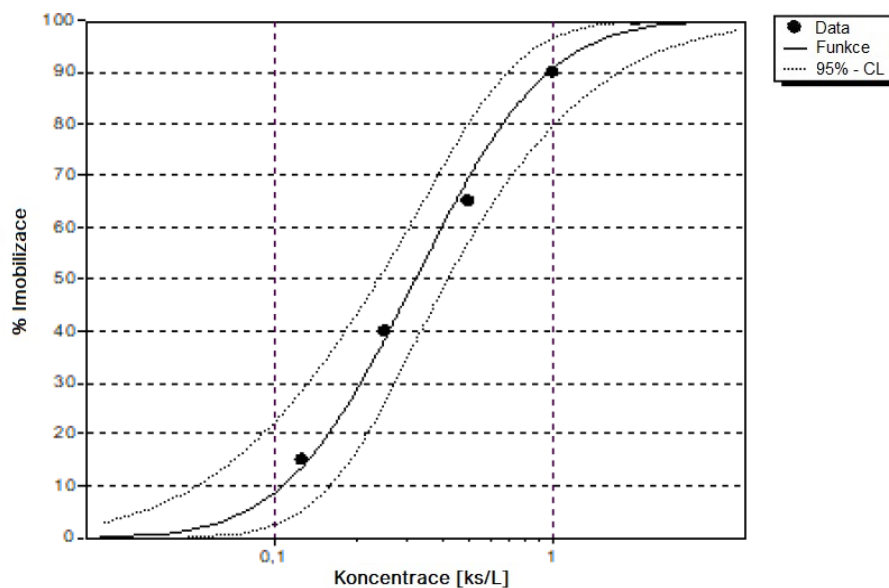
Testy toxicity (kromě testu inhibice respirace aktivovaného kalu) byly vyhodnocovány v programu ToxRat Professional Version 3.3.0. Byly vypočítány hodnoty EC50, resp. ErC50 v časech příslušných pro daný typ testu. Současně byly získány i grafy závislosti sledovaných toxických efektů.

2.3.1 Akutní imobilizace *Daphnia magna*

Data získaná z obou testů akutní imobilizace dafnií (výluhem z nedopalků klasických i elektronických cigaret) byly zaznamenány tak, jak jsou uvedeny v Příloze A a B. V přílohách jsou uvedeny počty imobilizovaných jedinců v jednotlivých koncentracích a časových intervalech, stejně jako podmínky testu (bylo splněno povolené rozmezí pH i koncentrace rozpuštěného kyslíku). Na základě těchto výsledků byly potom vypočítány hodnoty EC50 pro oba testy po 24 a 48 hodinách, průběhy závislosti imobilizace na koncentraci roztoku v konkrétních časech jsou uvedeny v Grafech 2–5. Graf 2 a 3 se věnuje výluhu z nedopalků klasických cigaret.



Graf 2 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci výluhu z CN po 24 hodinách



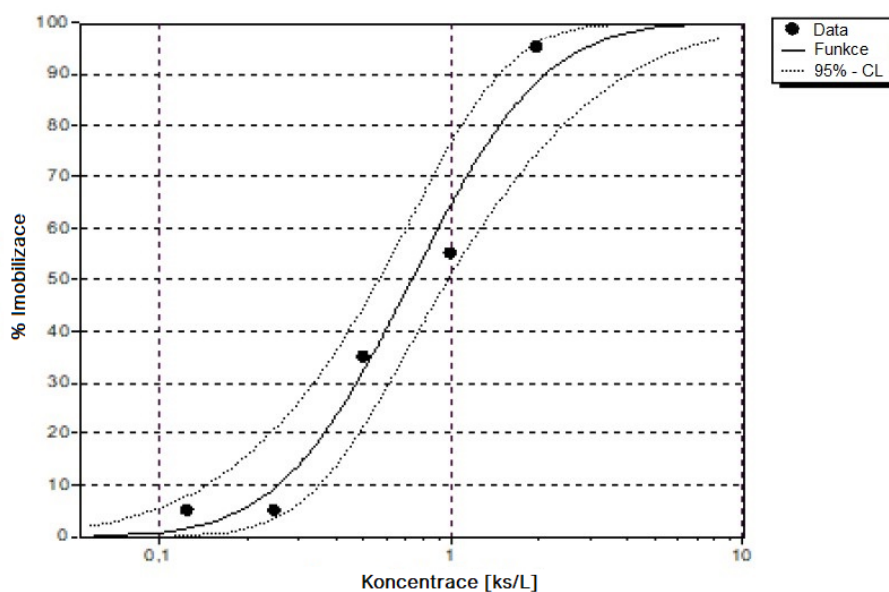
Graf 3 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci výluhu z CN po 48 hodinách

Grafy znázorňují imobilizace dafnií v jednotlivých koncentracích v daném časovém intervalu (body), proložení těchto získaných bodů funkcí vypočítanou programem (plná středová křivka) a 95% intervaly spolehlivosti (přerušované křivky kolem hlavní funkce). Výsledné hodnoty EC50 v tomto testu tedy byly:

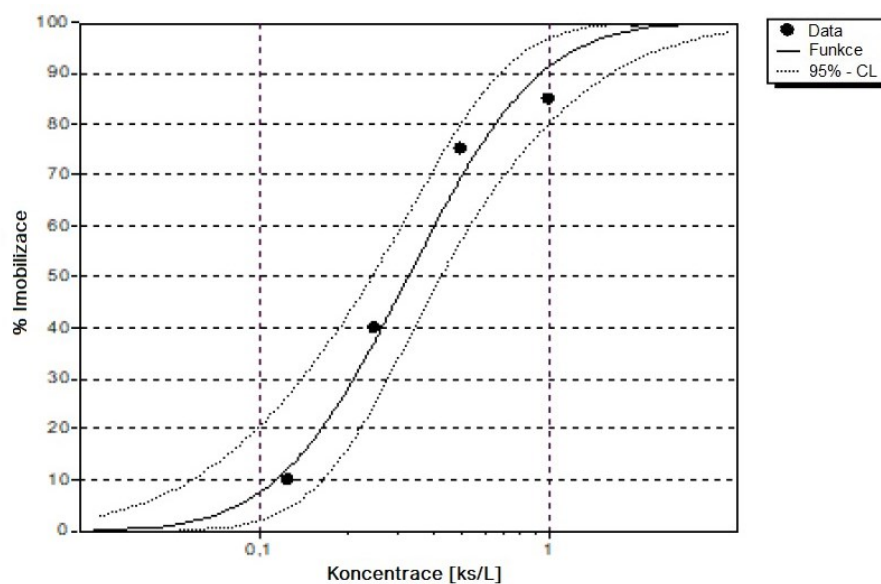
24 hodin: EC50 = 0,56 CN ks/L

48 hodin: EC50 = 0,32 CN ks/L.

Graf 4 a 5 znázorňují závislosti získané v testu výluhu z elektronických cigaret.



Graf 4 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci výluhu z ECN po 24 hodinách



Graf 5 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci výluhu z ECN po 48 hodinách

Toxicita výluhu z nedopalků elektronických cigaret vycházela překvapivě podobně jako toxicita nedopalků klasických, ač trochu nižší. Hodnoty EC50 byly:

24 hodin: EC50 = 0,73 ECN ks/L

48 hodin: EC50 = 0,33 ECN ks/L.

Zaznamenaná imobilizace testovaných organismů byla způsobena stejně jako v případě provedení testu v mé bakalářské práci [15] dvojího druhu – některé z dafnií byly zjevně zahubeny toxickým působením výluhu (pod mikroskopem nebyla viditelná žádná aktivita), některé byly imobilizovány srážením vláknitých struktur na jejich tykadlech, jak lze vidět na Obrázcích 40–49 uvedených níže, a to v obou testovaných výluzích.

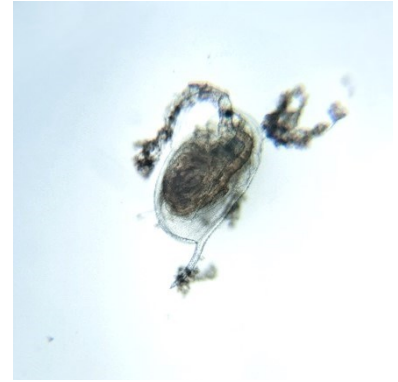
Dafnie takto imobilizované měly přilepená tykadla k tělu, nebo byly ve vyšších koncentracích slepeny k sobě navzájem, případně byla jejich tykadla vlákny zatížena tak, že již jimi nebyly schopny pohybovat. Dafnie také filtrovaly tyto látky z vody a krmily se jimi, jejich přítomnost je tedy znatelná i v jejich trávicí trubici. Konzumace této látky způsobovala pravděpodobně také toxický efekt, po 24 hodinách totiž imobilizované dafnie byly obvykle stále schopné dýchat – pohybovat menšími končetinami umožňujícími proudění vody, a tak i vstřebání kyslíku. Po 48 hodinách již ale byly imobilizované dafnie zcela mrtvé, ač na jejich menších končetinách nelze sledovat vysrážená vlákna.



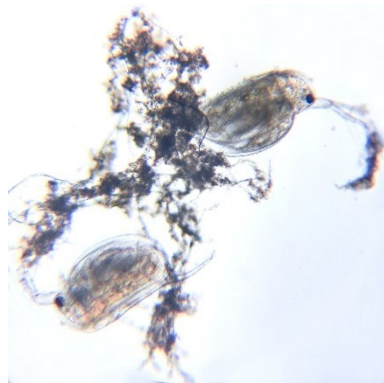
Obrázek 40 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1/8 ks/L [154]



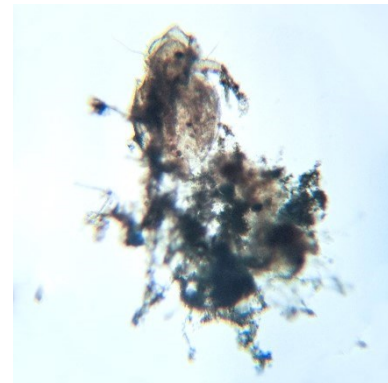
Obrázek 41 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1/4 ks/L [154]



Obrázek 42 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1/2 ks/L [154]



Obrázek 43 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 1 ks/L [154]



Obrázek 44 – Dafnie z výluhu z CN o koncentraci 2 ks/L [154]



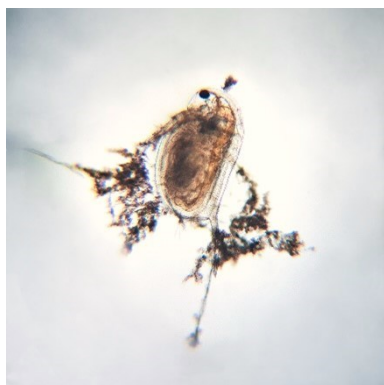
Obrázek 45 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1/8 ks/L [154]



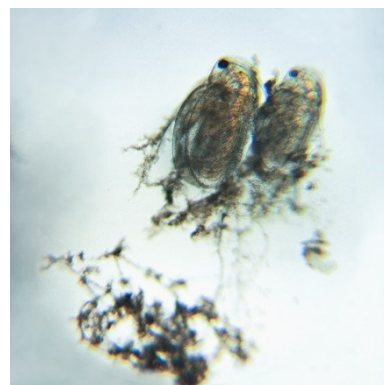
Obrázek 46 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1/4 ks/L [154]



Obrázek 47 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1/2 ks/L [154]



Obrázek 48 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 1 ks/L [154]



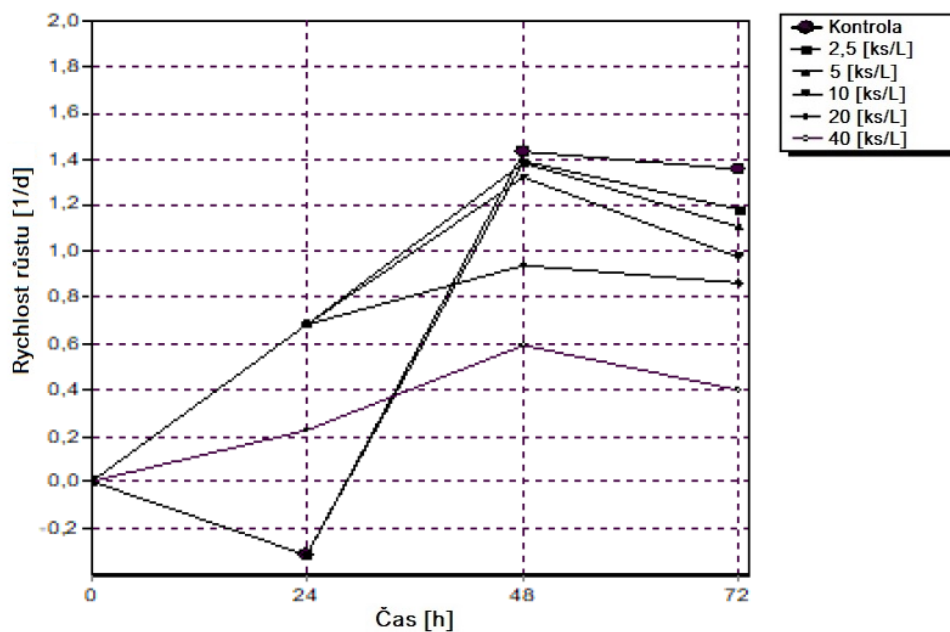
Obrázek 49 – Dafnie z výluhu z ECN o koncentraci 2 ks/L [154]

2.3.2 Inhibice růstu řas

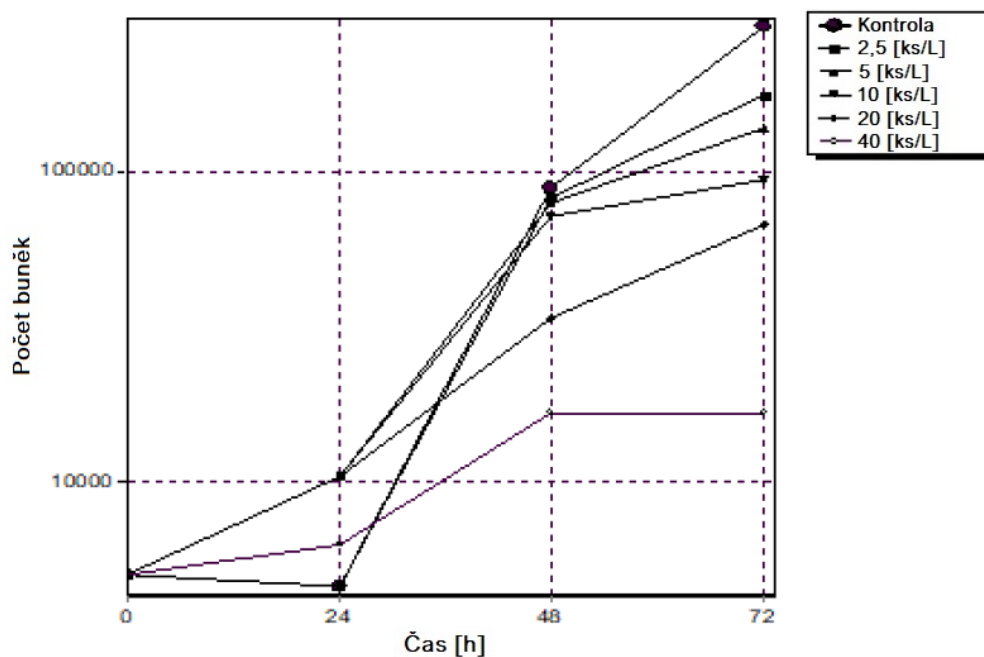
Při testu inhibice růstu řas byla data zaznamenávána v podobě uvedené v Příloze D a E. Byla zapisována data po 24, 48 a 72 hodinách (kvůli možnosti zobrazit časový vývoj růstu buněk v daných koncentracích), ačkoli hodnota ErC50 je vypočítávána pouze po 72 hodinách. Pro výpočet hodnoty ErC50 je obvykle využívána rychlost růstu řas (jak je popsáno v normě [148]), případně výtěžek.

V případě této práce byla pro výpočet hodnoty ErC50 použita rychlost růstu řas. Vyhodnocením v programu ToxRat byly získány grafy závislosti rychlosti růstu řas na koncentraci při jednotlivých časech měření, program také umožňuje zobrazit závislost počtu buněk řasy na čase v jednotlivých koncentracích výluhů (ta zobrazuje trochu přehledněji rostoucí ekotoxický efekt výluhů).

Pro výluh z cigaretových nedopalků jsou tyto dvě závislosti znázorněny v Grafu 6 a 7. Jednotlivé koncentrace jsou v grafech rozlišeny grafickým provedením bodů značících hodnoty v daném čase.



Graf 6 – Závislost inhibice růstu řasy *Desmodesmus subspicatus* na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z CN

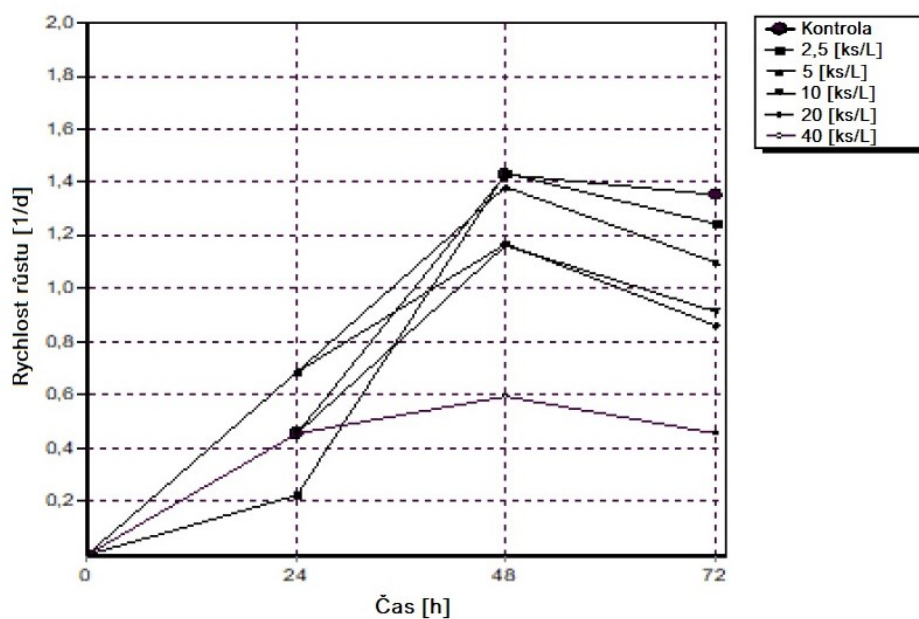


Graf 7 – Závislost počtu buněk řasy *Desmodesmus subspicatus* na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z CN

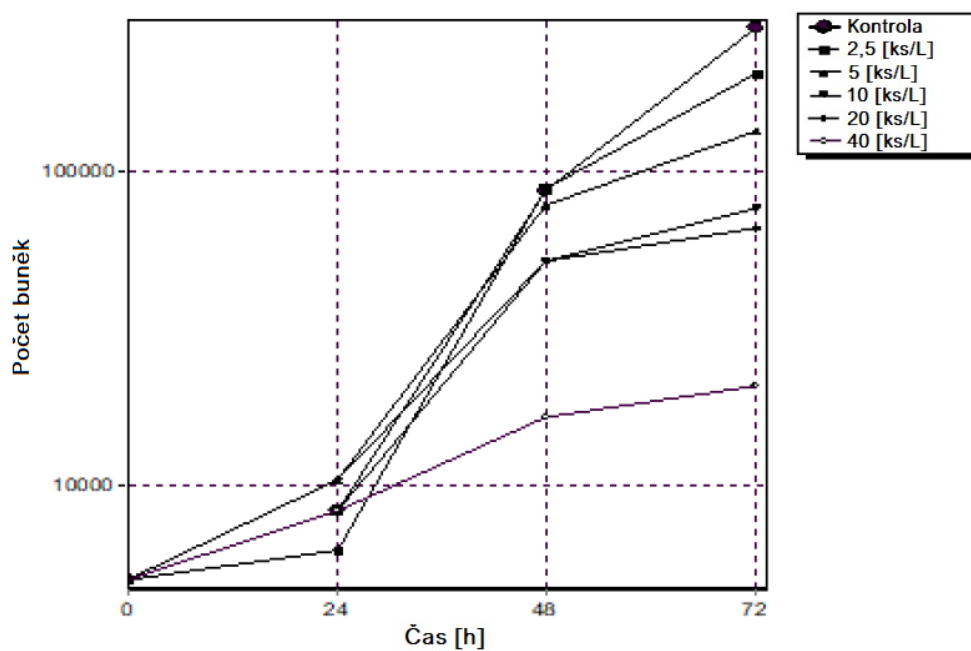
Výsledná hodnota ErC50 po 72 hodinách tedy byla:

$$\text{ErC50} = 25,23 \text{ CN ks/L.}$$

Pro výluh z elektronických cigaret zobrazují získané závislosti Graf 8 a 9.



Graf 8 – Závislost inhibice růstu řasy *Desmodium subspicatus* na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN

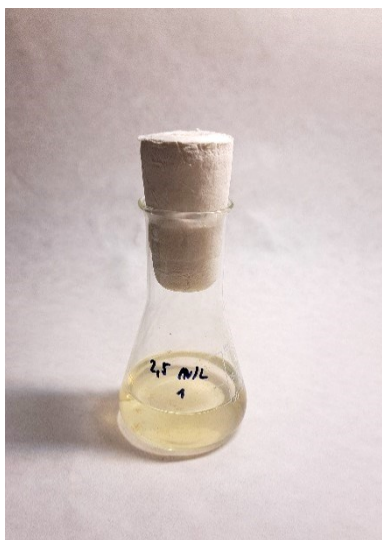


Graf 9 – Závislost počtu buněk řasy *Desmodium subspicatus* na čase v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN

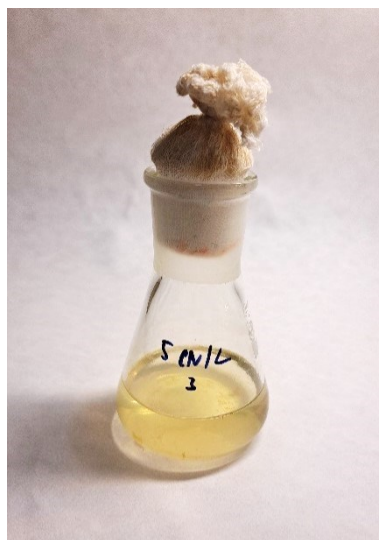
Výsledná hodnota ErC50 po 72 hodinách v tomto testu byla opět podobná jako v případě klasických nedopalků. Vycházela tedy:

$$\text{ErC50} = 25,11 \text{ ECN ks/L.}$$

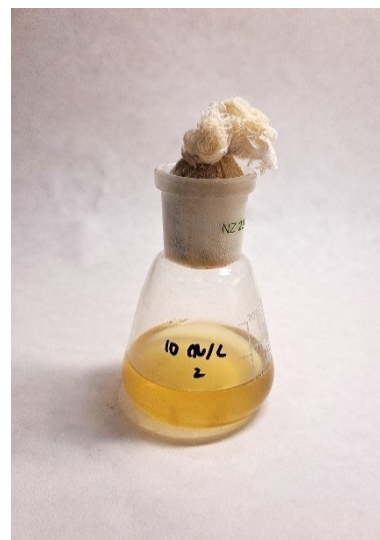
Podobně jako v případě testu imobilizace dafnií i v případě tohoto testu vykazovaly baňky s řasou tendenci pro vznik vláknitých struktur v roztoku, a to v případě výluhu z klasických i elektronických cigaret (Obrázky 50–59). Tyto struktury v některých případech rušily při počítání buněk v Bürknerově komůrce a vyžadovaly opakování stanovení. Výluh měl ve vyšších koncentracích také schopnost ulpívat na skle, což ztěžovalo čištění používaného laboratorního vybavení po testu i mezi jednotlivými stanoveními.



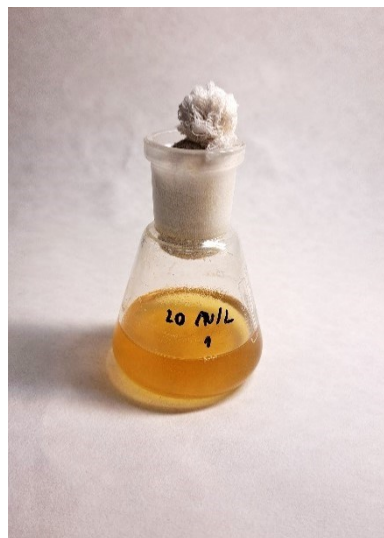
Obrázek 50 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 2,5 ks/L [154]



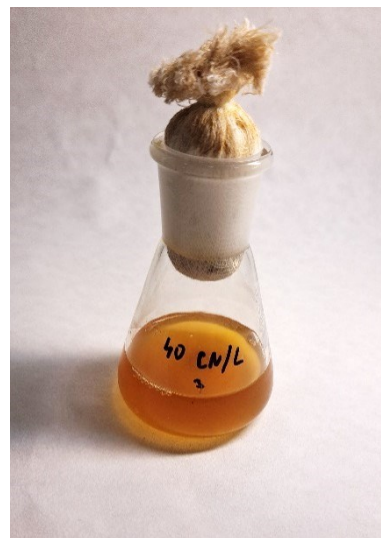
Obrázek 51 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 5 ks/L [154]



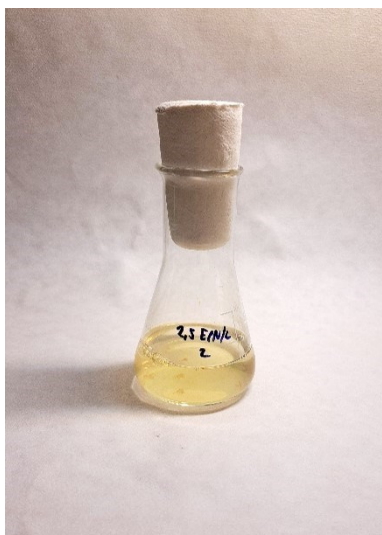
Obrázek 52 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 10 ks/L [154]



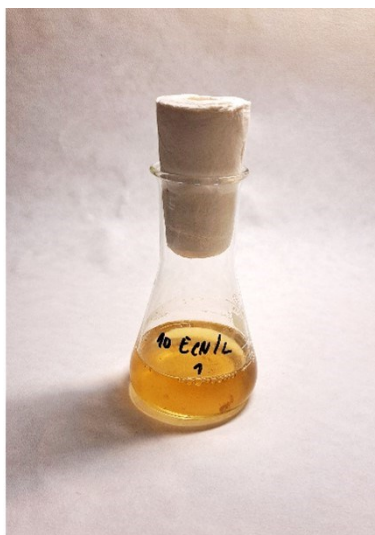
Obrázek 53 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 20 ks/L [154]



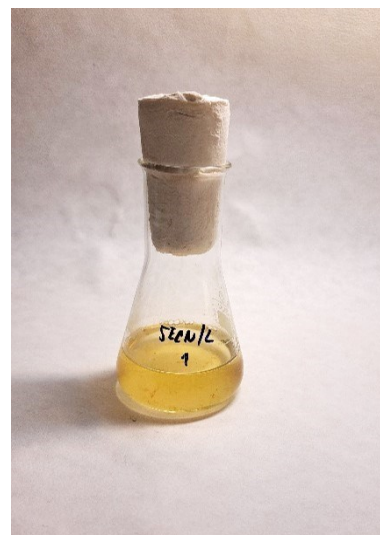
Obrázek 54 – Baňka s řasou ve výluhu z CN o koncentraci 40 ks/L [154]



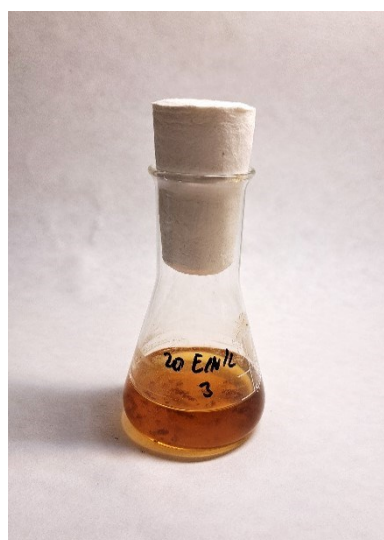
Obrázek 55 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 2,5 ks/L [154]



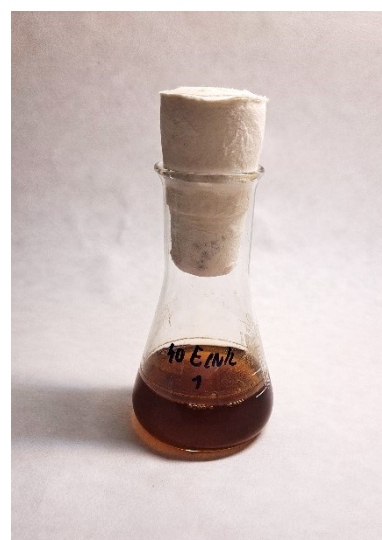
Obrázek 56 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 5 ks/L [154]



Obrázek 57 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 10 ks/L [154]



Obrázek 58 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 20 ks/L [154]



Obrázek 59 – Baňka s řasou ve výluhu z ECN o koncentraci 40 ks/L [154]

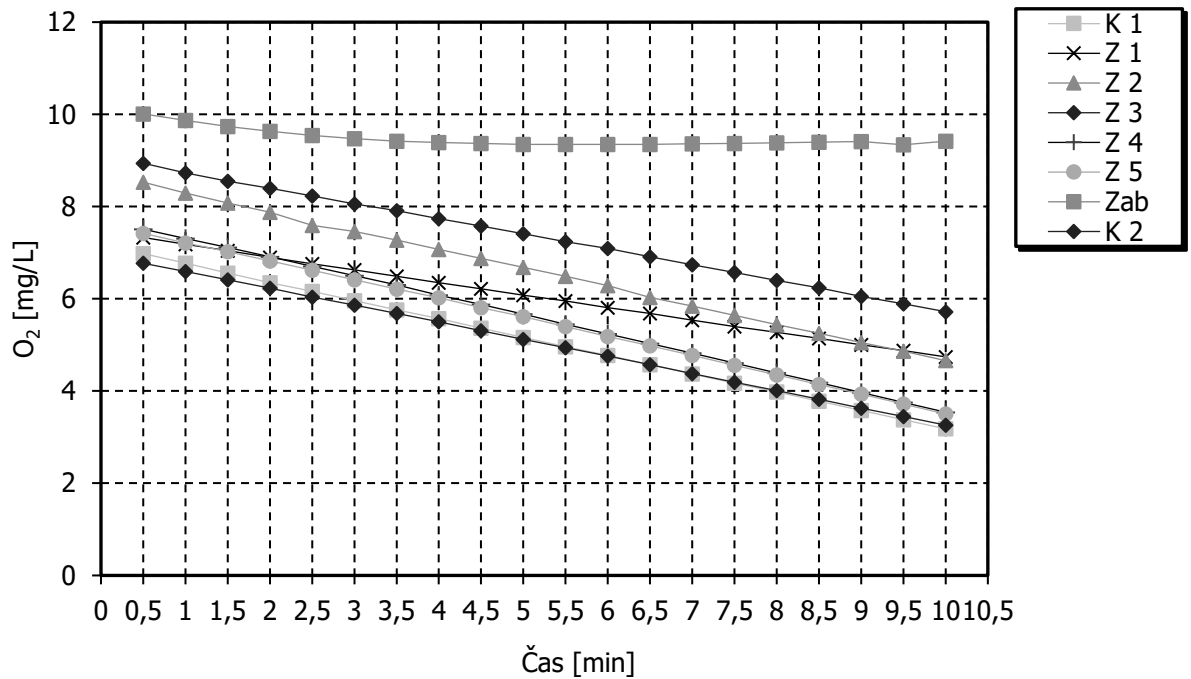
Mimo zmíněné struktury se také ve vyšších koncentracích výluhů v roztoku vyskytovaly vysoké počty bakterií, které ztěžovaly identifikaci a počítání buněk řasy.

2.3.3 Inhibice respirace aktivovaného kalu

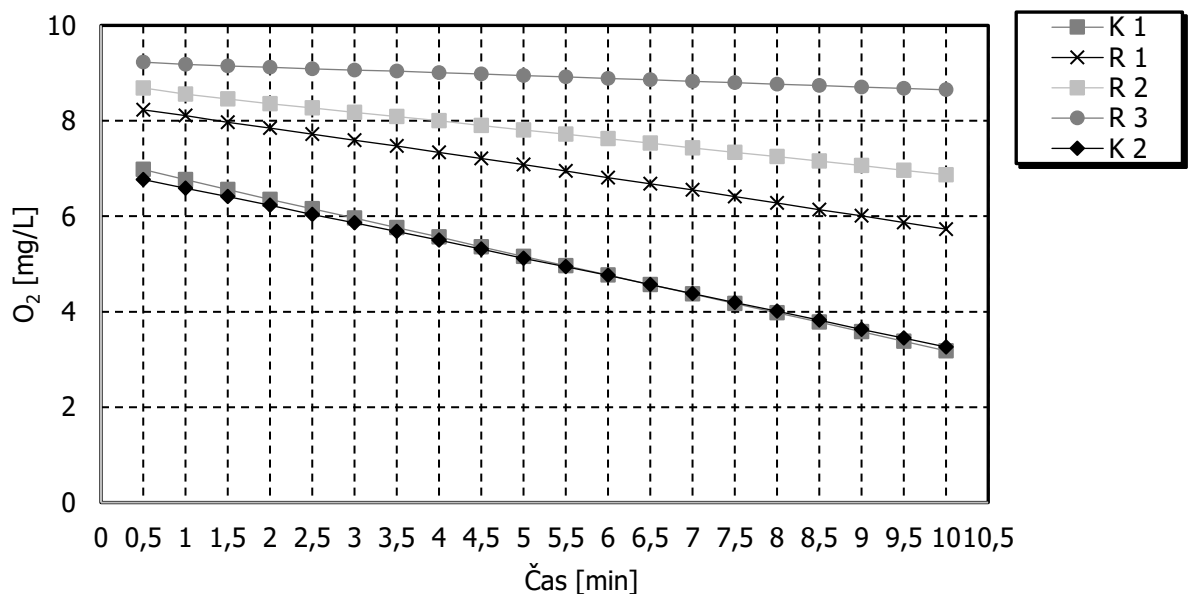
Data získaná během experimentů sledujících inhibici respirace aktivovaného kalu byla zaznamenávána do tabulek uvedených v Přílohách E a F. Výpočty a grafické znázornění byly v případě těchto testů provedeny v Microsoft Excel, protože inhibice respirace kalu nedosáhla ani v jednom z testů 50 % a nebylo tedy možné stanovit EC50.

U obou výluhů byly (jak je uvedeno v Přílohách E a F) vypočteny hodnoty inhibice respirace v jednotlivých koncentracích, stejně jako v případě referenčního roztoku (referenční roztok byl zkoušen pro oba testy samostatně). Referenční roztok potvrzuje, že se kal v obou testech choval předpokládaným způsobem.

V případě výluhu z CN byly získané závislosti zobrazeny v Grafech 10 a 11. Jednotlivé koncentrace jsou v grafech opět odlišeny grafickým provedením bodů hodnot v daných časech.



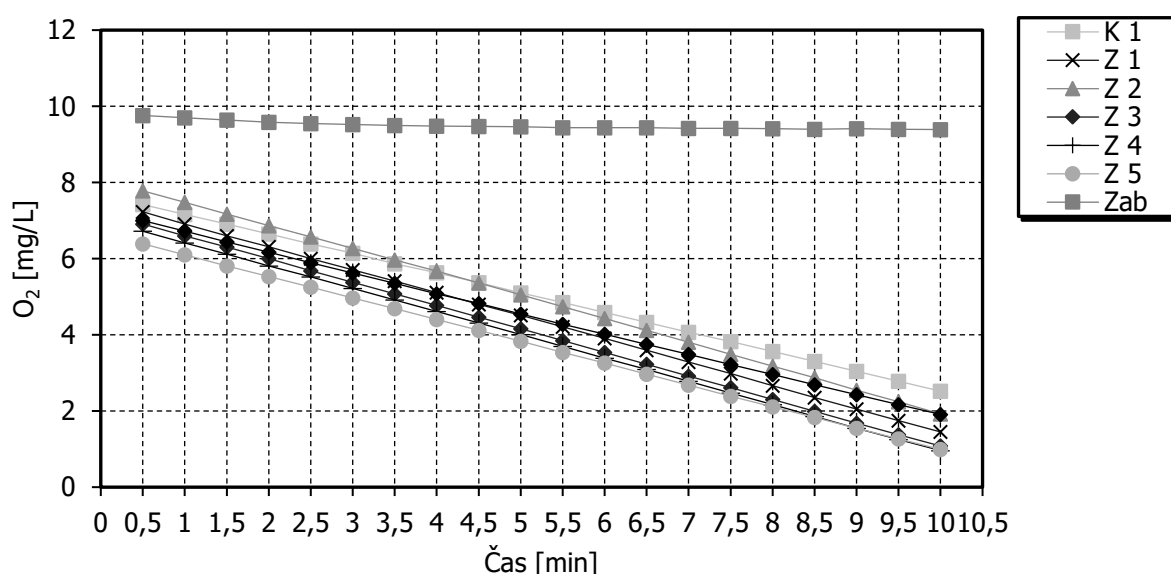
Graf 10 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích výluhu z CN



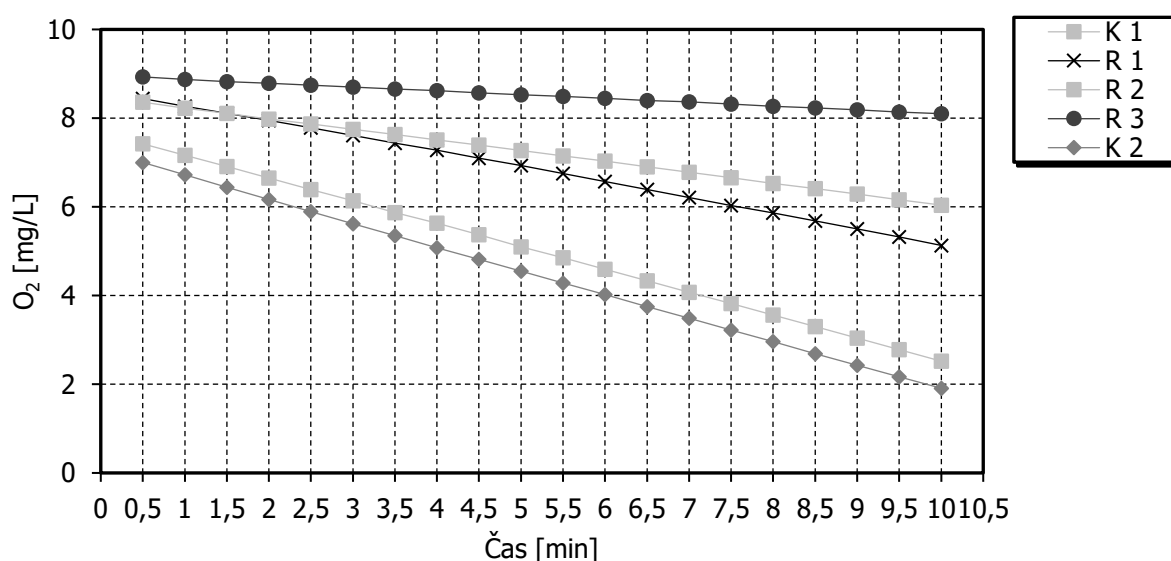
Graf 11 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích roztoku 3,5-dichlorfenolu pro test výluhu z CN

V Grafu 10 je znázorněna závislost koncentrace rozpuštěného kyslíku na čase v jednotlivých koncentracích, efektivní koncentrace jsou potom Z 1 – 36 ks/L, Z 2 – 16 ks/L, Z 3 – 8 ks/L, Z 4 – 4 ks/L a Z 5 – 2 ks/L (stejné značení i koncentrace jsou i v případě testu výluhu z nedopalků elektronických cigaret). Řady K 1 a K 2 představují kontrolní stanovení a Zab je kontrola respirace samotného roztoku s přidavkem chloridu rtuťnatého. Koncentrace roztoku 3,5-dichlorfenolu potom byly R 1 – 5 mg/L, R 2 – 10 mg/L a R 3 – 20 mg/L. Jednoznačný toxický efekt lze z grafu pozorovat pouze v nejvyšší koncentraci Z 1, kdy byla sledována inhibice respirace 48,4 % oproti kontrole (viz Příloha E).

Pro výluh z ECN byly závislosti zobrazeny v Grafech 12 a 13.



Graf 12 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN

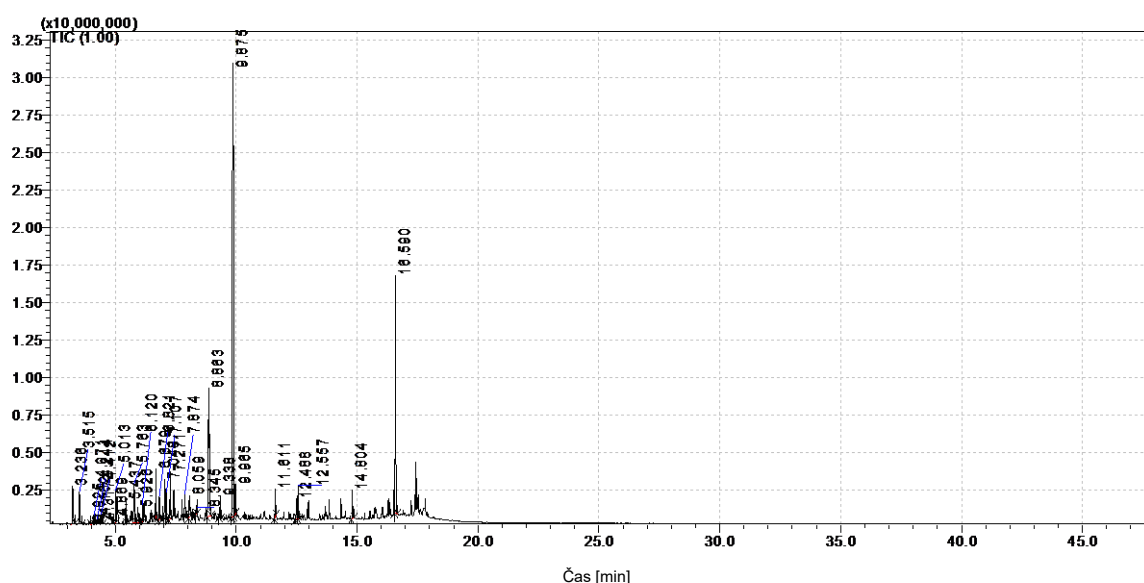


Graf 13 – Respirace aktivovaného kalu v jednotlivých koncentracích roztoku 3,5-dichlorfenolu pro test výluhu z ECN

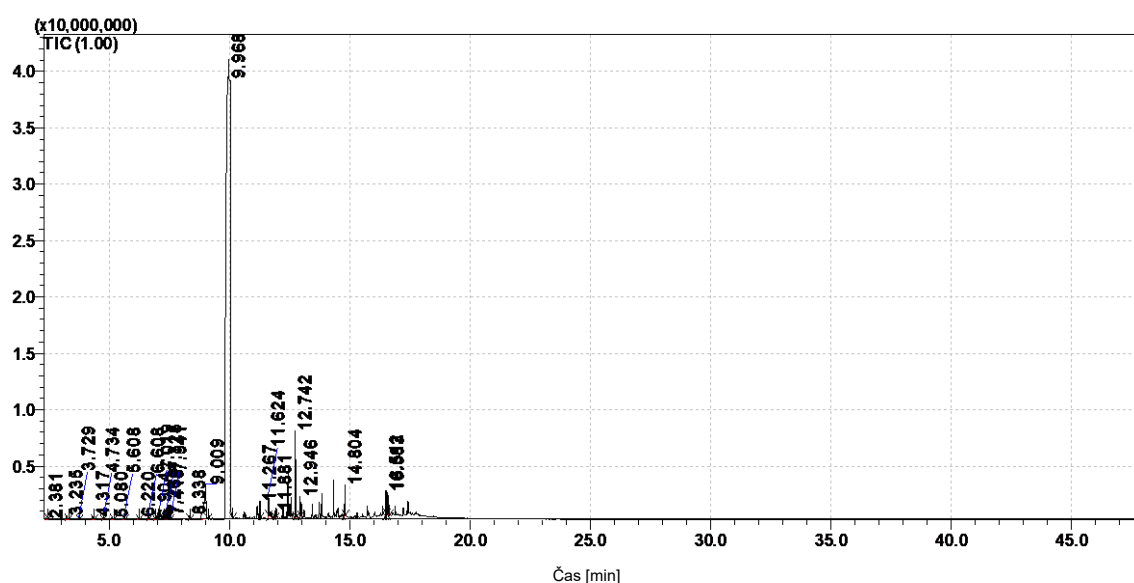
Ze závislosti inhibice respirace v jednotlivých koncentracích výluhu z ECN zobrazené v Grafu 13 lze vidět, že nejen, že výluh na kal neměl toxický efekt, naopak vyšší koncentrace výluhu respiraci kalu spíše podporovaly. Tento závěr podporuje i výpočet inhibice v Příloze F – nejvyšší koncentrace výluhu z ECN vykazovala inhibici respirace -8,3 %.

2.3.4 Analýza chemického složení výluhů

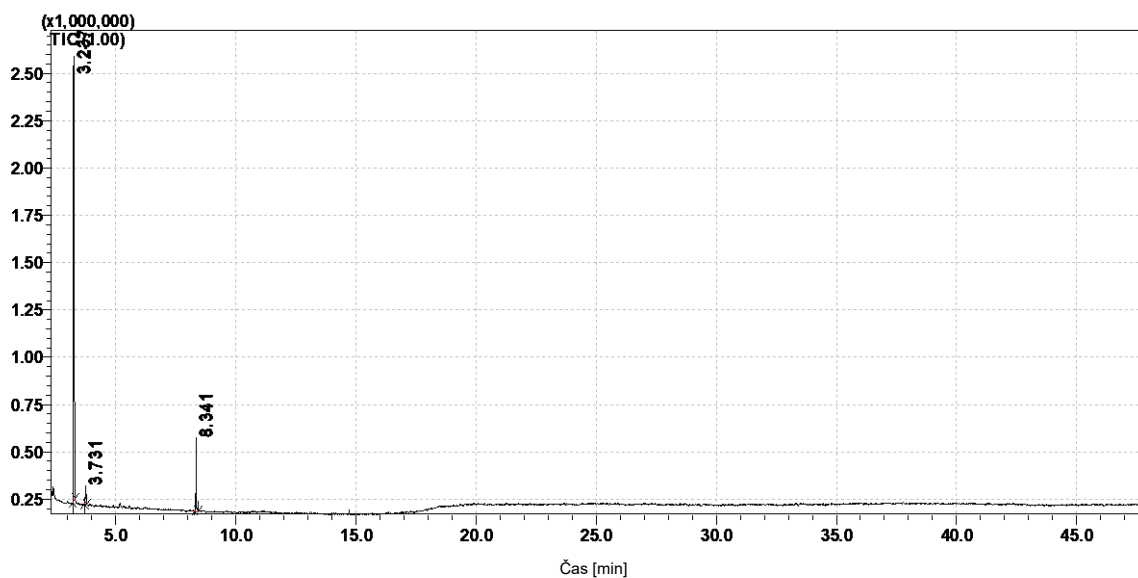
Analýza kovů a organických složek přítomných ve výluzích z obou typů nedopalků měla jako hlavní cíl identifikovat co nejvíce složek výluhů a jako vedlejší cíl jejich, alespoň přibližnou, kvantifikaci (pro možnost posouzení příčiny toxicity pro vodní organismy). Při analýze výluhů a zředěvací vody na GC-MS byly získány následující chromatogramy (Graf 14-16).



Graf 14 – Chromatogram výluhu z CN GC-MS

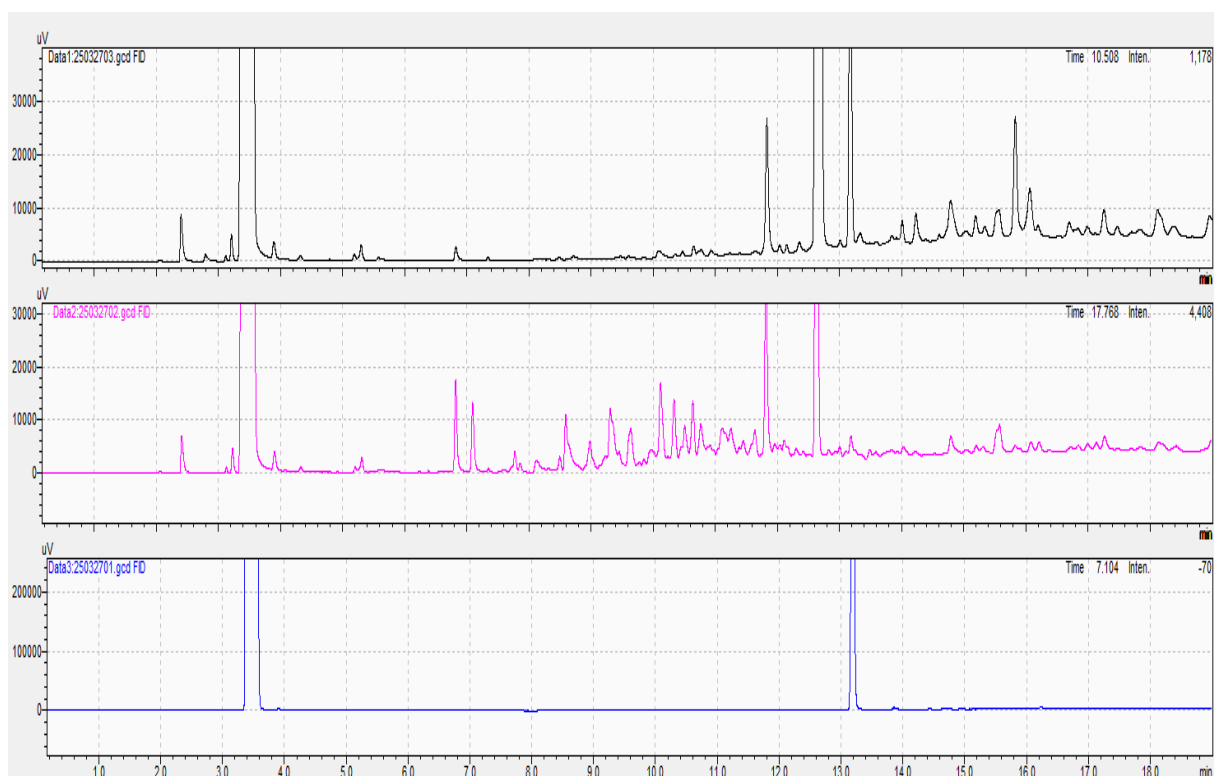


Graf 15 – Chromatogram výluhu z ECN GC-MS



Graf 16 – Chromatogram zředovací vody GC-MS

Vzhledem ke zkušebním podmínkám, nebylo možné v tomto stanovení získat pík odpovídající nikotinu (byl překryt sousedním píkem). Pro jeho kvantifikaci tedy byly extrakty stanoveny znovu pomocí GC-FID spolu se standardem nikotinu, což poskytlo data na Obrázku 60.



Obrázek 60 – Stanovení výluhů pomocí GC-FID, nahoře výluh z ECN, uprostřed výluh z CN, dole roztok se standardem

Porovnáním s knihovnou v programu LabSolutions byly identifikovány konkrétní látky přítomné v jednotlivých extraktech a zředovací vodě. Jejich koncentrace (v tabulkách označena jako c) ve 400 ml výluhu, vyjádřené jako hmotnost na jeden nedopalek v 1 litru výluhu, byly následně i kvantifikovány pomocí ploch jejich křivek (v tabulkách označeno jako A), přepočtem pomocí vnitřního standardu naftalenu D-8 (Tabulka 11 a 12). Koncentrace látek byla stanovena i v případě zředovací vody (Tabulka 13), tam je uvedena pouze hmotnostní koncentrace v jejím jednom litru. Byl také vyhodnocen obsah kovů ve výluzích, výsledek této analýzy uvádí Tabulka 14.

V neposlední řadě byla provedena stanovení $CHSK_{Cr}$ květovými testy. Toto stanovení umožňuje posoudit míru mineralizace organických látek přítomných ve výluzích bakteriemi aktivovaného kalu za 4 hodiny, po kterou jim byly výluhy vystaveny. Výsledky stanovení uvádí Tabulka 15.

Tabulka 11 – Výsledek analýzy organických látek ve výluhu z CN o koncentraci 40 ks/L

	Retenční čas [min]	A [-]	c [$\mu\text{g}/\text{CN}\cdot\text{L}$]	Identifikovaná látka	Shoda se spektrem knihovny
1	3,236 a 3,516	10 249 636	11,06	toluen	97 %
2	3,925	358 672	0,39	4-aminopyridin	87 %
3	4,071	374 970	0,40	cyklopent-2-en-1-on	90 %
4	4,162	972 553	1,05	2-methylcyklopenta-1-on	96 %
5	4,244	538 212	0,58	2-methylcyklopenta-1-on	94 %
6	4,317	578 874	0,62	(furan-2-yl)methanol	95 %
7	4,412	1 395 689	1,51	3-methylpyridin	95 %
8	4,869	745 529	0,80	cyklohexanon	95 %
9	5,013	3 218 550	3,47	2-methylcyklopent-2-en-1-on	92 %
10	5,437	2 502 359	2,70	2-ethylcyclopentan-1-on	88 %
11	5,763	6 677 845	7,21	2-vinylpyridin	79 %
12	5,926	2 640 508	2,85	fenol	94 %
13	6,120	1 501 085	1,62	3,5-dimethylcyklohex-1-en	87 %
14	6,679	3 953 438	4,27	2,3-dimethylcyklopent-2-en-1-on	92 %
15	6,821	2 164 322	2,34	2-methylfenol	93 %
16	7,049	4 566 135	4,93	4-methylfenol	93 %
17	7,107	2 115 425	2,28	ethylidencyklohexan	85 %

18	7,271	5 721 918	6,17	2-methoxyfenol	96 %
19	7,874	2 543 543	2,74	2,4-dimethylfenol	84 %
20	8,059	3 408 141	3,68	4-ethylfenol	88 %
21	8,345	579 174	0,63	naftalen-1,2,3,4,5,6,7,8-D8	84 %
22	8,863	29 733 400	32,09	1,2-diacetin	92 %
23	9,338	2 053 040	2,22	1-indanon	95 %
24	9,875	96 552 117	104,19	triacetin	85 %
25	9,965	27 830	0,03	nikotin	84 %
26	11,611	2 312 797	2,50	2,2'-bipyridin (isonikotein)	95 %
27	12,488	2 044 341	2,21	blumenol C	96 %
28	12,557	3 104 328	3,35	3,5,5-trimetyl-4-(3-oxobutyl)cyclohex-2-en-1-on	90 %
29	14,804	3 216 347	3,47	skopoletin	92 %
30	16,590	34 221 149	36,93	isocembrol	87 %

Tabulka 12 – Výsledek analýzy organických látek ve výluhu z ECN o koncentraci 40 ks/L

	Retenční čas [min]	A [-]	c [$\mu\text{g}/\text{ECN}\cdot\text{L}$]	Identifikovaná látka	Shoda se spektrem knihovny
1	2,381	285 238	0,31	pent-3-en-2-ol	88 %
2	3,235	1 036 569	1,12	toluen	97 %
3	3,729	106 553	0,11	hexan-2-ol	88 %
4	4,317	720 204	0,78	(furan-2-yl)methanol	94 %
5	4,734	1 555 114	1,67	cyklopent-4-en-1,3-diol	92 %
6	5,080	578 259	0,62	1-(furan-2-yl)ethanon	93 %
7	5,608	539 962	0,58	3-methylcyklopenta-1,2-dion	90 %
8	6,220	415 820	0,45	oktanal	84 %
9	6,608	684 120	0,74	fenylmethanol	96%
10	6,903	195 170	0,21	1-(3,4-dihydro-2H-pyrrol-5-yl)ethan-1-on	92 %
11	7,019	300 452	0,32	1-fenylethanon	95 %
12	7,269	635 928	0,68	2-methoxyfenol	96 %
13	7,325	437 213	0,47	1,2,3-trimethylcyklohexan	82 %
14	7,418	576 999	0,62	cyklohex-2-en-1-on	81 %
15	7,541	452 913	0,49	2-fenylethan-1-ol	93 %
16	8,338	580 576	0,63	naftalen-1,2,3,4,5,6,7,8-D8	84 %
17	9,009	18 680 780	20,11	1,2-diacetin	93 %

18	9,968	491 508 058	529,12	triacetin	84 %
19	9,968	221 562	0,24	nikotin	84 %
20	11,267	192 496	0,21	δ-dekalakton	96 %
21	11,624	2 976 695	3,20	2,2'-bipyridin (isonikotein)	96 %
22	11,881	790 892	0,85	undekan-4-olid	93 %
23	12,742	10 528 434	11,33	3,5,5-trimetyl-4-(3-oxobutyl)cyclohex-2-en-1-on	92 %
24	12,946	2 785 306	3,00	blumenol C	90 %
25	14,804	3 953 808	4,26	skopoletin	92 %
26	16,512	2 895 192	3,12	acetyltributylcitrát	91 %
27	16,583	3 518 784	3,79	isocembrol	87 %

Tabulka 13 – Výsledek analýzy organických látek ve zředovací vodě

	Retenční čas [min]	A [-]	c [µg/L]	Identifikovaná látka	Shoda se spektrem knihovny
1	3,237	6 360 593	4,75	toluen	97 %
2	3,731	198 749	0,15	hexan-2-ol	88 %
3	8,341	557 773	0,42	naftalen-1,2,3,4,5,6,7,8-D8	84 %

Tabulka 14 – Výsledek emisní spektrální analýzy pro výluhy o koncentraci 60 ks/L

Kov	Vlnová délka	c [$\mu\text{g}/\text{ECN}\cdot\text{L}$]	c [$\mu\text{g}/\text{CN}\cdot\text{L}$]
Ag	328,068	< 0,33	< 0,33
Al	167,078	21,67	3,50
As	189,042	< 0,83	< 0,83
B	208,959	3,50	1,83
Ba	233,527	1,33	0,62
Be	234,861	< 0,02	< 0,02
Bi	223,061	< 0,83	< 0,83
Ca	315,887	3166,67	2333,33
Cd	214,438	< 0,05	< 0,05
Co	228,616	< 0,33	< 0,33
Cr	267,716	< 0,33	< 0,33
Cu	327,396	1,27	0,90
Fe	259,941	5,33	4,50
K	766,491	3333,33	2500,00
Li	670,780	4,17	2,83
Mg	279,553	1016,67	466,67
Mn	257,611	13,50	7,33
Mo	202,095	< 0,33	< 0,33
Na	589,592	516,67	125,00
Ni	232,003	0,40	< 0,33
Pb	220,353	< 0,83	< 0,83
Pd	340,458	< 0,83	< 0,83
Sb	206,833	< 0,83	< 0,83
Se	196,090	< 0,83	< 0,83
Sn	189,991	< 0,83	< 0,83
Sr	407,771	10,00	5,33
Ti	334,187	< 0,33	< 0,33
Tl	190,864	< 0,83	< 0,83
V	292,402	< 0,33	< 0,33
Zn	213,856	2,50	2,00

Udávané limitní koncentrace jsou ve všech případech vyšší než mez stanovitelnosti.

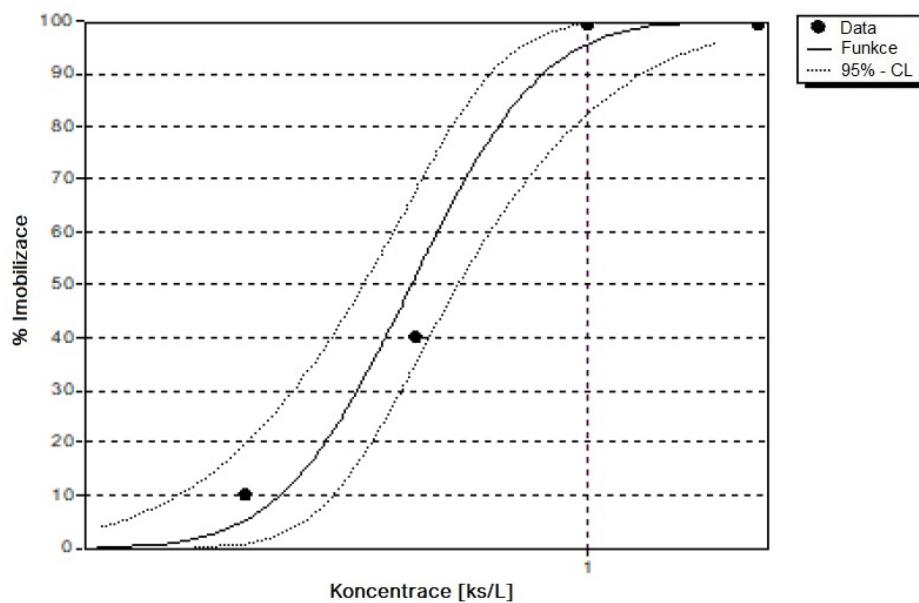
Tabulka 15 – Výsledky stanovení CHSK ve výluzech

Koncentrace výluhu [ks/L]	CHSK _{Cr} [mg/L O ₂]
2 CN	111
2 ECN	136
5 CN	484
5 ECN	500
2 CN po oxidaci kalem	291
2 ECN po oxidaci kalem	316

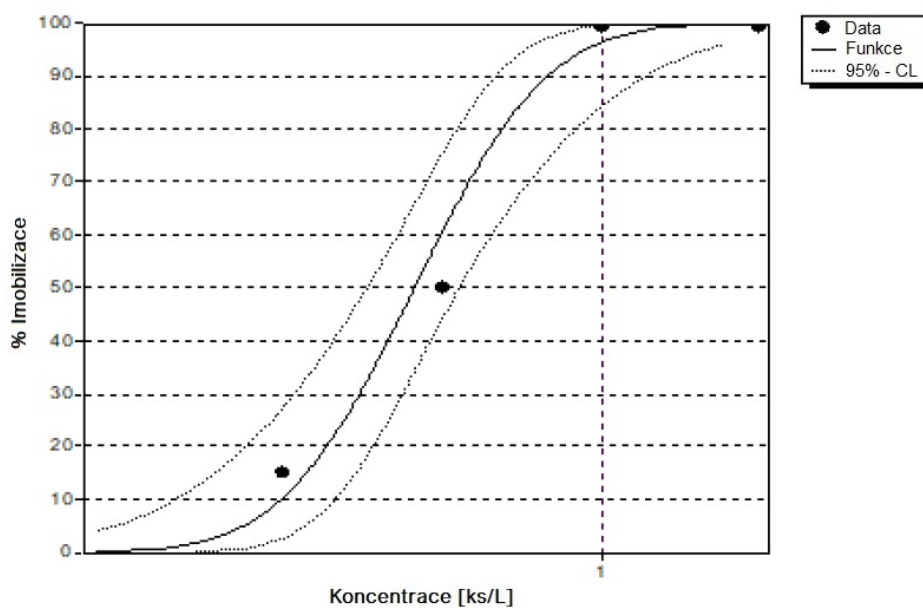
2.3.5 Biologické čištění výluhů z nedopalků

Na závěr byl proveden i test biologického čištění výluhů z nedopalků, jehož cílem testu bylo sledovat vliv tohoto procesu na toxicitu výluhu pro *Daphnia magna*. Během testu tedy nebyl sledován vliv na aktivovaný kal (vzhledem k výsledkům předchozího testu lze předpokládat, že by žádný toxický efekt ani nebylo možné sledovat), ale pouze následný efekt na dafnie. Data byla zaznamenávána do tabulek uvedených v Příloze G a H. Následně byla data, stejně jako v případě testu toxicity neupravených výluhů z nedopalků, analyzována v programu ToxRat pro EC50 ve 24 a 48-hodinovém působení roztoků.

Závislosti získané pro test na biologicky čištěném výluhu z cigaretových nedopalků byly znázorněny v Grafu 17 a 18. V grafech je stejně jako v případě vyhodnocení akutní toxicity neupraveného výluhu hlavní funkce znázorněna plnou čarou, 95% intervaly spolehlivosti přerušovanými křivkami po obou stranách hlavní funkce a body představují hodnoty získané v daných koncentracích.



Graf 17 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci ošetřeného výluhu z CN po 24 hodinách



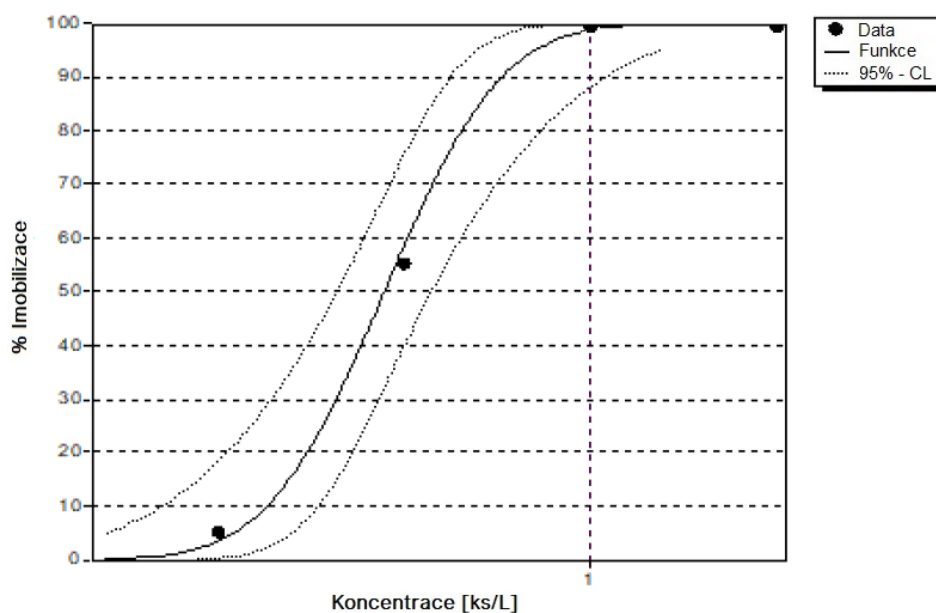
Graf 18 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci ošetřeného výluhu z CN po 48 hodinách

Ze získaných závislostí je zřejmé, že toxicita tohoto výluhu se projevila zejména v prvních 24 hodinách, po 48 již nedošlo k velkým změnám. Získané hodnoty EC50 byly:

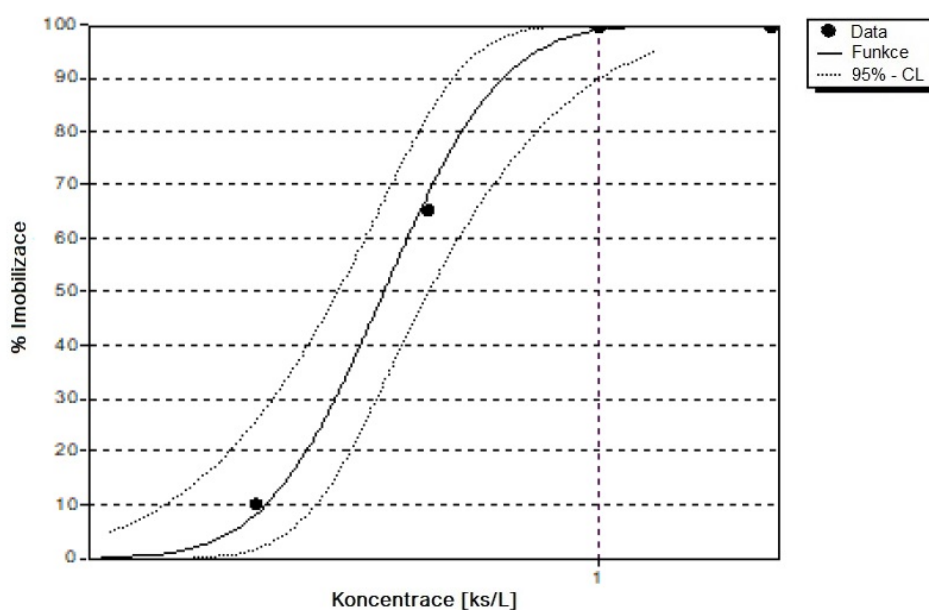
24 hodin: EC50 = 0,49 CN ks/L

48 hodin: EC50 = 0,44 CN ks/L.

Pro ošetřený výluh z ECN zobrazují získané závislosti Grafy 19 a 20.



Graf 19 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci ošetřeného výluhu z ECN po 24 hodinách



Graf 20 – Závislost imobilizace *Daphnia magna* na koncentraci ošetřeného výluhu z ECN po 48 hodinách

Pozorovaná toxicita tohoto výluhu byla opět velmi podobná jako v případě výluhu z klasických cigaret. Hodnoty EC50 vycházely:

24 hodin: EC50 = 0,46 ECN ks/L

48 hodin: EC50 = 0,42 ECN ks/L.

Po ošetření výluhů aktivovaným kalem bylo možné sledovat změny jak v toxickém působení na testované organismy, tak i odlišné vlastnosti roztoků. Ač, vzhledem k zjevné přetrvávající toxicitě, škodliviny nebyly z roztoků zcela odstraněny, dříve pozorované lepivé vlastnosti roztoku se již po úpravě neprojevovaly. Uhynulé dafnie měly na schránkách pouze kolonie bakterií, jejich tykadla ani končetiny ale nevykazovaly známky slepení ke schránce (Obrázky 61–68). Toxické působení tedy po rozkladu látek aktivovaným kalem muselo být způsobeno pouze chemickým složením roztoků, případně působením bakterií zbylých z aktivovaného kalu ve výluzích.



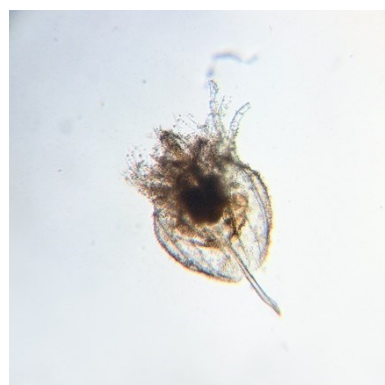
Obrázek 61 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 1/4 ks/L [154]



Obrázek 62 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 1/2 ks/L [154]



Obrázek 63 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 1 ks/L [154]



Obrázek 64 – Dafnie z ošetřeného výluhu z CN o koncentraci 2 ks/L [154]



Obrázek 65 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 1/4 ks/L [154]



Obrázek 66 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 1/2 ks/L [154]



Obrázek 67 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 1 ks/L [154]



Obrázek 68 – Dafnie z ošetřeného výluhu z ECN o koncentraci 2 ks/L [154]

3 DISKUSE

Tři provedené testy akutní toxicity ukázaly velké rozdíly (až řádové) v toxicitě, v závislosti na typu testovaného organismu. Ačkoli byl test provedením ekvivalentní testu akutní imobilizace, který proběhl v mé bakalářské práci [15] poskytl překvapivě odlišné výsledky (v případě bakalářské práce vycházela toxicita nedopalků nižší, zejména v případě pozorování po 24 hodinách). Tento jev mohl být ovšem způsoben testováním lépe zakonzervovaných nedopalků – v předchozí práci byly testovány nedopalky z venkovního prostředí, které mohly být vystaveny působení povětrnostních vlivů, čímž se mohl snížit obsah organických látek.

Při srovnání toxicity elektronických a klasických nedopalků nebyly pozorovány výrazné rozdíly. Testy toxicity poskytly téměř identické hodnoty v případě testu na *Daphnia magna* i na *Desmodesmus subspicatus*. Výrazný rozdíl mezi produkty ukázal pouze test na aktivovaném kalu, kdy byl výluh z ECN pro kal zřejmě zdrojem živin.

Analýza složení výluhů po chemické stránce neposkytla stejné výsledky jako měly publikované studie. Z látek, jejichž obsah byl stanoven v uvedených studiích byl detekován pouze 2,2'-bipyridin a nikotin. Detekované látky se nejvíce shodovaly se seznamem, který uvádí Richardot et al. [26]. Ani u jednoho z nich nebyla stanovena stejná koncentrace jako v literatuře, přičemž v koncentraci nikotinu byl opravdu výrazný rozdíl – v případě této práce byla koncentrace 0,03-0,24 µg na nedopalek a litr (v závislosti na typu produktu), zatímco ve studii Ricardot et al. byla více než 3 000 µg/CN·L, tedy zhruba 10 000krát až 100 000krát více.

Ani stanovení kovů se výsledky nepřibližuje žádné z uvedených studií. Zajímavým údajem byl toluen a hexanol stanovený ve zředřovací vodě použité pro přípravu výluhu z CN i ECN v testu na řase. Vzhledem k tomu, že toluen ani hexanol nejsou používány pro vymývání skla ani nejsou chemikáliemi, které by byly v laboratoři běžně používány pro přípravu vzorků, je pravděpodobné, že byl jejich obsah stanoven vlivem znečištění chromatografické kolony.

Neočekávaný byl zejména výsledek testu na biologicky ošetřeném výluhu z obou typů nedopalků. Testy pomocí $CHSK_{Cr}$ ukázaly, že došlo zhruba k 40 % oxidaci látek původně přítomných ve výluzích, měla se tedy snížit i toxicita (zejména pokud by ji způsoboval nikotin, který je bakteriemi dobře odbouratelný). Tento proces ale zřejmě nestačil k odbourání toxického efektu nedopalků pro dafnie, naopak, v krátkém časovém horizontu ho v případě ECN oproti testu na stejné efektivní koncentraci nedopalků na litr ještě zhoršil.

Lze tedy předpokládat, že některé vznikající meziprodukty byly pro dafnie toxičtější než látky v původním výluhu. Vzhledem k časovému průběhu toxicity to byly pravděpodobně spíše látky snadno těkající, protože se po 24 hodinách již jejich efekt neprojevoval. $CHSK_{Cr}$ výluhů s teoreticky srovnatelnou efektivní koncentrací, bylo vyšší v případě výluhů podrobených působení aktivovaného kalu. Tento rozdíl mohl být způsoben nespotřebovaným zbytkem syntetické odpadní vody ve výluhu, která do něj byla přidána pro aktivovaný kal.

ZÁVĚR

Vliv tabákových výrobků na životní prostředí je beze sporu značný, a prozatím málo systematicky řešený. V této práci byly ilustrovány jeho příčiny od vysoké spotřeby vody a hnojiv tabákové rostliny až po finální zpracování produktů. Práce se také snaží nahlédnout za konec životnosti tabákových výrobků, ať už klasických nebo moderních a poukázat na nezbytnost systematického řešení tohoto typu odpadu. Toho je zapotřebí zejména kvůli objemu jeho roční produkce, pomalé přírodní degradaci a kvůli možnosti potenciálně zajímavých využití této suroviny.

V experimentální části byla posléze analyzována toxicita výluhu z cigaretových nedopalků i z náplní do HNB tabákových produktů pro zástupce sladkovodního bezobratlého živočicha *Daphnia magna*, pro sladkovodní řasu *Desmodesmus subspicatus* a pro aktivovaný kal. Výsledky testů toxicity indikují, že čistírenský kal není výluhem z cigaretových nedopalků ani z tabákových náplní ohrožen ani při koncentraci 80 nedopalků na litr. Pro *Desmodesmus subspicatus* a *Daphnia magna* byla stanovena hodnota ErC50, respektive EC50 pro oba typy výluhů. Byl proveden i test čištění výluhu z nedopalků aktivovaným kalem způsobem, který napodobuje procesy probíhající na čistírnách odpadních vod. Ačkoli se procesem snížil obsah organických látek ve výluhu, jeho toxicita pro *Daphnia magna* nebyla výrazně zmírněna.

Na základě výsledků této práce lze říci, že běžné procesy na čistírně odpadních vod nejspíše nestačí k dekontaminaci výluhu z cigaretových nedopalků. K objasnění příčiny pozorované toxicity upraveného výluhu a optimalizaci procesů tak, aby byl vyčištěný výluh pro testované organismy netoxický je ale nezbytný další výzkum.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Výroční finanční zpráva 2023* [online]. Kutná Hora: Philip Morris ČR, 2024 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=428734>
- [2] *Výroční zpráva, účetní závěrka a zpráva auditora za rok 2023* [online]. Praha: British American Tobacco (Czech Republic), 2024 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=704552>
- [3] *Zápis z řádné valné hromady: Příloha I/ Výroční zpráva společnosti za rok 2023 spolu se všemi přílohami* [online]. Praha: JT International spol. s r.o., 2024 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=425551>
- [4] *WHO global report on trends in prevalence of tobacco use 2000–2030* [online]. Geneva: World Health Organization, 2024, c2025, 135 s. [cit. 2025-04-14]. ISBN 978-92-4-008828-3. Dostupné z: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240088283>
- [5] STATISTA INC. Tobacco. *Statista* [online]. 2007, c2025 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.statista.com/markets/415/topic/472/tobacco/>
- [6] TRENDIA, Eloïse. STATISTA INC. Global tobacco market: leading companies 2023, based on market value. *Statista* [online]. 2024 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/942132/leading-10-tobacco-companies-worldwide-based-on-net-sales/>
- [7] *Tobacco Tactics* [online]. Bath: University of Bath, 2012 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.tobaccotactics.org/>
- [8] PHILIP MORRIS PRODUCTS S.A. Tobacco economics. *PMI - Philip Morris International* [online]. [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: www.pmi.com/tobacco-economics
- [9] Tobacco production: FAO. *Our World in Data* [online]. United Kingdom: Global Change Data Lab, 2023, March 17, 2025 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/tobacco-production>. Část publikace: Hannah Ritchie, Pablo Rosado a Max Roser (2023) - „Zemědělská výroba“. Údaje převzaty z Organizace pro výživu a zemědělství Organizace spojených národů. Převzato z <https://ourworldindata.org/grapher/tobacco-production>.
- [10] *Tobacco Sector Employment Statistical Update* [online]. Ženeva: International Labour Organization, 2014, 112 s. [cit. 2025-04-14]. ILO Cataloguing in Publication Data: 978-92-2-126609-9. Dostupné z: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/publication/wcms_329284.pdf
- [11] SHAHBANDEH, M. Area of harvested tobacco worldwide 1980-2023. *Statista* [online]. 2025 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/261192/global-area-of-harvested-tobacco-since-1980/>

- [12] ZAFEIRIDOU, Maria, Nicholas S HOPKINSON a Nikolaos VOULVOULIS. Cigarette Smoking: An Assessment of Tobacco's Global Environmental Footprint Across Its Entire Supply Chain. *Environmental Science & Technology* [online]. 2018, 2018-08-07, **52**(15), 8087-8094 [cit. 2025-04-14]. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.8b01533
- [13] *Tobacco and its environmental impact: an overview* [online]. Ženeva: World Health Organization, 2017, 56 s. [cit. 2025-04-14]. ISBN 978-92-4-151249-7. Dostupné z: <https://escholarship.org/content/qt8tp3r5rc/qt8tp3r5rc.pdf>
- [14] KRÁLÍKOVÁ, Eva. DALŠÍ DŮVOD, PROČ PŘESTAT KOUŘIT: ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ. *Hygiena* [online]. 2022, **67**(2), 61-63 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: doi:10.21101/hygiena.a1807
- [15] SKALOVÁ, Martina. *Studium toxicity cigaretových nedopalků*. Pardubice, 2023, 54 s. Dostupné také z: <https://theses.cz/id/hmiv5q/>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Jaroslava Kořínková.
- [16] BOETTCHER, Ricardo, Ana Letícia ZAPPE, Priscila Fernandes de OLIVEIRA, Ênio Leandro MACHADO, Adriane de Assis LAWISCH-RODRIGUEZ a Diosnel Antonio RODRIGUEZ-LOPEZ. Carbon Footprint of agricultural production and processing of tobacco (*Nicotiana tabacum*) in southern Brazil. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, **18**(100625), 1-9 [cit. 2025-04-14]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.100625
- [17] STATISTA INC. World consumption of cigarettes 1880-2020. *Statista* [online]. 2007 [cit. 2025-04-21]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/279577/global-consumption-of-cigarettes-since-1880/>
- [18] WEBLER, Thomas a Karin JAKUBOWSKI. Attitudes, Beliefs, and Behaviors about Cigarette-Butt Littering among College-Aged Adults in the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2022, **19**(13), 1-18 [cit. 2025-04-14]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph19138085
- [19] VANAPALLI, Kumar Raja, Hari Bhakta SHARMA, Shaivya ANAND, Ved Prakash RANJAN, Hemant SINGH, Brajesh K. DUBEY a Bijayananda MOHANTY. Cigarettes butt littering: The story of the world's most littered item from the perspective of pollution, remedial actions, and policy measures. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2023, **453**(131387), 1-17 [cit. 2025-04-14]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2023.131387
- [20] STEWART, Ainsley, Allison SCHUTES, Caitlin BANIGAN, et al., WELLER, Sarah, ed. *2024 International Coastal Cleanup Report #SeaTheChange* [online]. Washington, DC: Ocean Conservancy, 2024, c2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2024/09/ICCAAnnualReport2024_Digital.pdf

- [21] SLAUGHTER, E., R. M. GERSBERG, K. WATANABE, J. RUDOLPH, C. STRANSKY a T. E. NOVOTNY. Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tobacco Control* [online]. 2011, 2011-04-18, **20**(Supplement 1), i25-i29 [cit. 2023-05-16]. ISSN 0964-4563. Dostupné z: doi:10.1136/tc.2010.040170
- [22] LI, Yupeng a Stephen S. HECHT. Carcinogenic components of tobacco and tobacco smoke: A 2022 update. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2022, **165**(113179), 1-40 [cit. 2025-04-14]. ISSN 02786915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2022.113179
- [23] MICEVSKA, T., M. St. J. WARNE, F. PABLO a R. PATRA. Variation in, and Causes of, Toxicity of Cigarette Butts to a Cladoceran and Microtox. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. 2006, **50**(2), 205-212 [cit. 2023-05-16]. ISSN 0090-4341. Dostupné z: doi:10.1007/s00244-004-0132-y
- [24] DOBARADARAN, Sina, Farshid SOLEIMANI, Razegheh AKHBARIZADEH, Torsten C. SCHMIDT, Maryam MARZBAN a Reza BASIRIANJAHROMI. Environmental fate of cigarette butts and their toxicity in aquatic organisms: A comprehensive systematic review. *Environmental Research* [online]. 2021, **195**(110881), 1-10 [cit. 2025-04-23]. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2021.110881
- [25] PICCARDO, Manuela, Francesca PROVENZA, Serena ANSELMI, Andrea BROCCOLI, Antonio TERLIZZI a Monia RENZI. Use of Sediqualsoft® to Determine the Toxicity of Cigarette Butts to Marine Species: A Weather Simulation Test. *Journal of Marine Science and Engineering* [online]. 2021, **9**(7), 1-16 [cit. 2025-04-23]. ISSN 2077-1312. Dostupné z: doi:10.3390/jmse9070734
- [26] RICHARDOT, William H., Lenard YABES, Hung-Hsu WEI, et al. Leached Compounds from Smoked Cigarettes and Their Potential for Bioaccumulation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Chemical Research in Toxicology* [online]. 2023, 2023-11-20, **36**(11), 1703-1710 [cit. 2025-04-19]. ISSN 0893-228X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.chemrestox.3c00167
- [27] SANTOS-ECHEANDÍA, Juan, Aurore ZÉLER, Jesús GAGO a Camille LACROIX. The role of cigarette butts as vectors of metals in the marine environment: Could it cause bioaccumulation in oysters? *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2021, **416**(125816), 1-10 [cit. 2025-04-23]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125816
- [28] SELMAR, Dirk, Alzahraa RADWAN, Neama ABDALLA, et al. Uptake of nicotine from discarded cigarette butts – A so far unconsidered path of contamination of plant-derived commodities. *Environmental Pollution* [online]. 2018, **238**, 972-976 [cit. 2025-04-23]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2018.01.113
- [29] BOOTS, Bas, Dannielle S. GREEN, Amy C.M. WRIGHT, Brigitta OLAH-KOVACS a Louise TOVEY. Ecotoxicological effects of leachate from e-cigarettes and e-liquid on the performance of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Environmental Pollution*

- [online]. 2024, **348**(123888), 1-9 [cit. 2025-04-23]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2024.123888
- [30] GREEN, Dannielle S., Andrew D.W. TONGUE a Bas BOOTS. The ecological impacts of discarded cigarette butts. *Trends in Ecology & Evolution* [online]. 2022, **37**(2), 183-192 [cit. 2025-04-23]. ISSN 01695347. Dostupné z: doi:10.1016/j.tree.2021.10.001
- [31] ARAÚJO, Maria Christina B. a Monica F. COSTA. A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. *Environmental Research* [online]. 2019, **172**(1), 137-149 [cit. 2023-05-16]. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2019.02.005
- [32] BELZAGUI, Francisco, Valentina BUSCIO, Carmen GUTIÉRREZ-BOUZÁN a Mercedes VILASECA. Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **762**(144165), 1-8 [cit. 2025-04-14]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144165
- [33] ČTK. Nedbalost při kouření ročně způsobí 800 požárů. *Deník.cz* [online]. 2011, 2011-12-11 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: https://www.denik.cz/z_domova/nedbalost-pri-koureni-rocne-z20111118.html
- [34] LEISTIKOW, Bruce N., Daniel C. MARTIN a Christina E. MILANO. Fire Injuries, Disasters, and Costs from Cigarettes and Cigarette Lights: A Global Overview. *Preventive Medicine* [online]. 2000, **31**(2), 91-99 [cit. 2025-04-20]. ISSN 00917435. Dostupné z: doi:10.1006/pmed.2000.0680
- [35] Integrated Report 2024. PHILIP MORRIS INTERNATIONAL. *PMI: Sustainability* [online]. [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: www.pmi.com/sustainability/reporting-on-sustainability
- [36] Climate. BRITISH AMERICAN TOBACCO P.L.C. *BAT* [online]. London [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.bat.com/sustainability-and-esg/climate>
- [37] JT INTERNATIONAL. Sustainability at JTI. *JTI* [online]. Ženeva [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.jti.com/sustainability>
- [38] IMPERIAL BRANDS PLC. Our ESG performance. *Imperial Brands plc* [online]. Bristol, 2025 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.imperialbrandsplc.com/people-and-planet/our-esg-performance>
- [39] TI, Jinsong, Yu ZHENG, Weidong DUAN, et al. Carbon footprint of tobacco production in China through Life-cycle-assessment: Regional compositions, spatiotemporal changes and driving factors. *Ecological Indicators* [online]. 2024, **165**(112216), 1-13 [cit. 2025-04-14]. ISSN 1470160X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolind.2024.112216
- [40] O'CONNOR, Richard, Liane M. SCHNELLER, Nicholas J. FELICIONE, Reinskje TALHOUT, Maciej Lukasz GONIEWICZ a David L. ASHLEY. Evolution of tobacco

- products: recent history and future directions. *Tobacco Control* [online]. 2022, **32**(2), 175-185 [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: doi:10.1136/tobaccocontrol-2021-056544
- [41] PHILIP MORRIS INTERNATIONAL. PMI Publications. *PMI Science* [online]. [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.pmiscience.com/en/research/publications-library/>
- [42] BRITISH AMERICAN TOBACCO. Publications and Conferences. *BAT Scientific Research* [online]. c2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.bat-science.com/publications>
- [43] YAYAN, Josef, Karl-Josef FRANKE, Christian BIANCOSINO a Kurt RASCHE. Comparative systematic review on the safety of e-cigarettes and conventional cigarettes. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2024, **185**(114507), 1-6 [cit. 2025-04-17]. ISSN 02786915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2024.114507
- [44] PHILIP MORRIS ČR. Naše vize. PHILIP MORRIS INTERNATIONAL. *Philip Morris ČR a.s* [online]. [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: www.pmi.com/markets/czech-republic/cs/o-nas/our-vision
- [45] *Cíle a strategie společnosti BAT* [online]. Praha [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.bat.com/>
- [46] LOESCHE, Dyfed. Vaping has Picked up Worldwide. STATISTA. *Statista Daily Data* [online]. 2017-03-31 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.statista.com/chart/9607/sales-electronic-cigarettes-dollar-sales-worldwide>
- [47] E-Cigarettes to Become \$20.8B Worth Industry in 2021, a 10% Jump YoY. *Western Grocer* [online]. 2021 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://westerngrocer.com/e-cigarettes-become-20-8b-worth-industry-2021-10-jump-yoy/>
- [48] HEXA RESEARCH, INC. E-cigarette Market Analysis By Product (Disposable, Rechargeable, Modular), And Segment Forecasts, 2014 – 2024. *Electronic Cigarette Industry Report* [online]. 2017 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.hexaresearch.com/research-report/e-cigarette-market>
- [49] BIANCO, Eduardo, Andrii SKIPALSKYI, Fastone GOMA, et al. E-Cigarettes: A New Threat to Cardiovascular Health – A World Heart Federation Policy Brief. *Global Heart* [online]. 2021, **16**(1), 1-16 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: doi:10.5334/gh.1076
- [50] BESARATINIA, Ahmad a Stella TOMMASI. Vaping: A growing global health concern. *EClinicalMedicine* [online]. 2019, **17**(100208), 1-2 [cit. 2025-04-17]. ISSN 25895370. Dostupné z: doi:10.1016/j.eclim.2019.10.019
- [51] BERG, Carla J., Albert MELENA, Friedner D. WITTMAN, Tomas ROBLES a Lisa HENRIKSEN. The Reshaping of the E-Cigarette Retail Environment: Its Evolution and Public Health Concerns. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2022, **19**(14), 1-13 [cit. 2025-04-17]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph19148518

- [52] E-Cigarette Market Size, Share Global Analysis Report, 2022 – 2028. *Facts and Factors* [online]. 2024, c2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.fnfresearch.com/e-cigarette-market>
- [53] P&S Intelligence. E-Cigarette Sales Value To Surpass USD 38,631.1 Million by 2030, Globally, Says P. CISION US INC. *PR Newswire* [online]. 2023, 2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.prnewswire.com/news-releases/e-cigarette-sales-value-to-surpass-usd-38-631-1-million-by-2030--globally-says-ps-intelligence-301722266.html>
- [54] BUSINESS WIRE, INC. \$23.15 Billion E-Cigarette Market Outlook. *Businesswire* [online]. [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20241023146777/en/%2423.15-Billion-E-Cigarette-Market-Outlook-Forecast-2024-2029-with-Altria-Group-British-American-Tobacco-BAT-Imperial-Brands-and-Japan-Tobacco-International-Dominating---ResearchAndMarkets.com>
- [55] *GlobeNewswire News Room* [online]. [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.globenewswire.com/>
- [56] RESEARCH AND MARKETS. E-Cigarette Industry Report 2025: Availability of Diverse Flavor Options, Online Retail Growth, and Customizable Nicotine Levels Driving Market Revenues to Reach \$41.6 Billion by 2033. *GlobeNewswire News Room* [online]. [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/02/25/3031750/28124/en/E-Cigarette-Industry-Report-2025-Availability-of-Diverse-Flavor-Options-Online-Retail-Growth-and-Customizable-Nicotine-Levels-Driving-Market-Revenues-to-Rreach-41-6-Billion-by-2033.html>
- [57] TBRC THE BUSINESS RESEARCH PRIVATE LTD. E-Cigarettes Global Market Report 2025 – By Product Type (Disposable, Rechargeable, Modular), By Composition Used (Tobacco, Flavors, Nicotine-free), By Distribution Channel (Specialist E-Cig Shops, Online, Supermarkets, Tobacconist, Other Distribution Channels) – Market Size, Trends, And Global Forecast 2025-2034. *E-Cigarettes Market Outlook And Top Players 2034* [online]. c2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/e-cigarettes-global-market-report>
- [58] SLEIGHT, VJ. A Brief History of the Electronic Cigarette. *Journal of Lung, Pulmonary & Respiratory Research* [online]. 2016, 2016-09-14, 3(5), 135-136 [cit. 2025-04-16]. ISSN 23760060. Dostupné z: doi:10.15406/jlpr.2016.03.00097
- [59] *SMOKELESS NON-TOBACCO CIGARETTE* [online]. GILBERT, Herbert A. [cit. 20205-04-160]. United States od America. US27362463A. Přihlášeno 1963-04-17. Uděleno 1965-08-17. Dostupné z: <https://www.freepatentsonline.com/3200819.pdf>
- [60] *SMOKING DEVICE* [online]. BARTOLOMEO, Frank. [cit. 2026-04-16]. United States od America. US56687956A. Přihlášeno 1956-02-21. Uděleno 1958-11-18. Dostupné z: <https://www.freepatentsonline.com/2860638.pdf>

- [61] SONDEREGGER, Kurt. A Brief History of E-Cig / Vape Design and Evolution. *Cafe Racer Craft E-Liquid* [online]. 2015 [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://www.caferacervape.com/blogs/news/36962049-a-brief-history-of-e-cig-vape-design-and-evolution>
- [62] BALDASSARRI, Stephen R. Electronic Cigarettes: Past, Present, and Future. *Clinics in Chest Medicine* [online]. 2020, **41**(4), 797-807 [cit. 2025-04-17]. ISSN 02725231. Dostupné z: doi:10.1016/j.ccm.2020.08.018
- [63] DINARDO, Perry a Ellen S. ROME. Vaping: The new wave of nicotine addiction. *Cleveland Clinic Journal of Medicine* [online]. 2019, 2019-12-01, **86**(12), 789-798 [cit. 2025-04-16]. ISSN 0891-1150. Dostupné z: doi:10.3949/ccjm.86a.19118
- [64] A history of Heat not Burn. *Heat Not Burn* [online]. 2016, 2016-01-16 [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://heatnotburn.co.uk/a-history-of-heat-not-burn/>
- [65] PULZE. IQOS: Je elektronická cigareta a jak funguje? *Pulze.com* [online]. c2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.pulze.com/blog/clanky-alternativy-k-tabaku/je-iqos-elektronicka-cigareta>
- [66] *NICOTINE SALT FORMULATIONS FOR AEROSOL DEVICES AND METHODS THEREOF* [online]. BOWEN, Adam, XING, Chenue. [cit. 2025-04-16]. US 10952468 B2. United States of America. US 20160044967 A1. Přihlášeno 2015-10-28. Uděleno 2016-02-18. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US20160044967A1/en>
- [67] STAHR, Alyssa a John CASTLE. New Product: PAX LABS Introduces E-CIGARETTE JUUL. *VAPE News | Magazine • Digital • Social* [online]. 2010, 2015-06-01 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20190715061437/https://vapenews.com/vape-news/new-product-pax-labs-introduces-e-cigarette-juul/>
- [68] FADUS, Matthew C., Tracy T. SMITH a Lindsay M. SQUEGLIA. The rise of e-cigarettes, pod mod devices, and JUUL among youth: Factors influencing use, health implications, and downstream effects. *Drug and Alcohol Dependence* [online]. 2019, **201**, 85-93 [cit. 2025-04-17]. ISSN 03768716. Dostupné z: doi:10.1016/j.drugalcdep.2019.04.011
- [69] GREENHALGH, Elizabeth, Victoria Michelle SCOLLO, Victoria WINSTANLEY a Margaret WINSTANLEY. *Tobacco in Australia: Facts and Issues* [online]. 4th. Melbourne: Cancer Council Victoria, 2023, c2025 [cit. 2025-04-30]. ISBN 978-0-947283-76-6. Dostupné z: <https://www.tobaccoinaustralia.org.au/>
- [70] Carrie. NEW VAPING. The Evolution of Disposable Vapes: From Invention to Popularity. *NewVaping* [online]. c2025 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://www.newvaping.com/blogs/guide/the-evolution-of-disposable-vapes>
- [71] ECIGVELKOOBCHOD. ELF BAR 600 ZERO – Jednorázová E-cigareta Bez Nikotinu. *Ecig Velkoobchod* [online]. C2023 [cit. 2025-04-17]. Dostupné z:

<https://ecig-velkoobchod.cz/product/elf-bar-600-zero-jednorazova-e-cigareta-bez-nikotinu/>

- [72] CONSTANTIN, Ancuta-Alina a Florin-Dumitru MIHĂLȚAN. E-Cigarette and Environment. *Environments* [online]. 2025, **12**(3), 1-13 [cit. 2025-04-18]. ISSN 2076-3298. Dostupné z: doi:10.3390/environments12030072
- [73] MARCHAM, Cheryl L. a John P. SPRINGSTON. Electronic cigarettes in the indoor environment. *Reviews on Environmental Health* [online]. 2019, 2019-06-26, **34**(2), 105-124 [cit. 2025-04-18]. ISSN 2191-0308. Dostupné z: doi:10.1515/reveh-2019-0012
- [74] MCAULEY, T. R., P. K. HOPKE, J. ZHAO a S. BABAIAN. Comparison of the effects of e-cigarette vapor and cigarette smoke on indoor air quality. *Inhalation Toxicology* [online]. 2012, 2012-10-04, **24**(12), 850-857 [cit. 2025-04-18]. ISSN 0895-8378. Dostupné z: doi:10.3109/08958378.2012.724728
- [75] REID, Hamish T., Arthur FORDHAM, Lara RASHA, Mark BUCKWELL, Daniel J.L. BRETT, Rhodri JERVIS a Paul R. SHEARING. Up in smoke: Considerations for lithium-ion batteries in disposable e-cigarettes. *Joule* [online]. 2023, **7**(12), 2749-2759 [cit. 2025-04-18]. ISSN 25424351. Dostupné z: doi:10.1016/j.joule.2023.11.008
- [76] TURNER, Andrew, John W. SCOTT, Thomas BACKSHALL-KENNEDY a Maya C. DABROWSKI. Deconstructing contemporary disposable vapes: A material and elemental analysis. *Science of The Total Environment* [online]. 2024, **954**(176292), 1-9 [cit. 2025-04-18]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2024.176292
- [77] KOUTELA, Niki, Elena FERNÁNDEZ, Maria-Liliana SARU a Elefteria PSILLAKIS. A comprehensive study on the leaching of metals from heated tobacco sticks and cigarettes in water and natural waters. *Science of The Total Environment* [online]. 2020, **714**(2020), 1-11 [cit. 2025-04-10]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136700
- [78] CHANG, Hoshing. Research gaps related to the environmental impacts of electronic cigarettes. *Tobacco Control* [online]. 2014, 2014-04-14, **23**(suppl 2), ii54-ii58 [cit. 2025-04-18]. ISSN 0964-4563. Dostupné z: doi:10.1136/tobaccocontrol-2013-051480
- [79] JORDT, Sven-Eric. Synthetic nicotine has arrived. *Tobacco Control* [online]. 2023, 2023-03-17, **32**(e1), e113-e117 [cit. 2025-04-18]. ISSN 0964-4563. Dostupné z: doi:10.1136/tobaccocontrol-2021-056626
- [80] PHILIP MORRIS PRODUCTS S.A. Cirkulární programy. *Philip Morris ČR* [online]. [cit. 2025-04-18]. Dostupné z: www.pmi.com/markets/czech-republic/cs/udr%C5%BEitelnost/udr%C5%BEitelnost-produktu/cirkul%C3%A1rn%C3%AD-programy
- [81] BRITISH AMERICAN TOBACCO. Circularity. *BAT* [online]. [cit. 2025-04-18]. Dostupné z: <https://www.bat.com/sustainability-and-esg/circularity>

- [82] PARIDA, Sudesna, Santhosh PRABHU, Tarur Konikkaledom DINESH a Kamal Kumar TYAGI. A Comprehensive Study of Biodegradation of Cigarette Filters and Bidi Butts. *Contributions to Tobacco & Nicotine Research* [online]. 2022, 2022-11-01, **31**(3), 151-161 [cit. 2025-04-21]. ISSN 2719-9509. Dostupné z: doi:10.2478/cttr-2022-0016
- [83] BONANOMI, Giuliano, Giulia MAISTO, Anna DE MARCO, et al. The fate of cigarette butts in different environments: Decay rate, chemical changes and ecotoxicity revealed by a 5-years decomposition experiment. *Environmental Pollution* [online]. 2020, **261**(114108), 1-11 [cit. 2025-04-21]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2020.114108
- [84] KURMUS, Halenur a Abbas MOHAJERANI. The toxicity and valorization options of cigarette butts. *Waste Management* [online]. 2020, **104**(2020), 104-118 [cit. 2025-04-21]. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2020.01.011
- [85] ACARER ARAT, Seren. A review on cigarette butts: Environmental abundance, characterization, and toxic pollutants released into water from cigarette butts. *Science of The Total Environment* [online]. 2024, **928**(172327), 1-12 [cit. 2025-04-21]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2024.172327
- [86] TORKASHVAND, Javad, Kazem GODINI, Samira NOROUZI, Mitra GHOLAMI, Mojtaba YEGANEH a Mahdi FARZADKIA. Effect of cigarette butt on concentration of heavy metals in landfill leachate: health and ecological risk assessment. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* [online]. 2021, **19**(1), 483-490 [cit. 2025-04-21]. ISSN 2052-336X. Dostupné z: doi:10.1007/s40201-021-00621-0
- [87] VANAPALLI, Kumar Raja, Hari Bhakta SHARMA, Shaivya ANAND, Ved Prakash RANJAN, Hemant SINGH, Brajesh K. DUBEY a Bijayananda MOHANTY. Cigarettes butt littering: The story of the world's most littered item from the perspective of pollution, remedial actions, and policy measures. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2023, **453**(131387), 1-17 [cit. 2025-04-22]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2023.131387
- [88] CHOI, Okkyoung, Sae Eun HWANG, Hyojung PARK a Byoung-In SANG. Anaerobic Digestion of Cigarette Butts: Microbial Community Analysis and Energy Production Estimation. *Energies* [online]. 2021, **14**(24), 1-14 [cit. 2025-04-22]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en14248290
- [89] WANG, Wenliang, Min WANG, Jiale HUANG, et al. High efficiency pyrolysis of used cigarette filters for ester-rich bio-oil through microwave-assisted heating. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **257**(120596), 1-8 [cit. 2025-04-22]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.120596
- [90] KOOCHAKI, Chenani B., R. KHAJAVI, A. RASHIDI, N. MANSOURI a M. E. YAZDANSHENAS. The effect of pre-swelling on the characteristics of obtained activated carbon from cigarette butts fibers. *Biomass Conversion and Biorefinery*

- [online]. 2020, **10**(2), 227-236 [cit. 2025-04-22]. ISSN 2190-6815. Dostupné z: doi:10.1007/s13399-019-00429-x
- [91] MASOUDI SOLTANI, Salman, Sara KAZEMI YAZDI, Soraya HOSSEINI a Iman BAYESTIE. Lead removal from aqueous solution using non-modified and nitric acid-modified charred carbon from the pyrolysis of used cigarette filters. *Desalination and Water Treatment* [online]. 2015, **53**(1), 126-138 [cit. 2025-04-22]. ISSN 19443986. Dostupné z: doi:10.1080/19443994.2013.835751
- [92] GHOSHA, Tapas Kumar, Sourav SADHUKHANC, Dipak RANAD, Gunjan SARKARC, Chirantan DASE, Sanatan CHATTOPADHYAYE, Dipankar CHATTOPADHYAY a Mukut CHAKRABORTY. Treatment of recycled cigarette butts (man-made pollutants) to prepare electrically conducting material. *Journal of the Indian Chemical Society* [online]. 2017, **94**(8), 863-870 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/321192990_Treatment_of_recycled_cigarette_butts_man-made_pollutants_to_prepare_electrically_conducting_material
- [93] HOU, Hongying, Chengyi YU, Xianxi LIU, Yuan YAO, Zhipeng DAI a Dongdong LI. The effect of carbonization temperature of waste cigarette butts on Na-storage capacity of N-doped hard carbon anode. *SpringerLink* [online]. 2019, **73**, 1237–1246 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: doi:10.1007/s11696-018-00674-w
- [94] HUANG, Fenglin, Yunfei XU, Bin PENG, Yangfen SU, Feng JIANG, You-Lo HSIEH a Qufu WEI. Coaxial Electrospun Cellulose-Core Fluoropolymer-Shell Fibrous Membrane from Recycled Cigarette Filter as Separator for High Performance Lithium-Ion Battery. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* [online]. 2015, 2015-05-04, **3**(5), 932-940 [cit. 2025-04-22]. ISSN 2168-0485. Dostupné z: doi:10.1021/acssuschemeng.5b00032
- [95] BLANKENSHIP, L. Scott a Robert MOKAYA. Cigarette butt-derived carbons have ultra-high surface area and unprecedented hydrogen storage capacity. *Energy & Environmental Science* [online]. 2017, 2017-12-6, **10**(12), 2552-2562 [cit. 2025-04-22]. ISSN 1754-5692. Dostupné z: doi:10.1039/C7EE02616A
- [96] MONDAL, Naba Kumar, Amita HAJRA, Deep CHAKRABORTY, Shreya MEDDA, Uttiya DEY a Jayanta Kumar DATTA. Cigarette Butt Waste and Its Effective Utilization towards Larvicidal Activity of Mosquito. *International Journal of Scientific Research* [online]. 2014, **3**(1), 9-15 [cit. 2025-04-22]. Dostupné z: doi:10.12983/ijrsres-2015
- [97] DIENG, Hamady, Sudha RAJASAYGAR, Abu Hassan AHMAD, et al. Turning cigarette butt waste into an alternative control tool against an insecticide-resistant mosquito vector. *Acta Tropica* [online]. 2013, **128**(3), 584-590 [cit. 2025-04-22]. ISSN 0001706X. Dostupné z: doi:10.1016/j.actatropica.2013.08.013
- [98] MARINELLO, Samuele, Francesco LOLLI, Rita GAMBERINI a Bianca RIMINI. A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions. *Journal of Hazardous*

- Materials* [online]. 2020, **384**(121245), 1-20 [cit. 2025-04-23]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121245
- [99] ZHAO, Jun, Ningsheng ZHANG, Chengtun QU, Xinmin WU, Juantao ZHANG a Xiang ZHANG. Cigarette Butts and Their Application in Corrosion Inhibition for N80 Steel at 90 °C in a Hydrochloric Acid Solution. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [online]. 2010, 2010-04-21, **49**(8), 3986-3991 [cit. 2025-04-23]. ISSN 0888-5885. Dostupné z: doi:10.1021/ie100168s
- [100] VAHIDHABANU, S., B. RAMESHBABU, P. SURESH BABU a H. ABDUL RAHMAN. STUDY OF CIGARETTE BUTTS EXTRACT AS CORROSIVEINHIBITING AGENT IN J55 STEEL MATERIAL. *International Journal of Research in Engineering and Technology* [online]. 2014, 2014-01-25, **03**(01), 444-452 [cit. 2025-04-23]. ISSN 23217308. Dostupné z: doi:10.15623/ijret.2014.0301077
- [101] ŠUĆUROVIĆ, Verena, Nives VLADISLAVIĆ a Ivana Škugor RONČEVIĆ. Influence of Cigarette Butt Extract on the Suppression of Metal Corrosion. *Electrochem* [online]. 2024, **5**(4), 585-598 [cit. 2025-04-23]. ISSN 2673-3293. Dostupné z: doi:10.3390/electrochem5040038
- [102] TERRACYCLE®. Recycle the unrecyclable with TerraCycle®. *TerraCycle* [online]. 2001, c2025 [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.terracecycle.com/en-US>
- [103] KURMUS, Halenur a Abbas MOHAJERANI. Recycling of Cigarette Butts in Fired Clay Bricks: A New Laboratory Investigation. *Materials* [online]. 2020, **13**(3), 1-18 [cit. 2025-04-23]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma13030790
- [104] YUAN, Qibin, Abbas MOHAJERANI, Adrian KRISTOFORUS, Halenur KURMUS, Urmila CHOWDHURY, Dilan ROBERT, Biplob PRAMANIK a Phuong TRAN. Recycling Cigarette Butts in Ceramic Tiles. *Buildings* [online]. 2022, **12**(1), 1-13 [cit. 2025-04-23]. ISSN 2075-5309. Dostupné z: doi:10.3390/buildings12010017
- [105] RAHMAN, Md Tareq, Abbas MOHAJERANI a Filippo GIUSTOZZI. Possible use of cigarette butt fiber modified bitumen in stone mastic asphalt. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, **263**(120134), 1-11 [cit. 2025-04-23]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120134
- [106] KURMUS, Halenur a Abbas MOHAJERANI. Leachate Analysis of Heavy Metals in Cigarette Butts and Bricks Incorporated with Cigarette Butts. *Materials* [online]. 2020, **13**(12), 1-23 [cit. 2025-04-23]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma13122843
- [107] ERKMEN, Aylin Nur, Roland ULBER, Thomas JÜSTEL a Mirjam ALTENDORFNER. Towards sustainable recycling of critical metals from e-waste: Bioleaching and phytomining. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2025, **215**(108057), 1-19 [cit. 2025-04-23]. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2024.108057

- [108] LALROPUIA, Lalropuia, Jiri KUCERA, Wadih Y. RASSY, Eva PAKOSTOVA, Dominik SCHILD, Martin MANDL, Klemens KREMSER a Georg M. GUEBITZ. Metal recovery from spent lithium-ion batteries via two-step bioleaching using adapted chemolithotrophs from an acidic mine pit lake. *Frontiers in Microbiology* [online]. 2024, 2024-1-30, **15**, 1-12 [cit. 2025-04-23]. ISSN 1664-302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2024.1347072
- [109] GUO, Yunfei, Piergiorgio TATARANNI, Giulia TARSI, Filippo BALZANO, Jiasheng DAI a Cesare SANGIORGI. Recycling of waste E-cigarette butts as engineered pelletized fibres for sustainable stone mastic asphalt. *Journal of Road Engineering* [online]. 2024, **4**(4), 468-477 [cit. 2025-04-23]. ISSN 20970498. Dostupné z: doi:10.1016/j.jreng.2024.11.001
- [110] NOVOTNY, Thomas E. Environmental accountability for tobacco product waste. *Tobacco Control* [online]. 2020, **29**, 138-139 [cit. 2025-04-24]. ISSN 0964-4563. Dostupné z: doi:10.1136/tobaccocontrol-2019-055023
- [111] RODGMAN, Alan a Thomas A. PERFETTI. *The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke* [online]. 4th version. CRC Press, 2008 [cit. 2023-02-18]. ISBN 9780429146831. Dostupné z: doi:10.1201/9781420078848
- [112] PERFETTI, Thomas A. a Alan RODGMAN. The Complexity of Tobacco and Tobacco Smoke*. *Contributions to Tobacco & Nicotine Research* [online]. 2011, **24**(5), 215-232 [cit. 2025-04-18]. Dostupné z: doi:10.2478/cttr-2013-0902
- [113] FRESQUEZ, M. R., R. S. PAPPAS a C. H. WATSON. Establishment of Toxic Metal Reference Range in Tobacco from US Cigarettes. *Journal of Analytical Toxicology* [online]. 2013, 2013-05-13, **37**(5), 298-304 [cit. 2025-04-19]. ISSN 0146-4760. Dostupné z: doi:10.1093/jat/bkt021
- [114] SOLEIMANI, Farshid, Sina DOBARADARAN, Gabriel E. DE-LA-TORRE, Torsten C. SCHMIDT a Reza SAEEDI. Content of toxic components of cigarette, cigarette smoke vs cigarette butts: A comprehensive systematic review. *Science of The Total Environment* [online]. 2022, **813**(152667), 1-25 [cit. 2025-04-19]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.152667
- [115] SOLEIMANI, Farshid, Sina DOBARADARAN, Amir VAZIRIZADEH, et al. Chemical contents and toxicity of cigarette butts leachates in aquatic environment: A case study from the Persian Gulf region. *Chemosphere* [online]. 2023, **311**(137049), 1-9 [cit. 2023-05-17]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2022.137049
- [116] SOLOMOU, Nicoleta, Elena FERNÁNDEZ, Rachael SZAFNAUER a Eleftheria PSILLAKIS. Total and bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons in unused and operated heat-not-burn tobacco products and conventional cigarettes. *Chemosphere* [online]. 2023, **335**(139050), 1-8 [cit. 2025-04-19]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2023.139050

- [117] DOBARADARAN, Sina, Torsten C. SCHMIDT, Xenia A.M. MUTKE, Gabriel E. DE-LA-TORRE, Ursula TELGHEDER, Klaus KERPEN a Marcel PLONOWSKI. Aromatic amines leachate from cigarette butts into aquatic environments: Is there risk for water organisms? *Environmental Research* [online]. 2023, **216**(114717), 1-8 [cit. 2025-04-19]. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2022.114717
- [118] KOUTELA, Niki, Elena FERNÁNDEZ, Maria-Liliana SARU a Elefteria PSILLAKIS. A comprehensive study on the leaching of metals from heated tobacco sticks and cigarettes in water and natural waters. *Science of The Total Environment* [online]. 2020, **714**(136700), 1-11 [cit. 2025-04-19]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136700
- [119] MOERMAN, J W a G E POTTS. Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. *Tobacco Control* [online]. 2011, 2011-04-18, **20**(Suppl 1), i30-i35 [cit. 2025-04-19]. ISSN 0964-4563. Dostupné z: doi:10.1136/tc.2010.040196
- [120] *PubChem* [online]. 2004 [cit. 2025-04-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [121] ECHA. ECHA CHEM. *European Chemicals Agency* [online]. Helsinki: ECHA, 2024 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <https://chem.echa.europa.eu/>
- [122] TANI, Kazune, Haruna WATANABE, Mana NOGUCHI, Kyoshiro HIKI, Takahiro YAMAGISHI, Norihisa TATARAZAKO a Hiroshi YAMAMOTO. Toxicity assessment of typical polycyclic aromatic hydrocarbons to *Daphnia magna* and *Hyalella azteca* in water-only and sediment–water exposure systems. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **784**(147156), 1-10 [cit. 2025-04-20]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147156
- [123] LAMPI, Mark A., Jolanta GURSKA, Kristina I. C. MCDONALD, Fangli XIE, Xiaodong HUANG, D. George DIXON a Bruce M. GREENBERG. Photoinduced toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons to *Daphnia magna*: Ultraviolet-mediated effects and the toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbon photoproducts. *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. 2006, 2006-04-01, **25**(4), 1079-1087 [cit. 2025-04-23]. ISSN 0730-7268. Dostupné z: doi:10.1897/05-276R.1
- [124] BROOKE, Larry T. *Acute Phenanthrene Toxicity to Daphnia magna* [online]. Wisconsin: University of Wisconsin, 1994 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <https://minds.wisconsin.edu/bitstream/handle/1793/89436/Acute%20Phenanthrene%20Toxicity%20to%20Daphnia%20magna.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [125] NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. 1-Naphthylamine. *PubChem* [online]. 2004 [cit. 2025-04-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8640>
- [126] SIGMA-ALDRICH®. *SAFETY DATA SHEET according to Regulation (EC) No. 1907/2006: Nicotine Msynth®plus* [online]. 9.4. Millipore. Wadeville: Merck Pty, 2024, 14 s. [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: https://www.merckmillipore.com/Web-ZA-Site/en_US/-/USD/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-

845200&DocumentType=MSD&DocumentId=845200_SDS_ZA_EN.PDF&DocumentUID=27200617&Language=EN&Country=ZA&Origin=null

- [127] KIM, Sang D, Kyeong S PARK a Man B GU. Toxicity of hexavalent chromium to *Daphnia magna*: influence of reduction reaction by ferrous iron. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2002, **93**(2), 155-164 [cit. 2025-04-20]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-3894(02)00057-2
- [128] VELMA, V ., S.S. VUTUKURU a P.B. TCHOUNWOU. Ecotoxicology of Hexavalent Chromium in Freshwater Fish: A Critical Review. *Reviews on Environmental Health* [online]. 2009, **24**(2), 1-19 [cit. 2025-04-20]. ISSN 2191-0308. Dostupné z: doi:10.1515/REVEH.2009.24.2.129
- [129] AUSTRALIAN GOVERNMENT INITIATIVE. Chromium in freshwater and marine water. *Water quality Australia* [online]. 2000 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/chromium-2000>
- [130] EKPEGHERE, Kalu Ibe, Won-Jin SIM, Heon-Jun LEE a Jeong-Eun OH. Occurrence and distribution of carbamazepine, nicotine, estrogenic compounds, and their transformation products in wastewater from various treatment plants and the aquatic environment. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, **640-641**, 1015-1023 [cit. 2025-04-23]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.218
- [131] WU, Manli, Lili WANG, Huining XU a Yi DING. Occurrence and removal efficiency of six polycyclic aromatic hydrocarbons in different wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* [online]. 2013, 2013-10-01, **68**(8), 1844-1851 [cit. 2025-04-24]. ISSN 0273-1223. Dostupné z: doi:10.2166/wst.2013.433
- [132] LIU, Zhineng, Qing LI, Qihang WU, et al. Removal Efficiency and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Typical Municipal Wastewater Treatment Facility in Guangzhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2017, **14**(8), 1-13 [cit. 2025-04-24]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph14080861
- [133] HARGREAVES, Andrew J., Carlos CONSTANTINO, Gabriela DOTRO, Elise CARTMELL a Pablo CAMPO. Fate and removal of metals in municipal wastewater treatment: a review. *Environmental Technology Reviews* [online]. 2018, 2018-05-03, **7**(1), 1-18 [cit. 2025-04-24]. ISSN 2162-2515. Dostupné z: doi:10.1080/21622515.2017.1423398
- [134] LI, Zi-Jia, Dong-Dong YANG, Zhi-Yun WEI, Jie HUANG, Yi-Qian CHI, You-Xuan LU a Feng-Wei YIN. Reduction of nicotine content in tobacco through microbial degradation: research progress and potential applications. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts* [online]. 2024, **17**(1), 1-13 [cit. 2025-04-24]. ISSN 2731-3654. Dostupné z: doi:10.1186/s13068-024-02593-3
- [135] WANG, H.H., B. YIN, X.X. PENG, J.Y. WANG, Z.H. XIE, J. GAO a X.K. TANG. Biodegradation of nicotine by newly isolated *Pseudomonas* sp. CS3 and its metabolites.

- Journal of Applied Microbiology* [online]. 2012, **112**(2), 258-268 [cit. 2025-04-24]. ISSN 13645072. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2672.2011.05208.x
- [136] LIU, Shou-Heng, Wen-Ting TANG a Yun-Han YANG. Adsorption of nicotine in aqueous solution by a defective graphene oxide. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, **643**, 507-515 [cit. 2025-04-24]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.205
- [137] RAKIĆ, Vesna, Ljiljana DAMJANOVIĆ, Vladislav RAC, Dušan STOŠIĆ, Vera DONDUR a Aline AUROUX. The adsorption of nicotine from aqueous solutions on different zeolite structures. *Water Research* [online]. 2010, **44**(6), 2047-2057 [cit. 2025-04-24]. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2009.12.019
- [138] LI, Jing Shi, Xiao Jun WANG, Rui DENG a Zhi Hua PANG. Comparison of Degradation and Decoloration on Cigarette Industry Wastewater by Ozone and Advanced Oxidation. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2013, **295-298**, 1168-1172 [cit. 2025-04-24]. ISSN 1662-7482. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.295-298.1168
- [139] RODRIGUEZ, Sergio, Aurora SANTOS a Arturo ROMERO. Effectiveness of AOP's on abatement of emerging pollutants and their oxidation intermediates: Nicotine removal with Fenton's Reagent. *Desalination* [online]. 2011, **280**(1-3), 108-113 [cit. 2025-04-24]. ISSN 00119164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2011.06.055
- [140] CHIELLINI, Carolina, Lorenzo MARIOTTI, Thais HUARANCCA REYES, Eduardo José DE ARRUDA, Gustavo Graciano FONSECA a Lorenzo GUGLIELMINETTI. Remediation Capacity of Different Microalgae in Effluents Derived from the Cigarette Butt Cleaning Process. *Plants* [online]. 2022, **11**(13), 1-13 [cit. 2025-04-24]. ISSN 2223-7747. Dostupné z: doi:10.3390/plants11131770
- [141] MINISTERSTVO PRÁCE A SOCIÁLNÍCH VĚCÍ. Základní informace o OECD. *MPSV* [online]. 2019 [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.mpsv.cz/zakladni-informace-o-oecd>
- [142] *Zákon č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon)* [online]. In: 2011, 122/2011, číslo 350 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.e-sbirka.cz/sb/2011/350/2021-01-01?f=350%2F2011&zalozka=text>
- [143] CHEMICKÉ LÁTKY A SMĚSI. In: *Fssystem* [online]. Brno: FS system, 2015 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.fssystem.cz/cs/aktuality/17-chemicke-latky-a>
- [144] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Kvalita vod - Zkouška inhibice pohyblivosti Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea) - Zkouška akutní toxicity*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 28 s. 92817.

- [145] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water quality — Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea) — Acute toxicity test* [online]. 4. Ženeva, 2012 [cit. 2025-04-10].
- [146] *Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilisation Test* [online]. OECD, 2004 [cit. 2025-04-06]. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. ISBN 9789264069947. Dostupné z: doi:10.1787/9789264069947-en
- [147] OECD. *Test No. 201: Alga, Growth Inhibition Test* [online]. Paris: OECD Publishing, 2006, 25 s. [cit. 2024-04-06]. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2: Effects on Biotic Systems. ISBN 9789264069923. Dostupné z: doi:10.1787/9789264069923-en
- [148] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Kvalita vody - Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 24 s. 91158.
- [149] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water quality — Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae* [online]. 3. Ženeva, 2012 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/54150.html>
- [150] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *Jakost vod - Zkouška inhibice spotřeby kyslíku aktivovaným kalem při oxidaci uhlikatých látek a amoniakálního dusíku*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 28 s. 79429.
- [151] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Water quality — Test for inhibition of oxygen consumption by activated sludge for carbonaceous and ammonium oxidation* [online]. 2. Ženeva, 2007 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/37369.html>
- [152] *Test No. 209: Activated Sludge, Respiration Inhibition Test* [online]. OECD Publishing, 1984 [cit. 2025-04-05]. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2: Effects on Biotic Systems. ISBN 9789264070080. Dostupné z: doi:10.1787/9789264070080-en
- [153] REAGECON DIAGNOSTICS LTD. Whatman Schleicher. *A Calibre Scientific Company* [online]. 2022, 2022 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: <https://www.reagecon.com/en-gb/whatman-schleicher-schuell-quantitative-circle-9060305>
- [154] SKALOVÁ, Martina. *Vlastní fotografie*. 2025.
- [155] SKALOVÁ, Martina. *Vlastní fotografie*. Pardubice, 2024.
- [156] VANDA, Ondřej. *Zpracování obrazu mikroskopických vzorků*. Brno, 2009, 67 s. Dostupné také z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17276. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Radomil Matoušek.

- [157] WERDEL, Gina M., Lalit K. PANDEY a Elizabeth A. BERGEY. Cigarette butt effects on diatom health in a stream ecosystem. *Aquatic Ecology* [online]. 2021, **55**(3), 999-1010 [cit. 2024-04-03]. ISSN 1386-2588. Dostupné z: doi:10.1007/s10452-021-09876-z
- [158] LUCIA, Giulia, Maria Elisa GIULIANI, Giuseppe D'ERRICO, et al. Toxicological effects of cigarette butts for marine organisms. *Environment International* [online]. 2023, **171**(107733) [cit. 2024-04-03]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2023.107733
- [159] OECD. *Test No. 209: Activated Sludge, Respiration Inhibition Test (Carbon and Ammonium Oxidation): Activated Sludge, Respiration Inhibition Test* [online]. Paris: OECD Publishing, 2010, 18 s. [cit. 2025-04-06]. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2: Effects on Biotic Systems. ISBN 9789264070080. Dostupné z: doi:10.1787/9789264070080-en
- [160] BARAN, Wojciech, Daria MADEJ-KNYSK, Andrzej SOBCZAK a Ewa ADAMEK. The influence of waste from electronic cigarettes, conventional cigarettes and heat-not-burn tobacco products on microorganisms. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2020, **385**(121591), 1-7 [cit. 2025-04-09]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121591
- [161] RICHARDOT, William H., Lenard YABES, Hung-Hsu WEI, et al. Leached Compounds from Smoked Cigarettes and Their Potential for Bioaccumulation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Chemical Research in Toxicology* [online]. 2023, 2023-11-20, **36**(11), 1703-1710 [cit. 2025-04-10]. ISSN 0893-228X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.chemrestox.3c00167
- [162] DOBARADARAN, Sina, Torsten C. SCHMIDT, Xenia A.M. MUTKE, Gabriel E. DE-LA-TORRE, Ursula TELGHEDER, Klaus KERPEN a Marcel PLONOWSKI. Aromatic amines leachate from cigarette butts into aquatic environments: Is there risk for water organisms? *Environmental Research* [online]. 2023, **216**(2023), 1-8 [cit. 2025-04-10]. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2022.114717
- [163] XU, Elvis Genbo, William H. RICHARDOT, Shuying LI, et al. Assessing Toxicity and in Vitro Bioactivity of Smoked Cigarette Leachate Using Cell-Based Assays and Chemical Analysis. *Chemical Research in Toxicology* [online]. 2019, 2019-08-19, **32**(8), 1670-1679 [cit. 2025-04-10]. ISSN 0893-228X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.chemrestox.9b00201
- [164] MOERMAN, J W a G E POTTS. Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. *Tobacco Control* [online]. 2011, 2011-04-18, **20**(Suppl 1), i30-i35 [cit. 2025-04-10]. ISSN 0964-4563. Dostupné z: doi:10.1136/tc.2010.040196
- [165] MICHAEL, Maria, Arun MEYYAZHAGAN, Krishnakumar VELAYUDHANNAIR, et al. The Content of Heavy Metals in Cigarettes and the Impact of Their Leachates on the Aquatic Ecosystem. *Sustainability* [online]. 2022, **14**(8), 1-13 [cit. 2025-04-10]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su14084752

- [166] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *Jakost vod - Rozklad ke stanovení vybraných prvků ve vodě - Část 2: Rozklad kyselinou dusičnou* [online]. Praha: Český normalizační institut, 2003, 24 s. [cit. 2025-04-10]. ISBN 04952131.
- [167] MERCK KGAA. ICP Multi element standard solution IV certified reference material. *Sigma-Aldrich* [online]. Darmstadt, Germany, © 2025 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/product/mm/104498>
- [168] MERCK KGAA. ICP Multi element standard solution XVI certified reference material. *Sigma-Aldrich* [online]. Darmstadt, Germany, © 2025 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/product/mm/104453>
- [169] FRESH SERVICES, s.r.o. Sb, CRM Antimon 1g/l, v HCl HF, 100 ml. ANALYTIKA® S.R.O. *Nenalezený vydavatel* [online]. © 2020 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://www.analytika.net/referencni-materialy/anorganicke-standardy/standardy-prvku-a-iontu/sb-crm-antimon-1g-l-v-hcl-100-ml-cs/>
- [170] FRESH SERVICES S.R.O. Sn, CRM Cín 1g/l, v HCl, 100 ml. ANALYTIKA® S.R.O. *Nenalezený vydavatel* [online]. © 2020 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://www.analytika.net/referencni-materialy/anorganicke-standardy/standardy-prvku-a-iontu/sn-crm-cin-1g-l-v-hcl-100-ml/>
- [171] FRESH SERVICES S.R.O. ANALYTIKA S.R.O. Pd, CRM Paladium 1g/l, v HCl, 100 ml. *Nenalezený vydavatel* [online]. © 2020 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.analytika.net/referencni-materialy/anorganicke-standardy/standardy-prvku-a-iontu/pd-crm-paladium-1g-l-v-hcl-100-ml/>
- [172] MULOIWA, M., M.O. DINKA a S. NYENDE-BYAKIKA. Modelling and optimizing hydraulic retention time in the biological aeration unit: Application of artificial neural network and particle swarm optimization. *South African Journal of Chemical Engineering* [online]. 2024, (48), 292-305 [cit. 2025-04-06]. ISSN 10269185. Dostupné z: doi:10.1016/j.sajce.2024.03.005
- [173] WATER & WASTEWATER. Aeration Basin in Wastewater Treatment: A Comprehensive Guide. *Water and Wastewater* [online]. © 2024, 2024 [cit. 2025-04-06]. Dostupné z: <https://www.waterandwastewater.com/aeration-basin-in-wastewater-treatment/>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem z cigaretových nedopalků.....	115
PŘÍLOHA B: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem nedopalků z elektronických cigaret.....	116
PŘÍLOHA C: Zkouška inhibice růstu <i>Desmodesmus subspicatus</i> výluhem z cigaretových nedopalků.....	117
PŘÍLOHA D: Zkouška inhibice růstu <i>Desmodesmus subspicatus</i> výluhem nedopalků z elektronických cigaret.....	123
PŘÍLOHA E: Zkouška inhibice dýchání aktivovaného kalu výluhem z cigaretových nedopalků.....	129
PŘÍLOHA F: Zkouška inhibice dýchání aktivovaného kalu výluhem nedopalků z elektronických cigaret.....	131
PŘÍLOHA G: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem z cigaretových nedopalků po biologickém čištění.....	133
PŘÍLOHA H: Zkouška inhibice pohyblivosti <i>Daphnia magna</i> výluhem nedopalků z elektronických cigaret po biologickém čištění.....	134

PŘÍLOHA A: Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* výluhem z cigaretových nedopalků

Závislost imobilizace dafnií na koncentraci výluhu CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	1/8	K
počet imobilizovaných dafnií	24 h – 1 řada	5	3	2	2	0	0
	24 h – 2 řada	5	4	2	1	0	0
	24 h – 1 řada	4	5	1	1	0	0
	24 h – 2 řada	5	3	2	1	0	0
	24 h – celkem	19	15	7	5	0	0
imobilizace %	24 h	95	75	35	25	0	0
počet imobilizovaných dafnií	48 h – 1 řada	5	4	3	2	1	0
	48 h – 2 řada	5	5	3	3	0	0
	48 h – 1 řada	5	5	3	2	2	0
	48 h – 2 řada	5	4	4	1	0	0
	48 h – celkem	20	18	13	8	3	0
imobilizace %	48 h	100	90	65	40	15	0

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v koncentrační řadě výluhů z CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	1/8	K
O ₂ [mg/L]	0 h	6,4	6,8	6,7	7,2	7,6	8,5
	48 h	8,0	8,4	8,5	8,2	8,1	8,5

pH roztoků koncentrační řady výluhů z CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	1/8	K
pH	0 h	7,3	7,5	7,6	7,8	7,8	7,9
	48 h	7,8	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0

PŘÍLOHA B: Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* výluhem nedopalků z elektronických cigaret

Závislost imobilizace dafnií na koncentraci výluhu ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	1/8	K
počet imobilizovaných dafnií	24 h – 1 řada	5	3	2	1	0	0
	24 h – 2 řada	5	2	1	0	0	0
	24 h – 3 řada	5	4	1	0	0	0
	24 h – 4 řada	4	2	3	0	1	0
	24 h – celkem	19	11	7	1	1	0
imobilizace %	24 h	95	65	35	5	5	0
počet imobilizovaných dafnií	48 h – 1 řada	5	4	4	3	0	0
	48 h – 2 řada	5	5	3	1	0	0
	48 h – 3 řada	5	4	4	1	1	0
	48 h – 4 řada	5	4	4	3	1	0
	48 h – celkem	20	17	15	8	2	0
imobilizace %	48 h	100	85	75	40	10	0

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v koncentrační řadě výluhů z ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	1/8	K
O ₂ [mg/L]	0 h	6,0	6,8	7,5	7,6	7,8	8,3
	48 h	8,2	8,7	8,6	8,4	8,6	8,7

pH roztoků koncentrační řady výluhů z ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	1/8	K
pH	0 h	7,4	7,6	7,6	7,6	7,7	7,7
	48 h	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9

PŘÍLOHA C: Zkouška inhibice růstu *Desmodesmus subspicatus* výluhem z cigaretových nedopalků

pH roztoků koncentrační řady výluhů z CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]	40	20	10	5	2,5	K
0 h	7,6	7,4	7,5	7,5	7,4	7,6
72 h	7,7	7,8	8,0	8,0	7,9	7,9

Teplota prostředí

hod. zkoušky	0	24	48	72
teplota [°C]	21,2	22,5	22,7	21,6

Osvětlení během zkoušky

hod. zkoušky	0	24	48	72
osvětlení [lux]	7154	7041	7123	7142

Tabulky naměřených hodnot po 24 hod. zkoušky:

Řada 1

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Řada 2

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Řada 3

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabulky naměřených hodnot po 48 hod. zkoušky:

Řada 1

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk								součet		
40	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
10	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1	13
	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	
5	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	12
	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	12
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	
K	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	14
	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	

Řada 2

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk								součet		
40	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	6
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	11
	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	
5	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12
	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	
2,5	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
K	0	1	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	

Řada 3

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
10	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	10
	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	14
	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
2,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	1	15
	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	
K	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	15
	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	

Tabulky naměřených hodnot po 72 hod. zkoušky:

Řada 1

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
20	2	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
10	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	18
	1	1	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	21
	2	1	1	1	0	1	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	
2,5	1	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	28
	0	1	1	1	1	2	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	
K	1	2	0	2	1	1	0	0	1	1	0	0	3	0	2	1	1	1	0	1	49
	0	2	2	0	1	2	1	3	2	1	1	2	2	1	1	3	2	1	3	2	

Řada 2

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	9
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
10	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	
5	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	22
	0	0	1	0	1	1	0	2	1	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	1	
2,5	1	2	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	26
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	1	2	0	1	1	0	
K	1	3	1	1	0	1	1	2	2	1	0	0	2	2	2	1	1	1	0	3	51
	1	1	2	2	1	0	1	2	3	1	1	1	1	1	1	3	2	2	0	0	

Řada 3

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
20	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	12
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
10	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	14
	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
5	1	2	1	2	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	23
	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	1	0	
2,5	1	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	0	2	2	1	0	1	1	1	0	30
	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	2	
K	2	1	2	3	1	1	2	2	1	2	0	2	1	2	0	1	1	2	1	2	40
	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2	

Výsledky zkoušky inhibice růstu *Desmodesmus subspicatus* výluhem z cigaretových nedopalků

počet buněk			konc. [ks/L]	řada	hustota buněk v 1 mL				rychlost růstu 0-72 h [μ]	výtěžek [Y]	rychlost růstu pro jednotlivé úseky [μ]		
24 hodin	48 hodin	72 hodin			0 hodin (počátek)	24 hodin	48 hodin	72 hodin			0-24 hodin	24-48 hodin	48-72 hodin
1	3	3	40	1	5000	6250	18750	18750	0,44	13750	0,22	1,10	0,00
1	3	3		2	5000	6250	18750	18750	0,44	13750	0,22	1,10	0,00
1	2	2		3	5000	6250	12500	12500	0,31	7500	0,22	0,69	0,00
1	6	11	20	1	5000	6250	37500	68750	0,87	63750	0,22	1,79	0,61
2	6	9		2	5000	12500	37500	56250	0,81	51250	0,92	1,10	0,41
2	4	12		3	5000	12500	25000	75000	0,90	70000	0,92	0,69	1,10
2	13	18	10	1	5000	12500	81250	112500	1,04	107500	0,92	1,87	0,33
1	11	13		2	5000	6250	68750	81250	0,93	76250	0,22	2,40	0,17
2	10	14		3	5000	12500	62500	87500	0,95	82500	0,92	1,61	0,34
2	12	21	5	1	5000	12500	75000	131250	1,09	126250	0,92	1,79	0,56
1	12	22		2	5000	6250	75000	137500	1,10	132500	0,22	2,48	0,61
2	14	23		3	5000	12500	87500	143750	1,12	138750	0,92	1,95	0,50
1	12	28	2,5	1	5000	6250	75000	175000	1,19	170000	0,22	2,48	0,85
2	12	26		2	5000	12500	75000	162500	1,16	157500	0,92	1,79	0,77
1	15	30		3	5000	6250	93750	187500	1,21	182500	0,22	2,71	0,69
2	14	49	K	1	5000	12500	87500	306250	1,37	301250	0,92	1,95	1,25
1	13	51		2	5000	6250	81250	318750	1,38	313750	0,22	2,56	1,37
1	15	40		3	5000	6250	93750	250000	1,30	245000	0,22	2,71	0,98

PŘÍLOHA D: Zkouška inhibice růstu *Desmodemus subspicatus* výluhem nedopalků z elektronických cigaret

pH roztoků koncentrační řady výluhů z ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]	40	20	10	5	2,5	K
0 h	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3	7,6
72 h	8,1	8,2	8,1	8,1	7,9	7,9

Teplota prostředí

hod. zkoušky	0	24	48	72
teplota [°C]	21,2	22,5	22,7	21,6

Osvětlení během zkoušky

hod. zkoušky	0	24	48	72
osvětlení [lux]	7154	7041	7123	7142

Tabulky naměřených hodnot po 24 hod. zkoušky:

Řada 1

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Řada 2

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Řada 3

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabulky naměřených hodnot po 48 hod. zkoušky:

Řada 1

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
20	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	10
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
10	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	12
	0	0	1	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
2,5	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	13
	0	1	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	
K	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	14
	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	

Řada 2

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	9
	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	14
	0	0	1	0	2	0	2	0	1	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	18
	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	0	
K	0	1	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	

Řada 3

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
10	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	10
	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	12
	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	12
	2	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
K	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	15
	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	

Tabulky naměřených hodnot po 72 hod. zkoušky:

Řada 1

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
20	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	12
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	
10	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	13
	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
5	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	20
	2	0	2	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	
2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	30
	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	2	1	2	1	0	2	0	0	1	0	
K	1	2	0	2	1	1	0	0	1	1	0	0	3	0	2	1	1	1	0	1	49
	0	2	2	0	1	2	1	3	2	1	1	2	2	1	1	3	2	1	3	2	

Řada 2

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	11
	0	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
10	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	12
	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	1	
5	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	21
	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
2,5	1	2	2	0	0	1	0	1	1	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	3	36
	1	2	0	0	1	1	0	2	2	1	0	1	2	1	0	0	2	1	0	1	
K	1	3	1	1	0	1	1	2	2	1	0	0	2	2	2	1	1	1	0	3	51
	1	1	2	2	1	0	1	2	3	1	1	1	1	1	1	3	2	2	0	0	

Řada 3

koncentrace [ks/L]	počet buněk										počet buněk										součet
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9
	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	
10	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	12
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
5	0	1	2	1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	0	0	0	24
	2	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	
2,5	1	2	1	1	1	1	0	2	1	0	2	1	0	3	2	0	1	1	2	1	34
	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	
K	2	1	2	3	1	1	2	2	1	2	0	2	1	2	0	1	1	2	1	2	40
	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2	

Výsledky zkoušky inhibice růstu *Desmodesmus subspicatus* výluhem nedopalků z elektronických cigaret

počet buněk			konc. [ks/L]	řada	hustota buněk v 1 mL				rychlost růstu 0-72 h [μ]	výtěžek [Y]	rychlost růstu pro jednotlivé úseky [μ]		
24 hodin	48 hodin	72 hodin			0 hodin (počátek)	24 hodin	48 hodin	72 hodin			0-24 hodin	24-48 hodin	48-72 hodin
1	2	4	40	1	5000	6250	12500	25000	0,54	20000	0,22	0,69	0,69
1	3	4		2	5000	6250	18750	25000	0,54	20000	0,22	1,10	0,29
2	3	2		3	5000	12500	18750	12500	0,31	7500	0,92	0,41	-0,41
1	10	12	20	1	5000	6250	62500	75000	0,90	70000	0,22	2,30	0,18
2	8	11		2	5000	12500	50000	68750	0,87	63750	0,92	1,39	0,32
2	7	9		3	5000	12500	43750	56250	0,81	51250	0,92	1,25	0,25
1	6	13	10	1	5000	6250	37500	81250	0,93	76250	0,22	1,79	0,77
1	9	12		2	5000	6250	56250	75000	0,90	70000	0,22	2,20	0,29
2	10	12		3	5000	12500	62500	75000	0,90	70000	0,92	1,61	0,18
2	12	20	5	1	5000	12500	75000	125000	1,07	120000	0,92	1,79	0,51
2	14	21		2	5000	12500	87500	131250	1,09	126250	0,92	1,95	0,41
1	12	24		3	5000	6250	75000	150000	1,13	145000	0,22	2,48	0,69
1	13	30	2,5	1	5000	6250	81250	187500	1,21	182500	0,22	2,56	0,84
1	18	36		2	5000	6250	112500	225000	1,27	220000	0,22	2,89	0,69
1	12	34		3	5000	6250	75000	212500	1,25	207500	0,22	2,48	1,04
2	14	49	K	1	5000	12500	87500	306250	1,37	301250	0,92	1,95	1,25
1	13	51		2	5000	6250	81250	318750	1,38	313750	0,22	2,56	1,37
1	15	40		3	5000	6250	93750	250000	1,30	245000	0,22	2,71	0,98

PŘÍLOHA E: Zkouška inhibice dýchání aktivovaného kalu výluhem z cigaretových nedopalků

Parametry respirace aktivovaného kalu a inhibice respirace aktivovaného kalu

nádoba číslo	označ. vzorku	výluh/ ref. látka [mL]	výsledná konc. výluhu [ks/L]	pH poč.	pH výsl.	Q ₁ [mg/L]	Q ₂ [mg/L]	t ₁ [min]	t ₂ [min]	R [mg/L·h]	R _s [mg/g·h]	I _r [%]
1	K 1	0	0	6,9	7,5	6,98	3,18	0,5	10,0	24,00	16,00	0,0
2	Z 1	200	36	6,9	7,2	6,90	4,74	2,0	10,0	16,20	10,80	48,4
3	Z 2	100	16	6,9	7,6	6,88	4,66	4,5	10,0	24,22	16,15	13,7
4	Z 3	50	8	6,9	7,6	6,91	5,75	6,5	10,0	19,89	13,26	32,5
5	Z 4	25	4	6,8	7,7	6,91	3,54	2,0	10,0	25,28	16,85	9,1
6	Z 5	12,5	2	7,0	7,6	6,82	3,50	2,0	10,0	24,90	16,60	10,7
7	R 1	5	0	7,0	7,6	6,95	5,72	5,5	10,0	16,40	10,93	47,6
8	R 2	10	0	7,0	7,5	8,67	6,87	9,5	10,0	10,80	7,20	71,8
9	R 3	20	0	7,0	7,3	9,23	8,65	0,5	10,0	3,66	2,44	102,7
10	Zab	50	36	7,1	7,2	10,1	9,42	0,5	10,0	4,29	2,86	-
11	K 2	0	0	7,0	7,3	6,77	3,26	0,5	10,0	22,17	14,78	0,0

Spotřeba kyslíku v mg/L v závislosti na čase*

nádoba číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t [min]	K 1	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	R 1	R 2	R 3	Zab	K 2
0,5	6,98	7,33	8,53	8,94	7,51	7,42	8,23	8,69	9,23	10,01	6,77
1	6,77	7,18	8,29	8,73	7,31	7,21	8,11	8,56	9,18	9,87	6,59
1,5	6,56	7,04	8,08	8,55	7,11	7,02	7,97	8,46	9,15	9,74	6,41
2	6,35	6,90	7,88	8,40	6,91	6,82	7,85	8,36	9,12	9,63	6,23
2,5	6,16	6,76	7,59	8,23	6,70	6,62	7,72	8,27	9,09	9,54	6,04
3	5,96	6,63	7,46	8,06	6,50	6,41	7,59	8,18	9,06	9,47	5,86
3,5	5,76	6,49	7,27	7,91	6,30	6,21	7,47	8,09	9,04	9,42	5,68
4	5,57	6,35	7,07	7,74	6,08	6,02	7,34	8,00	9,01	9,39	5,50
4,5	5,36	6,22	6,88	7,58	5,88	5,81	7,21	7,90	8,98	9,37	5,31
5	5,16	6,08	6,68	7,41	5,67	5,61	7,08	7,81	8,95	9,35	5,12
5,5	4,96	5,95	6,49	7,24	5,45	5,40	6,95	7,72	8,92	9,35	4,94
6	4,77	5,81	6,29	7,09	5,24	5,18	6,81	7,63	8,89	9,35	4,76
6,5	4,57	5,68	6,03	6,91	5,03	4,98	6,68	7,53	8,86	9,35	4,57
7	4,37	5,54	5,84	6,74	4,82	4,77	6,55	7,43	8,83	9,36	4,38
7,5	4,17	5,40	5,64	6,57	4,61	4,56	6,41	7,34	8,80	9,37	4,19
8	3,98	5,27	5,44	6,40	4,39	4,35	6,28	7,25	8,77	9,38	4,01
8,5	3,78	5,14	5,25	6,24	4,18	4,14	6,14	7,16	8,74	9,40	3,82
9	3,58	5,00	5,05	6,05	3,97	3,93	6,01	7,06	8,71	9,41	3,63
9,5	3,38	4,88	4,86	5,89	3,75	3,72	5,87	6,96	8,68	9,34	3,45
10	3,18	4,74	4,66	5,72	3,54	3,5	5,73	6,87	8,65	9,42	3,26

* Šedou barvou je znázorněn začátek a konec intervalu použitého pro výpočet inhibice respirace kalu v dané koncentraci

PŘÍLOHA F: Zkouška inhibice dýchání aktivovaného kalu výluhem nedopalků z elektronických cigaret

Parametry respirace aktivovaného kalu a inhibice respirace aktivovaného kalu

nádoba číslo	označ. vzorku	výluh/ ref. látka [mL]	výsledná konc. výluhu [ks/L]	pH poč.	pH výsl.	Q ₁ [mg/L]	Q ₂ [mg/L]	t ₁ [min]	t ₂ [min]	R [mg/L·h]	R _s [mg/g·h]	I _r [%]
1	K 1	0	0	7,1	7,6	6,91	2,55	1,5	10,0	30,78	20,52	0,0
2	Z 1	200	36	6,9	7,1	6,91	2,05	1,0	9,0	36,45	24,30	-8,3
3	Z 2	100	16	6,9	7,5	6,87	2,24	2,0	9,5	37,04	24,69	-10,2
4	Z 3	50	8	6,9	7,6	6,91	2,3	0,5	8,0	36,88	24,59	-9,7
5	Z 4	25	4	6,9	7,6	6,72	3,54	2,0	8,0	31,80	21,20	6,4
6	Z 5	12,5	2	6,9	7,4	6,39	3,50	2,0	8,0	28,90	19,27	15,6
7	R 1	5	0	7,0	7,6	6,93	5,13	5,0	10,0	21,60	14,40	38,8
8	R 2	10	0	7,0	7,4	6,90	6,04	6,9	10,0	16,65	11,10	54,6
9	R 3	20	0	7,0	7,3	8,93	8,10	0,5	10,0	5,24	3,49	90,8
10	Zab	50	36	6,8	6,9	9,76	9,39	0,5	10,0	2,34	1,56	-
11	K 2	0	0	6,9	7,5	7,00	2,17	0,5	9,5	32,20	21,47	0,0

Spotřeba kyslíku v mg/L v závislosti na čase*

nádoba číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t [min]	K 1	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	R 1	R 2	R 3	Zab	K 2
0,5	7,42	7,23	7,78	6,91	6,72	6,39	8,44	8,36	8,93	9,76	7,00
1	7,16	6,91	7,48	6,60	6,41	6,10	8,27	8,22	8,87	9,70	6,72
1,5	6,91	6,60	7,17	6,30	6,12	5,81	8,11	8,11	8,82	9,64	6,44
2	6,65	6,31	6,87	6,00	5,81	5,53	7,95	7,98	8,79	9,58	6,17
2,5	6,39	6,00	6,57	5,68	5,52	5,25	7,78	7,87	8,74	9,55	5,89
3	6,14	5,71	6,27	5,38	5,22	4,97	7,61	7,75	8,70	9,52	5,62
3,5	5,87	5,41	5,97	5,08	4,92	4,69	7,44	7,63	8,66	9,50	5,35
4	5,63	5,11	5,67	4,77	4,61	4,40	7,28	7,51	8,62	9,48	5,08
4,5	5,37	4,80	5,36	4,46	4,31	4,12	7,10	7,39	8,57	9,47	4,82
5	5,10	4,51	5,05	4,16	4,01	3,83	6,93	7,27	8,53	9,46	4,55
5,5	4,85	4,21	4,74	3,85	3,70	3,54	6,75	7,15	8,49	9,44	4,28
6	4,59	3,91	4,43	3,54	3,39	3,26	6,57	7,03	8,45	9,44	4,02
6,5	4,33	3,60	4,12	3,23	3,09	2,97	6,39	6,90	8,40	9,44	3,75
7	4,07	3,29	3,81	2,92	2,78	2,68	6,21	6,78	8,37	9,42	3,49
7,5	3,82	2,98	3,49	2,61	2,47	2,39	6,03	6,66	8,32	9,42	3,22
8	3,56	2,66	3,18	2,30	2,17	2,11	5,86	6,53	8,27	9,41	2,96
8,5	3,30	2,35	2,87	1,99	1,86	1,83	5,68	6,41	8,23	9,40	2,69
9	3,04	2,05	2,55	1,68	1,55	1,55	5,50	6,29	8,19	9,41	2,43
9,5	2,78	1,75	2,24	1,38	1,25	1,27	5,32	6,16	8,14	9,40	2,17
10	2,52	1,45	1,92	1,08	0,96	0,99	5,13	6,04	8,10	9,39	1,91

* Šedou barvou je znázorněn začátek a konec intervalu použitého pro výpočet inhibice respirace kalu v dané koncentraci

PŘÍLOHA G: Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* výluhem z cigaretových nedopalků po biologickém čištění

Závislost imobilizace dafnií na koncentraci výluhu CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	K
počet imobilizovaných dafnií	24 h – 1 řada	5	5	2	1	0
	24 h – 2 řada	5	5	2	1	0
	24 h – 1 řada	5	5	3	0	0
	24 h – 2 řada	5	5	1	0	0
	24 h – celkem	20	20	8	2	0
imobilizace %	24 h	100	100	40	10	0
počet imobilizovaných dafnií	48 h – 1 řada	5	5	2	2	0
	48 h – 2 řada	5	5	2	1	1
	48 h – 1 řada	5	5	4	0	0
	48 h – 2 řada	5	5	2	0	0
	48 h – celkem	20	20	10	3	0
imobilizace %	48 h	100	100	50	15	0

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v koncentrační řadě výluhů z CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	K
O ₂ [mg/L]	0 h	6,0	6,2	6,5	7,5	8,2
	48 h	7,9	8,7	8,7	8,7	8,9

pH roztoků koncentrační řady výluhů z CN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	K
pH	0 h	8,0	7,9	7,9	7,9	7,9
	48 h	8,5	8,4	8,4	8,2	8,1

PŘÍLOHA H: Zkouška inhibice pohyblivosti *Daphnia magna* výluhem nedopalků z elektronických cigaret po biologickém čištění

Závislost imobilizace dafnií na koncentraci výluhu ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	K
počet imobilizovaných dafnií	24 h – 1 řada	5	5	2	1	0
	24 h – 2 řada	5	5	3	0	0
	24 h – 3 řada	5	5	3	0	0
	24 h – 4 řada	5	5	3	0	0
	24 h – celkem	20	20	11	0	0
imobilizace %	24 h	100	100	55	5	0
počet imobilizovaných dafnií	48 h – 1 řada	5	5	3	1	0
	48 h – 2 řada	5	5	3	1	1
	48 h – 3 řada	5	5	4	0	0
	48 h – 4 řada	5	5	3	0	0
	48 h – celkem	20	20	13	2	0
imobilizace %	48 h	100	100	65	10	0

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v koncentrační řadě výluhů z ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	K
O ₂ [mg/L]	0 h	5,2	5,3	6,8	7,6	8,2
	48 h	7,0	8,3	8,8	8,9	8,9

pH roztoků koncentrační řady výluhů z ECN

koncentrace výluhu nedopalku [ks/L]		2	1	1/2	1/4	K
pH	0 h	8,0	8,0	7,9	8,0	7,9
	48 h	8,6	8,5	8,4	8,3	8,1