VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

EKOTOXICITA VYBRANÝCH HASEBNÍCH PROSTŘEDKŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. MARKÉTA KONEČNÁ
AUTHOR

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	**FCH-DIP0657/2011**	Akademický rok:	**2011/2012**
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí		
Student(ka):	**Bc. Markéta Konečná**		
Studijní program:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)		
Studijní obor:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)		
Vedoucí práce	**MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.**		
Konzultanti:			

Název diplomové práce:

Ekotoxicita vybraných hasebních prostředků

Zadání diplomové práce:

1. Bude vypracována literární rešerše týkající se složení a účinků hasebních prostředků.
2. Nejčastěji v ČR používané hasební prostředky budou podrobeny vybraným testům ekotoxicity.
3. Na základě získaných ekotoxikologických hodnod bude posouzen vliv těchto prostředků na životní prostředí.

Termín odevzdání diplomové práce: 25.5.2012

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

- -	- -	- -
Bc. Markéta Konečná Student(ka)	MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D. Vedoucí práce	doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc. Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2012

- -
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Dynamický rozvoj průmyslu a neustálá výroba nových látek, ovlivňujících životní prostředí, je v současné době jednou z priorit zájmu lidské populace. Tato diplomová práce je zaměřena na ekotoxikologické hodnocení vybraných hasebních prostředků, které jsou aplikovány v případě vzniku požáru. Tyto musí efektivně uhasit zdroj hoření neboť ochrana životů a materiálních prostředků je v každém případě velmi důležitá, avšak měly by být zároveň šetrné k životnímu prostředí. V této práci byly testovány tenzidy, které jsou hlavní složkou pěnotvorných hasebních prostředků s následujícími komerčními názvy: STAMEX F-15, EXPYROL F-15, MOUSOL APS F-15, FINIFLAM F-15 a PYROCOOL B. Jelikož tenzidy mají negativní dopad zejména na akvatický ekosystém, byly k hodnocení jejich ekotoxicity použity převážně testy na vodních organismech. Testovacími organismy byly vodní korýši *Daphnia magna* a *Thamnocephalus platyuru*, vodní dvouděložná roslina *Lemna minor* a terestrická jednoděložná rostlina *Sinapis alba*. Na základě výsledků provedených testů byly stanoveny hodnoty LC50, EC50 a IC50 pro testované látky a porovnána jejich ekotoxicita.

ABSTRACT

The dynamic development of industry and the constant production of new substances affecting the environment is currently one of the priorities of the interests of the human population. This thesis is focused on the ecotoxicological evaluation of selected extinguishing agent which are applied in case of fire. They must effectively extinguish fire because a live protection and material resources in any case very important, but Theky should be also environmentally friendly. In this work were tested surfactants, which are the main component of foaming extinguishing agent with the following commercial names: STAMEX F-15, F-15 EXPYROL, MOUSOL APS F-15, FINIFLAM F-15 and PYROCOOL B. Since surfactants have a negative impact mainly on aquatic ecosystem assessment were mainly used ecotoxicity tests using aquatic organisms. Test organisms were aquatic crustacean *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus* aquatic dicotyledons plant *Lemna minor* and terrestrial monocotyledons plant *Sinapis alba*. Based on the results of the tests were values of LC50, EC50 and IC50 for the tested substances determined and their ecotoxicity compared.

KLÍČOVÁ SLOVA

tenzidy, ekotoxicita, biotest, hasební prostředek

KEYWORDS

surfactants, ecotoxicity, biotest, extinguishing agents

KONEČNÁ, M. *Ekotoxicita vybraných hasebních prostředků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. 77 s. Vedoucí diplomové práce MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

……………………..
podpis studenta

Poděkování:
Chtěla bych poděkovat vedoucí práce paní MVDr. Heleně Zlámalové Gargošové, Ph.D. za cenné rady a všestrannou pomoc při vedení této diplomové práce.

OBSAH

1. ÚVOD ... 6
2. TEORETICKÁ ČÁST ... 7
   2.1 Hasební prostředky ... 7
      2.1.1 Voda ... 8
      2.1.2 Pěna ... 9
         2.1.2.1. Druhy pěn ... 9
         2.1.2.2. Pěnotvorné přísady ... 10
         2.1.2.3. Fyzikální vlastnosti pěn ... 11
         2.1.2.4. Princip a zařízení pro přípravu hasící pěny ... 12
         2.1.2.5. Hasební efekt pěn ... 14
         2.1.2.6. Související legislativa pro pěnotvorné látky ... 14
         2.1.2.7. Vliv na životní prostředí ... 15
      2.1.3 Halony ... 17
      2.1.4 Hasící prášky ... 18
      2.1.5 Inertní plyny ... 18
   2.2 Tenzidy ... 19
      2.2.1 Aniontové tenzidy ... 20
      2.2.2 Kationtové tenzidy ... 21
      2.2.3 Neiontové tenzidy ... 21
      2.2.4 Amfolitické tenzidy ... 22
      2.2.5 Současná legislativa tenzidů ... 22
      2.2.6 Vliv na životní prostředí ... 23
   2.3 Ekotoxikologie ... 24
   2.4 Vybrané ekotoxikologické biotesty ... 26
      2.3.1 Test inhibice růstu kořene *Sinapis alba* ... 26
      2.3.2 Alternativní test toxicity Thamnotoxkit F^{TM} na organismu *Thamnocephalus platyurus* ... 27
      2.3.3 Test inhibice růstu okřehku menšího (*Lemna minor)* ... 28
      2.3.4 Akutní imobilizační test na perloočkách (*Daphnia magna)* ... 30
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ... 32
   3.1 Odběr vzorku ... 32
      3.1.1 Charakterizace vybraných pěnidel používaných jednotkami požární ochrany 32
   3.2 Příprava vzorků a vlastní provedení testů ... 35
      3.2.1 Test inhibice růstu kořene hořčice bílé (*Sinapis alba*) ... 35
      3.2.2 Alternativní test toxicity Thamnotoxkit F^{TM} na organismu *Thamnocephalus platyurus* ... 36
      3.2.3 Test inhibice růstu okřehku menšího (*Lemna minor*) ... 37
      3.2.4 Akutní imobilizační test na perloočkách (*Daphnia magna)* ... 37
4. VÝSLEDKY ... 39
   4.1 Test inhibice růstu kořene hořčice bílé (*Sinapis alba*) ... 39
   4.2 Alternativní test toxicity Thamnotoxkit F^{TM} na organismu *Thamnocephalus platyurus* ... 44
   4.3 Akutní imobilizační test na perloočkách (*Daphnia magna)* ... 50
   4.4 Test inhibice růstu okřehku menšího (*Lemna minor*) ... 59
5. DISKUZE VÝSLEDKŮ ... 65
6. ZÁVĚR ... 71
7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ ... 72
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ... 77

1. ÚVOD

Pro dnešní dobu je charakteristický intenzivní rozvoj ve všech sférách života. Tato moderní a vyspělá doba má za sebou spousty pokroků a změn, které nám přinesly řadu pozitivních, ale i negativních věcí. Z pohledu negativního je to zejména používání stále většího množství hořlavých látek, které v případě požáru mají za následek vznik nebezpečných produktů hoření. Nové technologie, nové hmoty a zařízení sebou přináší řadu možností, které mají utlumit nebezpečí vzniku požárů a omezit jeho působení na okolí *[6]*.

K prvním prostředkům, které lidstvo aplikovalo na boj s ohněm, patřila voda a písek. S nástupem a rozvojem průmyslu (chemický, stavební, letecký) a zejména s počátky těžby ropy tyto metody již nebyly dostačující. Stále rozšířenější používání produktů ropného zpracování způsobilo zvýšení rizika požárů a hašení vodou již nebylo efektní. Na počátku 19. století se začaly využívat pro likvidaci požárů kapalných ropných produktů chemické pěny. Další pokrok nastal při použití mechanických pěn. V 50. letech začala získávat větší význam pěnidla obsahující syntetické tenzidy *[1, 2]*.

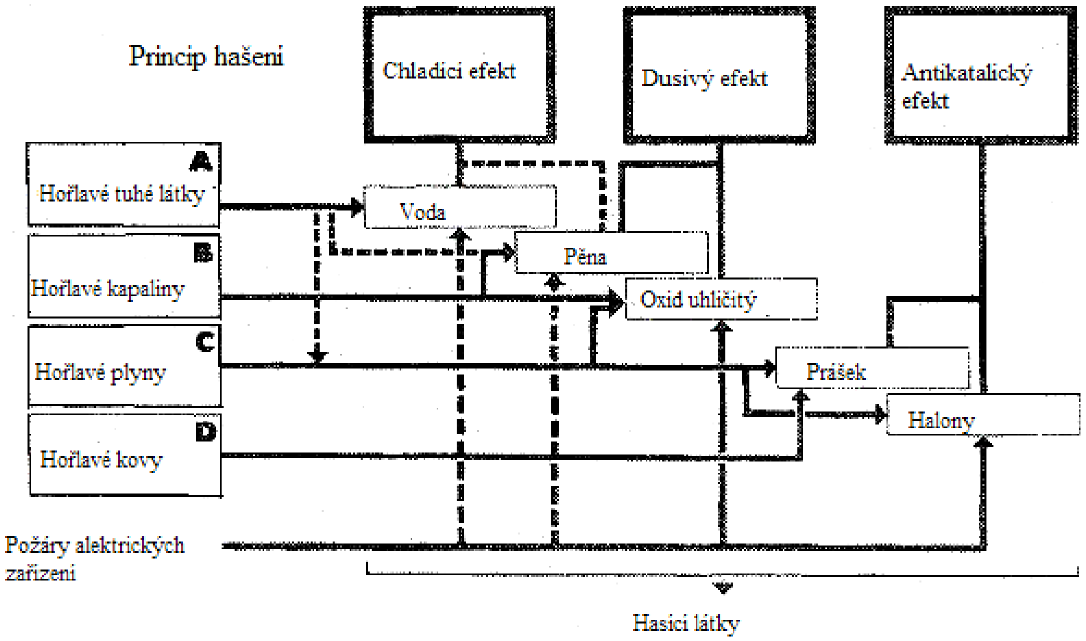
Nicméně obecně požáry mají negativní dopad zejména na životní prostředí. Pro likvidaci těchto požárů se musí aplikovat velké množství hasebních prostředků. Tyto požární prostředky jsou mnohdy uplatňovány v ekologicky citlivých oblastech, které mohou obsahovat ohrožené nebo hospodářsky významné živočišné a rostlinné druhy. Velkým nedostatkem je, že literatura neposkytuje mnoho informací o toxicitě těchto požárních prostředků pro akvatický a suchozemský ekosystém. Informace o toxicitě hasících pěn jsou omezeny na několik zpráv od samotných výrobců (bezpečnostní listy) *[3]*.

Hasební prostředky na jedné straně pomáhají a na druhé straně sebou nesou negativa. V případě, že se tyto látky vsáknou do půdy a tím i do povrchových vod, mohou tak zapříčinit negativní vliv na ekosystém akvatický a terestrický. Jelikož jejich dopad na životní prostředí nese sebou vážná rizika, je hodnota toxicity sledovaná prostřednictvím ekotoxikologických testů. Tyto testy hodnotí negativní účinky testovaných látek na životní prostředí. Velkým přínosem je dnešní doba, která umožňuje stálé vyvíjení novým alternativ a metod, které umožňují sledování nepříznivého vlivu jakýkoliv nebezpečných chemických látek na člověka, živé organismy a na životní prostředí.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Hasební prostředky

Požár je v podstatě složitou soustavou fyzikálních a chemických dějů. Pro usměrnění všech pochodů hoření je důležité tyto děje znát. Na likvidaci požárů tuhých hořlavých látek a hořlavých kapalin se aplikují látky, které obsahují hasební složku. Hoření tedy probíhá v tenké povrchové vrstvě, kde je hořlavina zahřátá na zápalnou teplotu, při které se uvolňují prchavé podíly a po vznícení dochází k hoření. Základní procesem hoření je chemická reakce, která je provázena uvolňováním tepla a vyzařováním světla. Důležitá je přítomnost hořlavé látky (palivo), oxidačního prostředku (vzduch, O_2) a tepla (zdroj hoření). K zabránění hoření stačí pouze narušit jednotlivé složky tzn. především odvést takové množství tepla, které způsobí přerušení hoření poklesem teploty prohřáté povrchové vrstvy a zamezit dalšímu vzniku hořlavých plynných produktů. V současné době se nejvíce využívají na potlačení hoření chladicí, zřeďovací (dusivý) a antikatalický efekt hasicích látek *[2, 4, 5, 6, 15]*.



Obr.č.1 Schéma mechanizmu hašení různých forem hořlavých látek [2]

Hašení na základě porušení tepelné rovnováhy (chladící účinek)

Teoreticky může hasicí látka odebrat teplo z okolního prostředí a tak ochladit teplotu okolí těmito způsoby: bez změny skupenství, změnou skupenství (topení, spalování), disociaci, tepelným rozkladem. Množství tepla, které je hasicí látka schopná odvést z pásma hoření, je závislé na její tepelné kapacitě, skupenském teple, výparném teple apod. Nejvíce využívanou hasicí látkou, která se používá při hašení na základě porušení tepelné rovnováhy je především voda *[2]*.

Hašení na principu porušení slučovacích poměrů reagujících látek (dusivý efekt)

Dusivý účinek se vyznačuje jako mechanismus hašení za využití zákona slučovacích poměrů reaktantů, tzn., že všechny chemické reakce probíhají vždy za stálých molárních poměrů látek vstupujících a vystupujících z reakcí. A pro každou reakci tedy platí pouze jeden stechiometrický poměr. Největší rychlost reakce je dosažena, když je dodržený poměr reaktantů podle stechiometrického koeficientu a zároveň nejsou přítomny jiné látky, které by zřeďovaly jejich koncentraci a vázaly na sebe část reakčního tepla. Hašení dusivým účinem nastává pokud: dojde ke snížení koncentrace kyslíku, koncentrace hořlavé látky nebo se oddělí hořlavé látky od kyslíku *[2]*.

Hašení antikatalytickým účinkem

Tento složitý průběh hoření se vyznačuje mechanizmem řetězových reakcí. Při hašení se využívá negativního katalytického účinku, tzn., že při procesu plamenného hoření se omezují (zpomalují) probíhající řetězové reakce a tím dochází k zhasnutí plamene. Intenzita průběhu reakce je ovlivněna inhibitory. Proces inhibice může být homogenní nebo heterogenní. Homogenní inhibice spočívají v tom, že určitý meziprodukt řetězových reakcí paliva (radikály, molekuly, ionty) jsou chemicky vázané s jinými radikály, např. vzniklé termickým rozkladem hasicí látky, čímž dochází k přerušení řetězových reakcí a ke zhasnutí plamene. Pro potlačení plamenového hoření patří zejména halogenované uhlovodíky, které řadíme mezi tzv. lapače radikálu. Heterogenní inhibice je přerušení řetězových reakcí na studených površích látek (tzv. stěnový efekt). Jedná se o odebrání části energie z aktivních radikálů vznikajících při procesu hoření nárazem na velký povrch hasicích prášků. Dochází tedy k rekombinaci radikálů a tím pádem k přerušení řetězové reakce *[2]*.

Hasební látky rozděluje do těchto základních skupin:

- Voda
- Pěna
- Halony
- Hasící prášky
- Inertní plyny

2.1.1 Voda

Pro své vlastnosti je voda doposud nejpoužívanější hasební látkou. Pro požární účely se používá buď jako chemický jedinec tj. bez jakýkoliv přísad nebo ve směsi s různými chemikáliemi, které její hasební vlastnosti umocňují *[9]*. Prioritním hasebním efektem vody je efekt chladící. Hořící látka je ochlazena pod teplotu vzplanutí a hoření je přerušeno. *[10]* Vysoká schopnost vody přijímat teplo je způsobená její vysokou tepelnou specifickou kapacitou (4,1868 $kJ.kg^{-1}K^{-1}$) a na druhé straně velmi vysokým specifickým výparným teplem (2.259$kJ.kg^{-1}$ při 100 °C) *[11]*. Tudíž při hašení a při odpařování vody se v prostoru požáru uplatňuje velmi vysoký chladicí účinek následkem extrémně vysokého výparného tepla vody *[8]*. Kromě chladícího efektu plní funkci jako hasební látka i svým dusivým efektem. Odpařením vody se zvětší její objem asi 1700krát a vzniklá pára vytěsňuje z požářiště vzdušný kyslík. U žhnoucích látek (dřevo nebo textilie) není dusivý efekt podstatný, protože molekuly těchto látek zpravidla obsahují dostatek kyslíku potřebného pro hoření a tím je žhnutí udržováno. Obdobné je to také látek, které hoří pouze plamenem. Voda je skvělé

rozpouštědlo. Mísí se s řadou hořlavých kapalin (např. líh, glykol, aceton, kyselina octová a další). Při hašení požáru hořlavých ve vodě rozpustných kapalin, působí voda i svým zřeďovacím účinkem. Mechanickým účinkem vodní clony lze oddělit hořlavé látky od zdroje požáru. Voda zde působí svým dělícím efektem *[9,10]*. Voda v hasební technice má své klady, ale i zápory. Pro hašení požárů vodou, tzn., abychom přerušili hoření v prostoru, musíme určit množství vody, které je potřebné dodat do prostoru, kde požár probíhá *[8]*.

Voda se zpravidla aplikuje do prostoru požáru následujícími způsoby: *[16]*

- Pod tlakem 0,4-0,6 MPa
  - Plným kompaktním proudem
  - Roztříštěným sprchovým proudem (mlhou)
- Pod tlakem 21 MPa
  - Roztříštěným proudem

2.1.2 Pěna

Díky velkému rozvoji průmyslu se setkáváme s hořlavými látkami prakticky kdekoli. Avšak voda již není pro hasební účely dostačující, proto byly vyvinuty jiné druhy hasebních látek, mezi které patří pěna.

Hasící pěna je dvoufázový systém, který se skládá z trojrozměrné stálé struktury lamel, obsahující uzavřený plyn. Je to disperze plynu (nejčastěji vzduchu) v kapalném disperzním prostředí. Podle způsobu přípravy se hasicí pěny dělí na chemické a mechanické. Chemická pěna je připravována chemickou reakcí kyselých a zásaditých složek v roztoku za přítomnosti stabilizátoru pěny (mokrý způsob), nebo smícháním práškové směsi s vodou (suchý způsob). Mechanická pěna je připravována tak, že pěnotvorný koncentrát je smíchán s vodou a převeden do pěnové proudnice. Zde se pak injektorovým způsobem přisává vzduch pro naplnění *[5, 9, 12, 13]*.

2.1.2.1. Druhy pěn

Pěny dělíme nejčastěji podle čísla napěnění. Toto číslo nám vyjadřuje poměr získaného objemu pěny k objemu kapaliny, na základě kterého byla tato pěna vyrobena, tj. udává, kolikrát je objem pěny větší než objem pěnotvorného roztoku *[2, 9]*.

Pěny dělíme dle napěnění:

- Pěnu těžkou s číslem napěnění do 20 – tyto pěny obsahují velké množství vody a malé množství vzduchu. Pěna se rychle rozprostře po povrchu hořlavého materiálu, vytvoří na něm pěnový film a zamezí tak přístupu kyslíku k hořlavé látce. Současně má funkci chladivou. Tyto pěny mají daleký dosah (20-30m). Slouží k hašení požárů látek kapalných např. benzínů, olejů nebo látek tuhých, které hoří plameny a žhnou např. dřevo, guma, papír.
- Pěnu střední s číslem napěnění od 20 do 200 – tyto pěny obsahují menší množství vody než pěny těžké. Její hlavní funkcí je zamezit přístupu plynného oxidovadla. Při použití je omezena krátkým dosahem. Používají se při hašení požárů v dolech, sirouhlíku, juty.
- Pěnu lehkou s číslem napěnění nad 200 – tyto pěny se musí dopravovat pomocí rukávu a na jejich výrobu se používá speciální generátor. Její předností je dusivý efekt. Lehká pěna se využívá při zapěnování velkých prostor jako jsou haly, lodní prostory.

2.1.2.2. Pěnotvorné přísady

Pěnu jako hasební látku připravujeme v místě zásahu. Charakter a vlastnosti pěn, které ovlivňují složení, velmi úzce souvisí s oblastí jejich použití. Tedy podle charakteru a použité koncentrace pěnotvroné přísady lze v okamžiku zásahu připravit pěnu se speciálním zaměřením na příslušný požár *[7, 9]*.

Pěnotvorné přísady dělíme do následujících skupin:

- Proteinové
- Syntetické
- Fluoroproteinové
- Přísady tvořící vodní film
- Odolávající alkoholu

Proteinové pěnotvorné přísady

Kapaliny vznikající hydrolýzou (odbouráváním) bílkovin, bez fluorovaných povrchově aktivovaných látek. Jsou rozpustné ve vodě, používají se k výrobě těžké pěny a obsahují vybrané stabilizátory pěny, konzervační přísady, antikorodanty a mrazuvzdorné přísady. Jsou velmi odolné proti dalšímu ohořívání a tepelnému sálání, mají vysokou stabilitu již při nízké vrstvě a jsou přilnavé. Tyto pěnotvorné přísady mají i své nedostatky, mezi které patří nepříjemný zapách, krátké garanční lhůty při skladování (z důvodu rozkladu bílkovin) a omezená použitelnost. Pěnotvorný roztok obsahuje 4 až 6 % pěnidla ve vodě, číslo napěnění se pohybuje v rozmezí od 6 do 10. Příkladem proteinového pěnidla pro nepolární hořlavé látky je Tutogen F, pro polární hořlavé kapaliny jsou to Tutogen L a Polydol *[2, 9]*.

Syntetické pěnotvorné přísady

Tyto látky jsou směsi připravené na bázi syntetických povrchově aktivních látek, většinou sulfátů nebo sulfonátů vysokomolekulárních alkoholů. Mohou obsahovat fluorované povrchově aktivní látky s doplňujícími stabilizátory *[2, 9]*.
K výrobě kvalitní pěny nám stačí jen polovina množství bílkovinného substrátu, proto jsou tyto pěnotvorné přísady lepší než proteinové. Vyrábí se z nich lehké, střední a těžké pěny. K jejich hlavním výhodám patří širokospektré použití. Příkladem syntetického pěnidla je Expyrol F 15, Sthamex F-15, Sthamex K, Prosintex, Plurex N *[2, 5, 9]*.

Fluoroproteinové pěnotvroné přísady

Jejich hlavní výhodou spočívá v tom, že zkracují dobu hašení v porovnání s dobou při použití běžných proteinových pěnidel. Připravují se přimícháním flurovaných povrchově aktivních látek, rozpustných ve vodě, k proteinovým pěnotvorným přísadám *[2, 5, 9]*.
Flouoroproteinové pěnové přísady dělíme na:

- Fluoroproteinové pro nepolární hořlavé kapaliny (např. Aerowater XL-3)
- Fluoroproteinové pro polární hořlavé kapaliny, obsahující stabilizátory pěny (např. Tutogen FP)
- Filmotvorné fluoroproteinové pro polární hořlavé kapaliny, obsahující polysacharidy a látky tvořící vodní film (např. Alcoseal)
- Filmotvorné fluoroproteinové obsahující látky tvořící vodní film (např. Pertoseal)

Přísady tvořící vodní film

Je to skupina pěnotvorných přísad tvořená ze směsi uhlovodíků a fluorovaných povrchově aktivních látek. Při jejich aplikaci se vytvoří na hladině polárních kapalin nemísitelných s vodou vodní film. Díky tomuto jevu, lze rychle uhasit požár. Tyto pěnotvorné přísady označujeme ve zkratce jako přísada AFFF (Aqueous Film Forming Foam). Příkladem těchto přísad je např. Light Water AFFF FC-203 A, Light Water AFFF FC-206, Finiflam A3F, Finiflam A3F *[2, 5, 9]*.

Přísady odolávající alkoholu

Jejich velkou výhodou je odolnost proti rozkladu při aplikaci na povrchu kapalných paliv mísitelných s vodou. Tato skupina látek se používá pro hašení látek, jako jsou uhlovodíkové paliva. Příkladem těchto látek je Moussol APS F-15, Finiflam A3F/A, Expyrol FA-15 *[2]*.

2.1.2.3. Fyzikální vlastnosti pěn

Pěna je disperzní systém, ve kterém je disperzním prostředím kapalina (heterogenní směs plynu a kapaliny) a dipergovanou látkou plyn (vzduch). Pěnidlo je tedy kapalina, která se ředí s vodou a vytvoří pěnotvorný roztok. Je to nestabilní systém, který podléhá rychlým změnám. Všechny pěny jsou nestabilní a přechází do počátečního stavu. Rychlost této přeměny je důležitým ukazovatelem na posuzování stability pěny. U hasících pěn se stanovuje poločas nebo čtvrtčas rozpadu jako jeden ze základných ukazovatelů jejich kvality *[13]*.

Tabulka č. 1 Vybrané vlastnosti pěn *[13]*

Vlastnost	**Druh pěny**							
	Těžká pěna					**Střední pěna**		**Lehká pěna**
	Pěnidlo							
	Proteinové			**Syntetické**		**Syntetické**		**Syntetické**
	Protei-nové	**Fluoro proteinové**	**FFFP**	**MBS** [4)]	**AFFF AFFF/AR**	**MBS**	**AFFF AFFF/AR**	
Odolnost proti alkoholu	○[1)]	○[1)]	++[1)]	●	++[2)]	●	++[2)]	●
Tvorba filmu	●	○	++	●	++	●	++	●
Tekutost	○	++	++	+	++	○	++	●
Plynotěsnost	+	++	++	+	++	○	++	●
Přilnavost	++	+	●	○	●	○	●	●
Izolační vlastnosti	++	++	○	+	○	++	○	++
Chladicí vlastnosti	+	+	++	++	++	○	+	●
Čas uhašení	○	+	++	+	++	+	++	○
Smáčecí schopnost	●	○	++	+	++	○	++	●
Hmotnost pěny	++	++	++	++	++	○	○	●
Výška pěny	○	○	●	○	○	++	○	++
Stabilita pěny	++	+	○	++	○	○	●	○
Schopnost zadržovat vodu	++	+	●	++	+	○	●	●
Dostřik	++	++	++[3)]	+	++[3)]	○	○	●

Poznámka:

++velmi dobrá [1)] jen pro proteinová pěnidla odolné proti alkoholu
+ dobrá [2)] jen pro syntetické AFFF pěnidla odolné proti alkoholu
○ vhodná [3)] AFFF a FFFP se můžou aplikovat na minerální oleje bez napěnění
● nevhodná [4)] MBS – víceúčelová pěna

2.1.2.4. Princip a zařízení pro přípravu hasicí pěny

Pěna je homogenní směs, která se připravuje smícháním vody a pěnidla v patřičném poměru. Známe řadu způsobů promíchání pro vytvoření pěnotvorného roztoku. Jako jsou například:

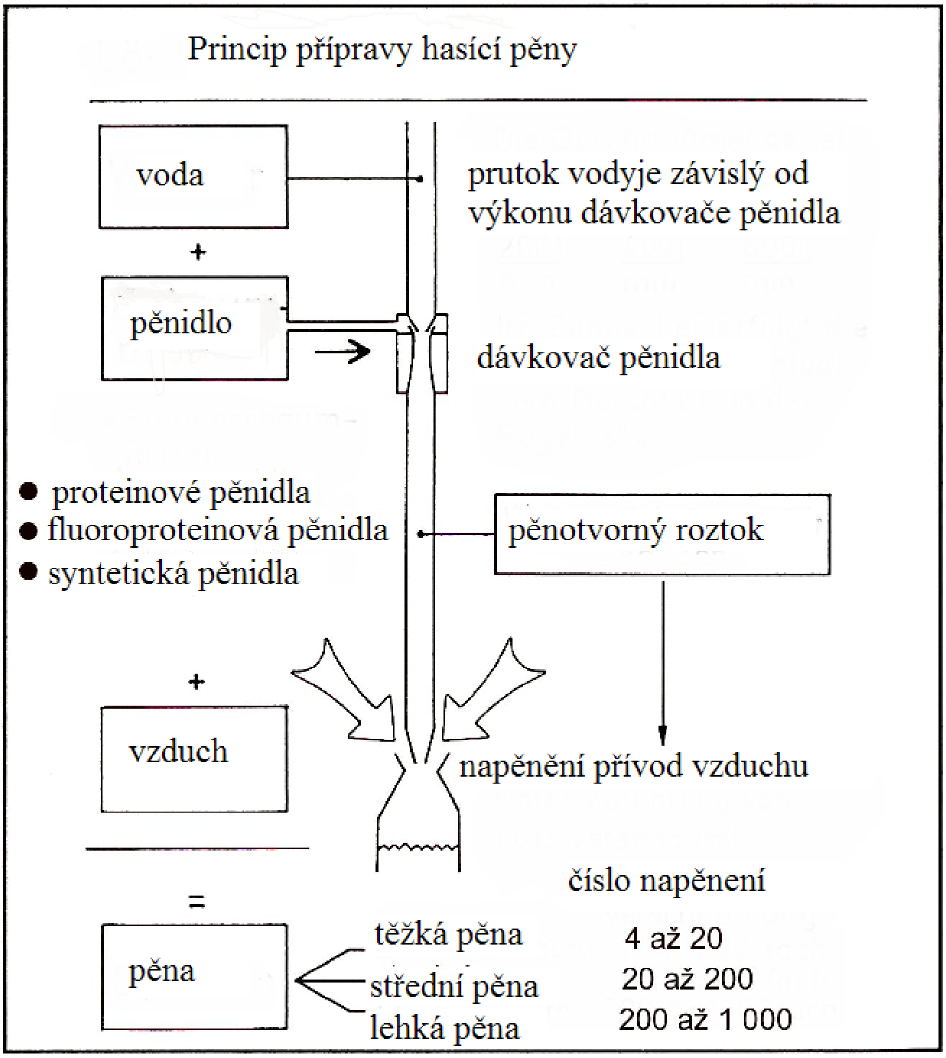
- Tlakové promíchávání s dvěma čerpadlami – k vhodnému čerpadlu, které zásobuje systém vodou, je přidané menší čerpadlo na pěnidlo, které je určené na promíchávání.
- Vstavěný proudnicový promíchávač – pěnidlo je přisávané hadicí, která spojuje pěnotvornou proudnici s nádobou na pěnidlo. Samostatně se míchá pěnidlo s vodou.
- Přenosný promíchávač „in-line“ – je připojen hadicemi na zdroj pěnidla a umístěn v přívodním vodním potrubí.

- Promíchávání přes kalibrovaný otvor – pro tento způsob přípravy pěny se použije samočinné čerpadlo, kterým se pěnidlo vstřikuje do proudu vody.
- Tlaková promíchávací nádrž – tento způsob je vhodný na vytlačení pěnidla z uzavřené nádrže vodou (s nebo bez separační membrány).
- Čerpadlový (obtokový) promíchávač – využívá pokles tlaku mezi výtlačnou a sací stranou čerpadla na vodu, pro přisávání pěnidla do vody přes proměnlivou nebo pevnou clonou, která je připojena na Venturiho promíchávač.

Pěna se připravuje pomocí:

- Pěnotvorné proudnice
- Stabilního pěnotvorného zařízení
- Tlakového pěnotvorného zařízení

Na obrázku č. 2, který popisuje způsob přípravy hasící pěny, jsou pěnotvroné proudnice a stabilní pěnotvorné zařízení přisávající vzduch. Jsou napojené na přívod pěnotvorného roztoku, který vstupuje do prostoru s volným přístupem vzduchu. Část energie kapaliny se spotřebuje na přisávání vzduchu do pěnotvorného roztoku turbulencí vstupujícího proudu a vytváří v tomto bodě kompaktní pěnu *[2, 13]*.



Obr. č. 2 Princip přípravy hasící pěny [13]

2.1.2.5. Hasební efekt pěn

Mechanizmus pěny, jako hasební látky, spočívá na fyzikálních principech. Mezi hlavní hasební efekty patří:

- Izolační efekt – odděluje hořící materiál od plamene
- Dusivý efekt – pěna pokryje celou hořící plochu a tím zamezí přístupu kyslíku k hořlavé látce a zabraňuje vypařování par hořlavých kapalin.
- Chladící efekt – snižuje teplotu hořcí látky a tím zpomaluje rychlost hoření.

2.1.2.6. Související legislativa pro pěnotvorné látky

V dnešní době se požadavky na bezpečné a ekologické nakládaní s pěnidly a rovněž požadavky na vlastnosti a parametry pěnidel zabývají celky právních předpisů.

Problematika týkající se hasebních látek je zahrnuta v aktualizovaném zákoně č. 350/2011 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích, chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon) *[26]*. Tento zákon se vztahuje na klasifikaci, hodnocení nebezpečných látek a směsí, jejich fyzikální a chemické vlastnosti, označení a balení směsí, atd. *[26]*. Obecně pro odběratele pěnotvorných hasebních látek a veškerých nebezpečných látek jsou nedůležitější bezpečnostní listy. Povinnost doložit potřebné informace o přípravku vyplývá z Nařízení EU 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, a o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES (nařízení REACH) *[27]*. Bezpečnostní listy obsahují souhrn identifikačních údajů o výrobci nebo dovozci, údaje o nebezpečné látce a údaje potřebné pro ochranu zdraví a životního prostředí. Bezpečnostní list je povinen poskytnout dodavatel, který uvádí na území České republiky na trh nebezpečnou látku nebo směs. Dokument je poskytován bezplatně nejpozději při prvním předání nebezpečné látky jiné osobě a je rovněž překládán celnímu úřadu při dovozu nebo vývozu. Bezpečnostní list může být poskytnut buď ve formě tištěné, nebo elektronické všem příjemcům (ne spotřebitelům). Musí být vypracován v českém jazyce a na první straně musí být datum jeho vydání, případná revize. Nová revidovaná verze se zašle všem odběratelům 12 měsíců nazpět. Informace se uvádějí pro každou nebezpečnou vlastnost *[55]*.

BL obsahují:

- Identifikace látky nebo směsi a výrobce nebo dovozce
- Údaje o nebezpečnosti látky nebo přípravku
- Informace o složení směsi
- Pokyny pro první pomoc
- Opatření pro hasební zásah
- Opatření v případě náhodného úniku látky nebo směsi
- Pokyny pro zacházení s látkou nebo směsí a jejich skladování
- Omezování expozice látkou nebo směsí a ochrana osob
- Informace o fyzikálních a chemických vlastnostech látky nebo směsi
- Informace o stabilitě a reaktivitě látky nebo směsi
- Informace o toxikologických vlastnostech
- Ekologická informace
- Pokyny pro odstraňování látky nebo směsi

- Informace pro přepravu
- Informace o právních předpisech vztahujících se k látce nebo směsi
- Další informace vztahující se k látce nebo směsi

Problematika hotových výrobků zahrnující tyto pěny je ošetřena zákonem č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, který stanovuje způsob stanovování technických požadavků na výrobky, práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo distribuují, popřípadě uvádějí do provozu výrobky, způsob zajištění informačních povinností souvisejících s tvorbou technických předpisů a technických norem atd. *[56]*. Tento zákon byl již několikrát novelizován a nejnovější změny jsou uvedeny v zákonu č. 34/2011, kterým se mění zákon č. 27/1997 Sb, o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Tento nový zákon nabyl účinnosti dne 20. 7. 2011 *[28]*.

2.1.2.7. Vliv na životní prostředí

Při požáru, jsou produkty hoření a spalin mnohem škodlivější pro životní prostředí než použitá hasební látka. Každé hasivo musí mít výborné vlastnosti a schopnosti, aby co nejrychleji a nejefektivněji zneškodnilo zdroj hoření a snížilo tak tvorbu toxických látek a zbytků po spalování. Při aplikaci hasících pěn v blízkosti povrchových vod hrozí největší nebezpečí pro ryby a vodní organismy. Pokud porovnáme toxicitu pěnidel s toxicitou chemických látek, můžeme usoudit, že je nízká. Ekotoxicita pro vodní organismy u hasebního prostředku PYROCOOL – FEF FOAM je stanovena na LC50 = 50 mg/l *[2, 57]*. Environmentální problémy, které mohou vyplynout s používáním hasebním pěn, jsou způsobené sekundární toxicitou rozkladných produktů. Výrobci často deklarují, že jejich výrobky jsou méně toxické a jsou biologicky odbouratelné. Hasební látky mohou být biologickou nebo chemickou cestou odbourávány na původní látky na rozkladné produkty, které jsou přijatelné pro životní prostředí. Biologická degradace je způsobena mikroorganismy a houbami. Stupeň degradace je často udáván jako poměr biochemické spotřeby kyslíku (BSK) a chemické spotřeby kyslíku (CHSK). Biochemická spotřeba kyslíku je množství kyslíku, které je potřeba k úplné oxidaci biologicky odbouratelných látek obsažených ve zkoumané vodě. Toto množství kyslíku je úměrné k množství přítomných rozložitelných látek a z této hodnoty se odhadne úroveň znečištění vod pěnou. Chemická spotřeba kyslíku udává spotřebu kyslíku potřebnou k oxidaci organických látek. Ukazuje na organický indikátor znečištění vod. *[2, 13, 14]*.

Vysoká toxicita pěnidel pro vodní organismy je způsobena přítomností tenzidů, které snižují schopnost vody absorbovat atmosférický kyslík. Například často aplikovaná syntetická pěnidla se používají v koncentracích 2 – 7 %, a to v závislosti na použitém druhu pěnidla. Tyto koncentrace značně převyšují hodnoty koncentrací udávaných jako toxické pro vodní organismy *[1]*.

Vodné pěny tvořící film jsou v současnosti nejúčinnějším dostupným prostředkem k hašení hořících uhlovodíků, rozpouštědel a alkoholů ve vojenských, průmyslových i veřejných objektech. O vlivu těchto hasebních prostředků na životní prostředí bylo často polemizováno. Nejasnosti ohledně hasiva tvořící film (Aqueous Film Forming Foam - AFFF), založeného na bázi telomerů, které by mělo být pravděpodobně zdrojem kyseliny perfluoroktanové (PFOA) a perfluoroktansulfonanu (PFOS), které jsou toxické pro životní prostředí, byly postupně vyvráceny monitoringem oblastí podzemních vod. Monitoring probíhal na třech vojenských pracovištích, na nichž byly použity AFFF při požárním výcviku a na prostoru, kde byla AFFF použita k hašení požáru havarovaného letadla. Výzkum dospěl k závěru, že

perfluoralkylsulfonany a perfluorkarboxylové kyseliny pocházející z AFFF, které vyrábí například společnosti Kidde, Ansul či Buckeye, nejsou zdrojem PFOS nebo jeho homologů a je nepravděpodobné, že by byly zdrojem PFOA nebo jejích homologů *[17]*.

Abychom snížili vliv hasebních pěn na životní prostředí, museli bychom do budoucna zabezpečit výrobu nové generace pěnidel bez perfluorovaných povrchově aktivních látek, modifikací fluorotelomerového typu pěn nebo snížením množství použitého pěnidla a vody *[2]*.

Informace o ekotoxikologickém testování hasebních prostředků jsou velmi sporadické. Ve studii zabývající se ekotoxicitou hasebních prostředků byl sledován vliv na inhibici růstu kořene *Sinapis alba*. Test byl prováděn na 4 vybraných hasebních prostředcích, které byly testovány v těchto koncentracích: 1%, 3%, 6%, 9% a 12%. Výsledky zahrnující procenta inhibice růstů kořene hořčice bílé těchto hasebních látek jsou uvedeny v tabulce č. 2 *[57]*.

Tabulka č. 2: Výsledky studií vybraných hasebních prostředků

	Název pěny	$IC_{1\%}$ (%)	$IC_{3\%}$ (%)	$IC_{6\%}$ (%)	$IC_{9\%}$ (%)	$IC_{12\%}$ (%)
1.	Sthamex AFFF 1%	96,2				
2.	Sthamex AFFF F-15	87,6	88,3			
3.	Pyronil	98,0				
4.	Mousol APS F-15	66,2	76,7	87,9	89,6	98,3

V ekotoxikologické testu na testovacím organismu *Sinapis alba* bylo prokázáno, že i nízká koncentrace pěnidla vykazuje značnou toxicitu. Pro další porovnání toxicity pěnotvorných látek, jsou uvedeny v tabulce č. 3 hodnoty LC50 (mg/l) a EC50 (mg/l) pěnidel, které jsou testované na různých vodních organismech *[2]*. V tabulce č. 4 a č. 5 jsou uvedeny hodnoty pro hasební pěny PYROCOM a DuPonT™ FE-36™ *[2]*.

Tabulka č. 3: Výsledky studií vybraných hasebních prostředků

Testovací organismus	Typ pěnidla		
	Syntetické (mg/l)	Fluorosyntetické tvořící vodní film (mg/l)	Flouoroproteinové tvořící vodní film (mg/l)
Losos, pstruh (96hLC50)	7 – 78	4200	1300 – 4200
Daphnia magna (48hEC50)	7 – 11	12300	1300 – 38000

Tabulka č. 4: Hodnoty EC pro hasební pěnu PYROCOM

Testovací organismus	Toxicita (mg/l)
Daphnia magna (48hEC50)	13700
Daphnia magna (48EC100)	15000
Řasy (72hEC50)	700 000

Tabulka č. 5: Hodnoty EC pro hasební pěnu DuPonT™ FE-36™

Testovací organismus	Toxicita (mg/l)
Daphnia magna (48hEC50)	299
Danio pruhované (96hLC50)	292
Řasy (72hEC50)	186

Z výsledků studií můžeme usoudit, že ekotoxicita různých hasebních pěnidel pro vodní organismy je velmi odlišná. Každý organismus má různý práh citlivosti a na každou testovanou látku reaguje různorodě. Z výsledků je velmi znatelné, že tato skupina pěnotvorných látek prokazuje značnou toxicitu.

2.1.3 Halony

Jsou to synteticky připravované organické sloučeniny, které mají v průmyslové praxi široké využití (např. klimatizační zařízení, chladící zařízení, chemický průmysl, zdravotnictví, aerosolové výrobky, hasicí zařízení a další.) Obecně halony dělíme do dvou základních skupin:

- Tvrdé halony – mají vynikající hasební vlastnosti, ale bohužel nepříznivý vliv na životní prostředí, zejména pak na ozonovou vrstvu země. Patří do skupiny halogenderivátů a jejich molekula se skládá z uhlíku a z halových prvků (mohou obsahovat v molekule fluor nebo chlor, ale vždy obsahují brom). Výroba této hasební látky je již zastavena dle mezinárodních úmluv. Řadíme sem např. halon 1301, halon 1211 *[9]*.
- Měkké halony – označují se zkratkou HBFC a obsahují v molekule vedle uhlíku, fluoru, chloru a bromu i vodík. Mají podstatně kratší atmosférickou životnost než tvrdé halony, proto mají příznivější vliv na ozonovou vrstvu země. Nicméně jejich výroba byla také ukončena dle mezinárodních úmluv. Do této skupinu halonů řadíme např. hasební látku FM-100™ *[9]*.

Tyto látky mají výborné hasící vlastnosti a řadíme je mezi tzv. bez zbytkové hasící látky, které se po aplikaci rychle vypaří. Mají kombinovaný mechanismus hašení, ale většinou u nich převládá princip chemického mechanizmu. Hasí rychle, čistě a bezpečně díky chemickým reakcím probíhajícím mezi halonem a hořící látkou. Halon se v plameni rozkládá na radikály, které rychle a bezpečně přivodí terminační reakci radikálů hořlavých látek vzniklých požárem. Uhašení požáru je doprovázeno řadou vedlejších reakcí. Ty způsobují vznik toxických produktů, jako jsou halové prvky, halogenvodíky, halogenderiváty kyseliny uhličité a další. Řadu let sloužily jako čisté a účinné hasivo, ale od 70. let 20. století se ukázal jejich nepříznivý vliv na životní prostředí. Z těchto důvodů podle Montrealského protokolu z roku 1987 a Kodaňského dodatku k tomuto protokolu, platí zákaz výroby halonů od roku 1. 1. 1994. Řada odborníku ve snaze za halony nalézt náhradu, vyvinula tzv. halonové alternativy ve třech kategoriích *[2, 5, 9, 18]*.

- Halonové alternativy I. kategorie – organické halogenderiváty, které vedle uhlíku a halových prvků včetně bromu obsahují v molekule vodík.
- Halonové alternativy II. kategorie – obsahují v molekule uhlík, vodík a z halových prvků fluor a chlor. Molekula neobsahuje brom.
- Halonové alternativy III. kategorie – obsahují v molekule uhlík, vodík a z halových prvků pouze fluor.

2.1.4 Hasící prášky

Hasící prášky jsou látky v pevném skupenství, které ničí požár na principu mechanického hašení. Z hasicího zařízení jsou částice prášku o velikosti asi 0,1 mm vypuzovány pod tlakem a vytváří tak práškový mrak nad celým požářištěm. Odebírají zde energii radikálům, které vznikly při požáru a tím je likvidují (terminují). Hasící prášky se připravují smícháním anorganických a organických tuhých látek, rozemletých na předepsané velikosti částic *[2, 5, 7]*. Nejvíce používané chemikálie jsou:

- hydrogenuhličitan sodný $NaHCO_3$,
- hydrogenuhličitan draselný $KHCO_3$,
- hydrogenfosforečnan amonný $(NH_4)_2HPO_4$,
- dihydrogenfosforečnan amonný $NH_4H_2PO_4$,
- síran amonný $(NH_4)_2SO_4$,
- síran sodný Na_2SO_4,
- síran draselný K_2SO_4,
- chlorid sodný NaCl,
- chlorid draselný KCl.

V praxi se označují hasící prášky podle vhodnosti použití pro jednotlivé třídy požárů:

- ABC prášky – vhodné pro hašení tuhých, kapalných, plynných látek a některých kovů (nelze s nimi však hasit alkalické kovy – sodík, draslík apod.) Základní látkou jsou $(NH_4)_2HPO_4$ a $NH_4H_2PO_4$. Mají izolační účinek.
- BC prášky – vhodné pro hašení hořlavých kapalin, plynů a pevných látek, které se taví vlivem tepla. Nevýhodou je, že nemají izolační ani chladící účinek, je nebezpečí opětovného znovu vznícení především u hašení hořlavých kapalin. Z tohoto důvodu se kombinuje nasazení prášku a pěny.
- M prášky – speciální prášky M jsou vhodné pro hašení požárů hořlavých kovů, ale i alkalických kovů *[2, 5, 7]*.

2.1.5 Inertní plyny

Do této skupiny hasebních látek řadíme především oxid uhličitý a dusík. Argon ze skupiny vzácných plynů slouží jako hasivo buď ve formě:

- Chemického jedince (hasivo pro speciální účely)
- Jako složka moderních typů hasiv

Jsou schopny hasit požár svým dusivým a zřeďovacím účinkem – vznikem inertního prostředí v určitém zařízení. Ochuzují požár o oxidační prostředky a tím oddělují vzduch a v něm obsažený kyslík od požáru, nebo ho z technologického zařízení vytěsní. *[9]*.

Oxid uhličitý: je bezbarvý, nehořlavý plyn, slabě nakyslého zápachu a chuti. Je snadno zkapalnitelný, na bezbarvou pohyblivou kapalinu. Za atmosférického tlaku se mění při teplotě -78,48°C na tuhou, bílou hmotu, která má podobu sněhu. Tuhý oxid uhličitý způsobuje popáleniny na kůži až třetího stupně. Je to chemicky málo reaktivní plyn. Pravděpodobnost chemické reakce s hořícím mediem při požáru je malá. Existuje ovšem skupina látek (sodík, draslík, hořčík, zinek a jejich slitiny), se kterými při teplotách požáru snadno reaguje za vzniku látek hořlavých, výbušných a často i toxických pro lidský organismus. V hasební technice lze použít oxid uhličitý ve třech formách (plynný, aerosolový ve formě mlhoviny a tuhý) *[9]*.

Dusík: je bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu**.** Jako hasební látka se může použít tam, kde by se oxid uhličitý vlivem své hustoty držel při zemi a mohl tak ohrozit zdraví. Mezi jeho nevýhody patří přechovávání v tlakových nádobách o přetlaku 15MPa *[9]*.

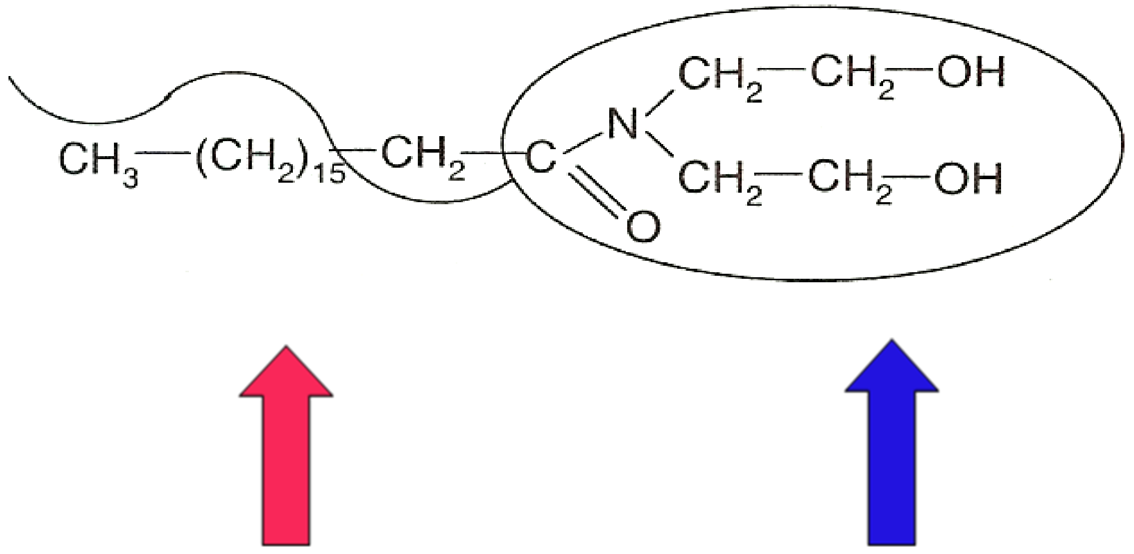
2.2 Tenzidy

Jsou základní složkou pro pěnové hasební látky a tím zlepšují její hasební vlastnosti. Termín tenzid označuje povrchově aktivní látku (název je odvozen z latinského *tensio*). Tento termín byl navržen v Německu, zatímco v USA se používá spíše název *surfactant* od sousloví *surface-active agent* (povrchově aktivní látka) *[19, 20]*.

Tenzid je organická látka, která je schopna se hromadit již při nízké koncentraci na fázovém rozhraní a tím snižovat mezifázovou resp. povrchovou energii soustavy. Tenzidy vykazují povrchovou aktivitu, která se projevuje pěněním jejich vodných roztoků. Jsou hlavní součástí pracích, čistících, mycích, emulgačních, dispergačních a pěnících prostředků. Směs tenzidů a dalších látek se nazývají detergenty. Ty mají detergenčí vlastnosti, které umožňují převádět nečistotu z pevného povrchu do objemové fáze roztoku *[20, 21]*.

Mezi fyzikálně chemické konstanty tenzidů patří kritická micelární koncentrace; při nízkých koncentracích netvoří koloidní soustavu, ale při zvyšování jejich koncentrace se molekuly shlukují a vytvoří tzv. micely koloidních rozměrů. Další vlastností je HLB (hydrofilně-lipofilní rovnováha). Konstanta HLB udává rovnovážný poměr mezi hydrofilní a lipofilní částí molekuly tenzidu *[22, 23, 34]*.

Molekula tenzidu se skládá z nepolárního uhlíkatého řetězce (hydrofobní část) a z polární skupiny (hydrofilní část) viz obr. č. 3. Podle charakteru polární skupiny je možné tenzidy rozdělit do čtyř skupin – aniontové (AT), kationové, neiontové (NT) a amfoterní *[24]*.



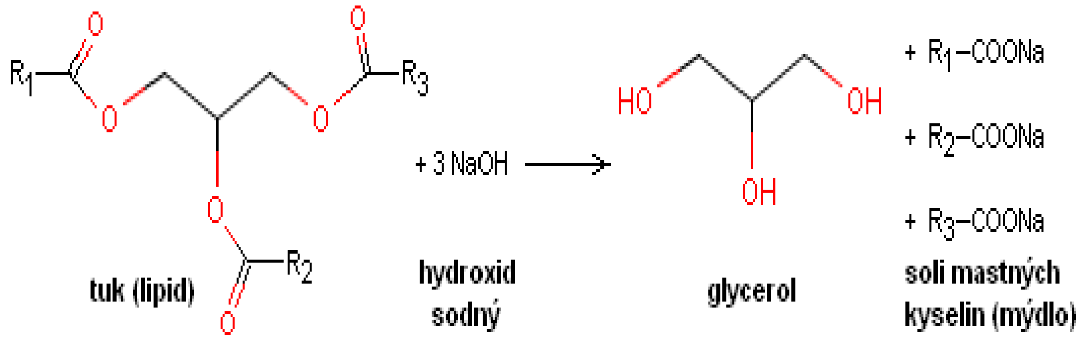
Hydrofobní část Hydrofilní část

Obr. č. 3 Molekula tenzidu [24]

2.2.1 Aniontové tenzidy

Tato skupina tenzidů je charakteristická tím, že aniontové tenzidy disociují na povrchově aktivní anion. Mezi skupinu aniontových tenzidů řadíme například: mýdlo, alkylsulfáty, alkanosulfáty, sulfátové neiontové tenzidy aj.

Mýdla jsou soli vyšších alifatických kyselin přírodního původu, mají obvykle 16 až 17 uhlíků a přímý řetězec. Vyznačují se snadnou biologickou rozložitelností. Ve vodném roztoku tvoří s ionty vápníku a hořčíku málo rozpustné sloučeniny. Mýdlo je obsaženo jako vedlejší tenzid v práškových pracích prostředcích, kde kromě toho působí i jako odpěňovač. Z hlediska vodohospodářského, je mýdlo nezávadné. Obecná struktura mýdla je R.COONa, resp. R.COOK *[20, 21, 39]*.



Obr. č. 4 Výroba mýdla

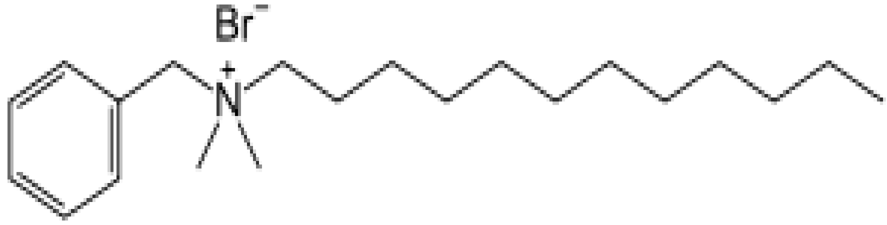
Alkylsulfáty vznikají sulfatací vyšších alifatických alkoholů. Tato skupina tenzidů lehko podléhá biologické hydrolýze. Obecný vzorec je $R\text{-}CH_2\text{-}O\text{-}SO_3Na$. Biologický rozklad záleží na charakteru alkylu, pokud je alkyl lineární, podléhají alkylsulfáty snadnému biologickému rozkladu. Pro zlepšení rozpustnosti tenzidů, pěnivosti, smáčivosti a pracího účinku se při přípravě alkylsulfátu molekula alkoholu upraví oxyethylací s několika jednotkami etylenoxidu. Alkylsulfáty Ca a Mg jsou ve vodě v celku rozpustné. Z vodohospodářského hlediska se jeví jako nezávadné *[20, 30]*.

Alkylsulfonáty a alkensulfonáty vznikají sulfonací vyšších alkanů a alkenů. Jsou charakteristické vazbou -C-S-, která nepodléhá hydrolýze. Obecný vzorec sloučeniny je $R\text{-}CH(SO_3Na)\text{-}R$. Obvykle se jedná o směs derivátů s blíže neurčeným počtem sulfonových skupin v molekule. Pokud je alkyl přímý, jsou tyto tenzidy biologicky snadno rozložitelné a z hlediska vodohospodářského vykazují malou závadnost *[20]*.

Alkenobenzensulfonáty se připravují alkylací benzenu uhlovodíkovými frakcemi C_{10} až C_{18} z ropy a jeho sulfonací. Řadíme je mezi nejčastěji používané tenzidy. Je základním tenzidem pro detergenty, tzn. práškové prací prostředky a kapalné mycí a prací prostředky. Aromatické jádro je v nich vázáno na sekundární uhlíkový atom. Tyto látky s rozvětvenými alkyly jsou těžce biologicky rozložitelné, a proto jsou z vodohospodářského hlediska nepřípustné. V současné době převažuje výroba s lineárními alkyly, označovaných lineárních alkylbenzensulfonáty (LAS). Ve světě jsou pro výrobu LAS a pro výrobu lineárního alkylbenzenu, který je výchozí surovinou pro LAS vybudovány velké výrobní kapacity. Další se staví zejména v Asii, zatímco v Evropě a Severní Americe spotřeba LAS v posledním desetiletí mírně klesá *[20, 21]*.

2.2.2 Kationtové tenzidy

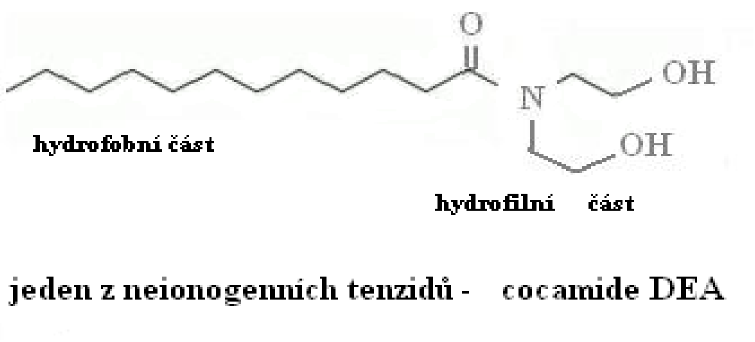
Tato skupina tenzidů je charakteristická tím, že kationtové tenzidy disociují na povrchově aktivní kation. Mezi nejvýznamnější řadíme především kvarterní amoniové a pyridinové sloučeniny, které obsahují v molekule alespoň jeden dlouhý hydrofobní řetězec. Mají výborné antistatické a změkčující vlastnosti, proto jsou součástí aviváží a máchacích prostředků. Kromě avivážního účinku vykazují i významný mikrobicidní dispergační efekt. Mají fixační vlastnosti zabraňující blednutí barevných textilních vláken a také se používají v prostředcích určených pro impregnaci. Kationické tenzidy se dále používají do kondicionačních přípravků pro vlasovou kosmetiku. Jejich biologická rozložitelnost je oproti anionickým tenzidům obecně horší *[20, 31, 32]*.



Obr. č. 5 Kationtový tenzid (Ajatin)

2.2.3 Neiontové tenzidy

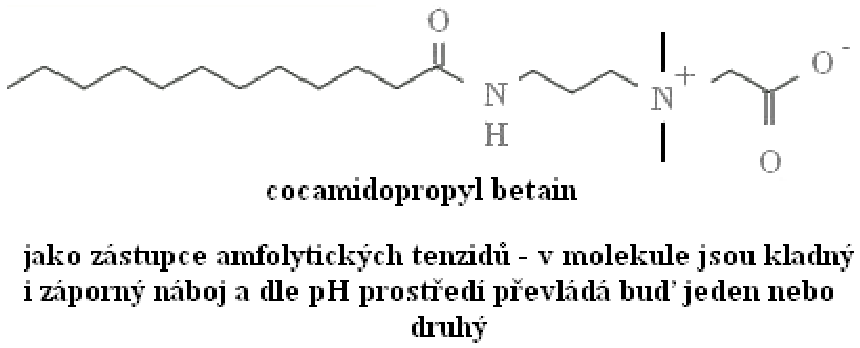
Tato skupina tenzidů je charakteristická tím, že neiontové tenzidy nedisociují a rozpouštějí se solvatací většího počtu hydrofilních skupin. Do této skupiny tenzidů řadíme oxyethylenáty alkoholů, fenolů, kyselin, amidů a aminů nebo esterovým můstkem spojujícím hydrofilni polyalkylenoxidovou část molekuly s části hydrofobní. Hydrofilní část neiontových tenzidů je tvořena kumulovanými hydrofilními skupinami a ve vodě nedisociuje; afinita vůči molekulám vody je podmíněna jejími hydratačními schopnostmi. Hydrofobní část tvoří alifatický uhlovodíkový řetězec. Výsledná sloučenina je vždy směsí polymerních homologů. Neiontové tenzidy se využívají zejména v textilním průmyslu jako lubrikanty, dále jako antistatické a apretační prostředky. Oxyethylenáty se rovněž používají jako emulgátory v kosmetice a dalších odvětvích. Pro výrobu hasební pěny se nejvíce využívá ether dodecylglykol polyethylenový ze skupiny ethoxylovaných alkylfenolů. Tato látka je odolná proti kyselinám, zředěným zásadám a koncentrovaným elektrolytům. Má velmi dobré pěnotvorné, prací i smáčecí schopnosti *[20, 21, 32]*.



Obr. č. 6 Neiontový tenzid

2.2.4 Amfolitické tenzidy

Tato skupina tenzidů je charakteristická tím, že amfolitické tenzidy mohou nabývat aniontového nebo kationového charakteru podle hodnoty pH prostředí. Tato skupina tenzidů má velmi dobré čistící a prací schopnosti, jsou součástí aviváží a antistatických prostředků. Využití mají hlavně v kosmetickém průmyslu, kde jsou součástí vlasových i tělových šamponů, tekutých mýdel a koupelových pěn. Jsou charakteristické přítomností dvou hydrofilních skupin, kyselé (karboxylové skupiny nebo sulfoskupiny) a zásadité (aminoskupiny nebo amoniové skupiny). To jím umožňuje se chovat v alkalickém prostředí jako aniontové tenzidy a v kyselém prostředí jako kationové. Molekula tenzidu musí obsahovat alespoň jeden dlouhý alifatický řetězec. Mezi hlavní zástupce patří např: alkylbetainy *[20, 21]*.



Obr. č. 7 Amfolitický tenzid

Stálý pokrok při inovaci tenzidů nám dává širší přehled o možnostech. Vyvíjí se nové skupiny tenzidů, které jsou šetrnější k životnímu prostředí, ale zároveň splňují požadavky, které jsou na ně kladeny z hlediska upotřebení. Příkladem jsou Gemini-tenzidy (*Gemini-Surfactants*), které obsahují dvě hlavní hydrofilní skupiny a dva hydrofobní řetězce. Tato skupina tenzidů se liší od běžných tím, že má nižší hodnoty kritické micelární koncentrace a více snižuje povrchové napětí. Příkladem Gemini-tenzidu je aniontový dialkylaryldisulfonát. Tyto látky se dají také připravit na bázi sacharidů, které se vyznačují zejména svojí netoxickou vlastností, vynikající biologickou degradabilitou a bez dermatologických obtížností *[20, 29, 40]*.

2.2.5 Současná legislativa tenzidů

Této skupině látek je věnovaná z hlediska legislativy velká pozornost, která souvisí s masivním a plošným užíváním těchto látek. Z historického hlediska první vývoj legislativy, která upravuje nakládání s tenzidy a detergenty, reguluje jejich pohyb na trhu a zajišťuje ochranu životního prostředí a lidského zdraví v souvislosti s jejich používáním, započal v 70. letech 20. století v Evropské unii. V České republice asi o 20 let později. V roce 2004, kdy ČR vstoupila do Evropské unie, je právní úprava EU závazná též pro ČR. Rozhodujícími pravomocemi v oblasti legislativy pro Evropskou unii disponuje Rada EU, výkonným orgánem je Komise EU, která má výlučné oprávnění předkládat návrhy právních aktů. Rada EU spolupracuje s evropským parlamentem, který hájí zájmy občanů.

První dohoda, která byla předchůdcem pro legislativní úpravu tenzidů, vznikla v rámci ČR v roce 1995, kdy ČR nebyla ještě součástí EU, mezi Českým sdružením výrobců mýdla, čisticích a pracích prostředků (CSDPA) a Ministerstvem životního prostředí. Nazývala se

Dobrovolná dohoda a její podstatou byla dohoda o postupném snižování dopadů pracích prostředků na životní prostředí. Oproti nynější legislativě měla značnou výhodu, neboť měla rychlejší nástup účinku a z hlediska potřeby implementace změň, byla flexibilnější. Tato dohoda se týkala pouze detergentů určených k domácímu použití. V době, kdy nabilo platnost nařízení č. 648/2004 o detergentech pro EU, bylo automaticky bez jakékoliv potřeby implementace do českého právního řádu závazné i pro ČR. Orgánem odpovědným za sdělování a výměnu informací týkajících se provádění nařízení č. 648/2004 bylo ustanoveno Ministerstvo životního prostředí. Hlavním kontrolním orgánem je Česká inspekce životního prostředí, která zabezpečuje dozorovou činnost u výrobců, distributorů a uživatelů chemických látek. Mezi další kontrolní orgány patří krajská hygienická stanice, která však vykonává dozorovou činnost pouze pro předměty běžného užívání. V den vstupu ČR do EU byly veškeré právní úpravy závazné pro ČR. To znamená, že byly příslušné směrnice EU týkající se tenzidů a detergentů implementovány do zákona č. 356/2003 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů a dále do vyhlášek Ministerstva životního prostředí týkající se této problematiky. Důležité jsou také změny v posuzování biodegrability, kterou popisuje zákon č. 648/2004 o posuzování úplné biodegradability tenzidů obsažených v detergentu. Pro testování úplné biodegrability se využívají metody popsané v tomto zákoně. Povinností každého výrobce je označení detergentů na obalech, který určuje zákon č. 648/2004. Zde by měly být uvedeny informace o vybraných složkách, přítomnosti enzymů, dezinfekčních prostředků, optických zjasňovačů, parfémů, konzervačních činidel a další. Důležité je také uvést dávkování. Tenzidy, které jsou označené, jako ekologicky šetrné mají tzv. ekoznačku. V české republice je zaveden systém pro udělování ekoznaček pro detergenty a jiné výrobky obsahující tenzidy státem garantovaná ochranná známka „ekologicky šetrný výrobek". Tu výrobek dostává v rámci národního programu, který koordinuje Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Agenturou pro ekologicky šetrné výrobky. S touto skupinou látek také souvisí nařízení č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, které vstoupilo v platnost 1. 6. 2007. Toto nařízení se uvádí pod názvem REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals) Toto nařízení zajišťuje vysokou úroveň ochrany lidského zdraví a životního prostředí a volný pohyb látek samotných i látek obsažených v přípravcích a v předmětech. Což znamená, že Evropská unie by měla pouze vyrábět a dovážet takové chemické látky a přípravky u nichž jsou informace o nebezpečnosti látek. Působnost nařízení REACH se vztahuje na všechny chemické látky, a proto se sem zahrnují také tenzidy. Současný stav legislativy se stále aktualizuje a mění díky nově vzniklým tenzidům a požadavkům, které jsou k nim vtaženy. Veškerá nařízení jsou uvedena v příloze této diplomové práce *[38]*.

2.2.6 Vliv na životní prostředí

Díky svému hojnému použití a využití se negativní vliv povrchově aktivních látek projevuje zejména ve vodním hospodářství. Jejich povrchová aktivita je příčinou pěnění vody za turbulentních podmínek, sorpční schopnosti (tzn. hromadění v čistírenských kalech a sedimentech) a toxicity především kationtových tenzidů. Je důležité také připomenout, že detergenty mají také negativní dopad na eutrofizující účinek vod [20]. Povrchové aktivní látky se do prostředí dostávají vypouštěním kanalizačních výpustí do povrchových vod nebo hromaděním čistírenského kalu. Údaje o toxicitě povrchově aktivních látek jsou velmi důležité pro posouzení environmentálního rizika [66]. Toxicita těchto látek pro vodní organismy je v celku široce obsáhlá pro aniontové, kationové a neiontové povrchové látky. Byla zkoumána a zjištěna chronická a subletální toxicita povrchově aktivních látek pro vodní organismy, a to ryby, vodní řasy a celou řadu dalších vodních organismů. Výsledná

koncentrace na vodních organismech pro chronickou toxicitu aniontových a neiontových povrchových látek nepatrně přesahovala hodnotu 0,1mg/l [66]. Další výzkum těchto látek na zkušebních organismech prokázal, že kationtové povrchově aktivní látky jsou toxičtější než aniontové povrchově aktivní látky a tenzidy aniontové jsou toxičtější než neiontové povrchově aktivní látky [66].

Pěnivost látek se odvíjí od chemické struktury tenzidů, obecně k pěnění dochází při koncentracích vyšších jak 0,5 mg/l a především při koncentraci 3 mg/l. Pěnivost zejména snižuje účinnost biologického čištění na čistírnách odpadních vod. Tento problém vedl k významnému kroku v legislativním opatření a ke snaze vyrábět převážně jen biologicky rozložitelné typy tenzidů. Vývoj problému související s používáním látek obsahující tenzidy lze shrnout a rozdělit do třech generací: [20, 40]

- První generace problému je spojena s pěněním na čistírnách odpadních vod a na tocích. Tento problém byl vyřešen výrobou biologicky degradabilních tenzidů
- Druhá generace problému souvisí s růstem eutrofizace vod, na kterých mají podíl polyfosforečnany v detergentech. Tento problém je v současnosti řešen používáním bezfosforečnanových pracích prostředků.
- Třetí generace problému souvisí s tvorbou poměrně stabilních a někdy i toxických meziproduktů biodegradace a to zejména u oxyethylenovaných alkylfenolů.

Povrchově aktivní látky mohou být buď přírodního, nebo antropogenního původu. Z přírodních zdrojů jsou to například odpadní vody z cukrovarnického průmyslu. Důležitější jsou zdroje antropogenní, kde hlavním zdrojem jsou prací a čisticí prostředky používané v domácnostech nebo velkoprádelnách a průmyslu (textilním, strojírenským, potravinářským aj.) [20]. Významnou roli mají také při použiti k dekontaminaci zemin, sedimentů a kalů kontaminovaných perzistentními organickými polutanty. Tenzidy v roztoku totiž umožňují jejich solubilizaci (neboli tzv..pseudorozpouštění.) a tím převedení kontaminantu z kontaminovaného tuhého média do roztoku [34]. V podstatě tento způsob dekontaminačních technologií je v ČR poměrně novou záležitostí, ale i přesto některá poloprovozní ověření v aplikaci tenzidů již úspěšně proběhla [33]. Vodní toxicitu lze charakterizovat jako indikátor relativní jedovatosti chemických látek nebo sloučenin, které jsou přítomné ve vodě. Toxicitu látek lze ji vyjádřit pomocí letální koncentrace LC50 (Lethal Concentration). LC50 vyjadřuje takovou koncentraci pěnidla ve vodě, která vyvolá 50% úmrtnost vodních organismů za určitý čas (24 – 69 hodin). Toxicitu lze také vyjádřit pomocí EC50 (Effective Concentration), což je účinná koncentrace, která vyvolá u 50 % organismů okamžitou nadměrnou reakci nebo 50 % redukci životních funkcí a pomocí IC50 (Inhibition Concentration), která nám vyjadřuje koncentraci, při které dojde k 50% inhibici růstu. Pro porovnání výsledků stanovené toxicity, pro tyto koncentrace platí, že čím je hodnota LC50, EC50 nebo IC50 vyšší, tím méně pěna vykazuje toxické účinky [1, 67].

2.3 Ekotoxikologie

Ekotoxikologie je obor, který se zabývá působením cizorodých látek na volně žijící organismy v jejich prostředí, na jejich populaci a společenstva. Tedy sleduje účinky toxických látek na různých organizačních úrovních ekosystému *[41, 42]*.

Základním nástrojem v ekotoxikologii jsou testy toxicity, které umožňují odhadnout efekt látek na ekosystém. Získané výsledky umožňují srovnání účinků různých látek mezi sebou i srovnání výsledků získaných v různých laboratořích *[44, 46]*. K testování slouží biotesty, které hodnotí nepříznivý vliv škodlivin na biotickou složku životního prostředí *[47]*. Biotesty jsou navrhovány podle testované matrice pro akvatický nebo terestrický ekosystém. Výběr testovaných organismů u testů toxicity je prováděn tak, aby byly zastoupeny všechny trofické úrovně studovaného ekosystému. Bioindikátory reagují na přítomnost toxikantů např. určitou

změnou některé fyziologické funkce, změnou pohyblivosti, růstu nebo reprodukce. V krajním případě může být testovací organismus toxikantem usmrcen. Existuje velké množství biologických testů, které mohou být různým způsobem klasifikovány *[47]*. Testovacím organismem bývá nejčastěji živý organismu, tkáň, populace či společenstvo organismů. Důležitým faktorem biotestů jsou koncentrace testované látky či vzorku. Ekotoxikologické biotesty členíme podle různých kritérií:

- Podle doby expozice: akutní, semiakutní (semichronické) a chronické testy.
- Podle cílového ekosystému: sladkovodní, mořský, půdní, sedimenty.
- Podle pokročilosti designu testovacího systému:
    - Testy první generace – klasické testy s intaktními organismy
    - Testy druhé generace – mikrobiotesty
    - Testy třetí generace – biosenzory, biosondy a biomárkry

- Podle trofické úrovně testovacích organismů: testy s producenty, destruenty a konzumenty.
- Podle testované matrice: voda, půda, vzduch, sediment, odpad, chemická látka
- Podle počtu testovaných organismů: jednodruhové a vícedruhové s přírodními společenstvy nebo laboratorními směsi druhů.
- Podle složitosti testovaného vzorku: čisté chemické látky, směsi látek, přírodní látky [44].

Při hodnocení akutní toxicity chemických látek, přípravků a odpadů nebo i odpadních vod se zjišťují hodnoty:

- EC_{50} – která vyjadřuje efektivní koncentraci, která způsobí úmrtí nebo imobilizaci 50 % organismů z testovaného souboru.
- LC_{50} – která vyjadřuje letální koncentrace, při které dojde k úhynu 50 % organismu z testovaného souboru.
- IC_{50} – která vyjadřuje inhibiční koncentrace testovaného vzorku, která způsobí 50 % inhibici růstu organismu ve srovnání s kontrolou.
- LD_{50} – která vyjadřuje letální dávka, při které dojde k úhynu 50 % organismů z testovaného souboru *[48]*.

Hodnocení chemických látek a přípravků se provádí podle Nařízení vlády č.232/2004 Sb. příloha č. 5.Testované látky a přípravky se označují z hlediska speciálních rizik následujícími R větami:*[68]*

R50: vysoce toxické pro vodní organismy	LC(EC, IC)50 ≤ 1 mg/l
R51: toxické pro vodní organismy	1mg/l < LC(EC, IC)50 ≤ 10mg/l
R52: škodlivé pro vodní organismy	10mg/l < LC(EC, IC)50 ≤ 100 mg/l *[25]*.

Dle platné legislativy v ČR, se pro hodnocení látek používají tyto hodnocení zjištěných vlastností směsi nebezpečných pro životní prostředí: *[45]*

- ČSN EN ISO 6341 Jakost vod - Zkouška inhibice pohyblivosti (*Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea*) - Zkouška akutní toxicity
- ČSN EN 28692 Jakost vod - Zkouška inhibice růstu sladkovodních řas *Scenedesmus subspicatus* a *Selenastrum capricornutum* (ISO 8692; 1989)
- ČSN EN ISO 7346-2 Jakost vod - Stanovení akutní letální toxicity pro sladkovodní ryby (*Brachydanio rerio Hamilton-Buchanan*) - část 2: Obnovovací metoda

2.4 Vybrané ekotoxikologické biotesty

Pro účely této práce byly vybrány testy na akvatických organismech pro posouzení případných negativních dopadů hasebních prostředků, které by se mohly v případě aplikace dostat do povrchových vod. Budou tedy prováděny ekotoxikologické testy na vybraných vodních organismech.

2.3.1 Test inhibice růstu kořene *Sinapis alba*

Jako testovací organismus se využívají semena hořčice bílé (*Sinapis alba*) obr. č. 8, která řadí do čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*). Hořčice bílá je jednoletá rostlina a pěstuje se pro potřeby potravinářského průmyslu, jako pícnina. Je také medonosnou rostlinou. Pro lékařské účely se od pradávna používá hořčičné semeno k přípravě hořčičné mouky, z níž se dělá hořčičné těsto využívané na obklady k utišení revmatických bolestí *[58, 60]*.

Princip

Tento test se provádí dle platné metodiky Ministerstva životního prostředí. Principem je stanovení inhibičního účinku (72hIC50) testovací látky na růst kořene v počátečních stádiích rostliny. Semena hořčice bílé jsou kultivována na filtračních papírech v Petriho misce nasycené testovanou látkou v různých koncentracích. Poté jsou změřeny délky kořenů ve všech koncentracích i v kontrole, která obsahuje pouze ředící vodou. Z naměřených hodnot se vypočítá pro každou koncentraci a kontrolu průměrná délka kořene dle rovnice (1) a určí se koncentrace látky, která působí 50% inhibici růstu kořene dle rovnice (2). Test probíhá 72 hodin v termostatu při 20°C za tmy *[48, 60]*.

Rovnice pro výpočet průměrné délky kořene (1):

(1) $$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{n}, \text{ kde}$$

$\bar{L}$ je průměrná délka kořene v dané koncentraci v (mm);
L_i je délka i-tého kořene ve zvolené koncentraci v (mm);
n je počet semen ve zvolené koncentraci.

Rovnice pto výpočet inhibice růstu v testované látce oproti kontrole (2):

(2) $$\bar{I}_i = \frac{\bar{L}_c - \bar{L}_v}{\bar{L}_c}.100, \text{ kde}$$

$\bar{I}_i$ je inhibice růstu kořene hořčice bíle v dané koncentraci v (%), je-li $\bar{I}_i < 0$ jedná se o stimulaci růstu kořene;
$\bar{L}_c$ je průměrná délka kořene hořčice bílé v kontrole v (mm);
$\bar{L}_v$ je průměrná délka kořene hořčice bílé v dané koncentraci v (mm).

Vyhodnocení testu

Pro platnost výsledků musí být v kontrole dosaženo minimální 90% klíčivosti semen a pro referenční test, který se provádí na dichromanu draselném, musí být zjištěná hodnota 72hIC50 ve shodě s výsledky, které odpovídají pro tento standard. Výsledky se vyhodnotí graficky nebo pomocí počítačové techniky *[48]*.

Obr. č. 8 Semena hořčice bílé (Sinapis Alba) [58]

2.3.2 Alternativní test toxicity Thamnotoxkit F^{TM} na organismu *Thamnocephalus platyurus*

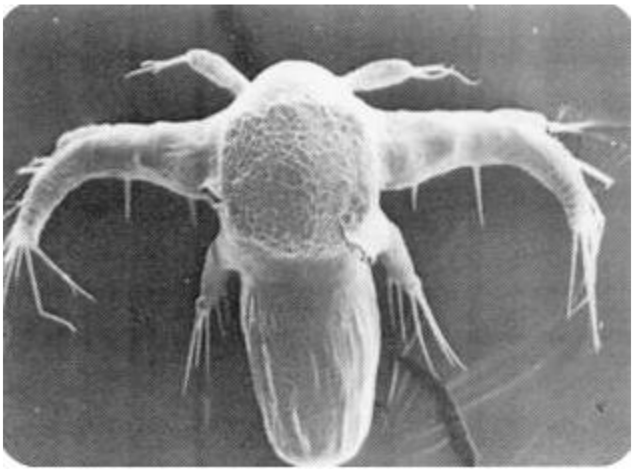
Tento test řadíme mezi tak zvané alternativní, které využívají k testování klidová stádia testovacích organismů, tj. vajíčka, cysty, ephipia, tkáně, lyofilizované a imobilizované kultury organismů. K testování se využívá sladkovodní korýš *Thamnocephalus platyurus* obr. č. 9, který se řadí do řádu žábronožek (*Anostraca)*, do třídy lupenonožců (*Branchiopoda*). Jejich tělo je protáhlé, měkké a vždy bez schránky *[48, 49]*.

Princip

Tento test je založený na sledování mortality testovacích organismů po 24 hodinách na destičkách v jednotlivých šachtách, které jsou zhotovené z biologicky inertního materiálu.. Z výsledků mortality se vypočítá hodnota 24hLC50. Testovací organismus ve formě cyst se 20 až 22 hodin před začátkem testu uvede do aktivního stádia. Do aktivního stádia se cysty uvádí hydratací ve standardní ředící vodě s ředěnou destilovanou vodou v poměru 1 : 8 (2,5 ml standardní ředicí vody a 8 ml destilované vody). Takto připravené cysty se kultivují v inkubátoru při teplotě 25 °C a při osvětlení 3 000 až 4 000 Lux. Vlastní test probíhá nasazením 5 různých koncentrací testované látky ve 3 paralelních opakováních pro každou koncentraci. Součástí každého testu je kontrola. Do každé šachty se nasadí 10 jedinců. Testovací destička se po naplnění přikryje parafinem a je vložena do temného inkubátoru o teplotě 25 °C po dobu 24 hodin *[59]*.

Vyhodnocení testu

Pro platnost výsledků nesmí mortalita v kontrole přesáhnout 10 % a zjištěná hodnota 24LC50 pro referenční test na dichromanu draselném se musí pohybovat v rozmezí 0,060 až 0,095 mg/l. Pro každou koncentraci se uvede počet mrtvých jedinců a vyjádří se v procentech, které se převedou na probitové hodnoty. Hodnoty se vyhodnotí graficky a uvede se 24hLC50, která se vypočítá z rovnice lineární regrese *[59]*.



Obr. č. 9 Thamnocephalus platyurus [49]

2.3.3 Test inhibice růstu okřehku menšího (*Lemna minor)*

Okřehek řadíme do oddělení rostlin krytosemenných (*Magnoliophyta*), třídy jednoděložných (*Liliopsida*), čeledě *Lemnaceae*. Z hlediska hydrobiologického spadají do kategorie měkké vegetace, která zahrnuje rostliny plovoucí na vodní hladině (natantní) a rostliny ponořené (submerzní). Okřehek menší je drobná vodní rostlina s plochými lístky, kožovité konzistence. Zdravé kolonie okřehku jsou tvořeny 2 až 5 lístky. Najdeme je ve stojatých vodách, kde tvoří potravu pro ryby a vodní ptactvo *[48].*

Princip

Tyto testy jsou standardizovány dle normy ČSN EN ISO 20079 Jakost vod – stanovení toxických účinků složek vody a odpadní vody na okřehek (*Lemna minor*) *[61].* Tyto testy jsou využívány k hodnocení toxicity suspenzí a roztoků, ale také k testování odpadních a povrchových vod. Lístky okřehku menšího se nechají růst v různých koncentracích testované látky, která je připravena ředěním živným roztokem. Zároveň se nasadí lístky okřehku menšího pouze do živného roztoku-kontrola. Rostliny okřehku menšího jsou inkubovány po dobu 7 dní při laboratorní teplotě. V intervalu 24 hodin se kontroluje a zaznamenává stav a změny lístků okřehku. Po 7 dnech se sečte počet lístků a určí se biomasa. Cílem testu je zjištění hodnoty 168hIC50. Vyhodnocení testu se provede dle růstové rychlosti a podle množství biomasy, které se určí podle vztahů pro výpočet 168hIC50 *[25, 48, 50].*

Vztahy pro výpočet 168hIC50

Vztah pro výpočet růstové rychlosti (3):

(3) $$\mu = \frac{\ln N_n - \ln N_o}{t_n}\text{, kde}$$

μ je růstová rychlost okřehku menšího;
N_n je počet lístků na začátku testu;
N_0 je počet lístků na konci testu;
t_n doba trvání testu v (hod).
Z vypočítaných hodnot růstové rychlosti pro každou jednotlivou koncentraci i pro kontrolu se vypočítá inhibice, popř. stimulace I_μ v (%) podle rovnice (4):

(4) $$I_\mu = \frac{\mu_c - \mu_i}{\mu_c} \cdot 100\text{, kde}$$

I_μ je inhibice okřehku menšího pro danou koncentraci, je-li I_μ <0, jedná se o stimulaci;
μ_c je růstová rychlost v kontrole;
μ_i je růstová rychlost v dané koncentraci.
Množství biomasy jak v kontrole, tak v jednotlivých testovacích koncentracích se určuje vážením a dosazením do následujícího vztahu (5). Tím se získá hodnota inhibice růstu:

(5) $$I_B = \frac{B_c - B_i}{B_c} \cdot 100\text{, kde}$$

I_B je procento redukce biomasy okřehku menšího;
μ_c je konečná biomasa v kontrole;
μ_i je konečná biomasa v testované koncentraci.

Vyhodnocení testu

Aby výsledky mohly být platné, musí mít průměrný počet lístků na konci testu v kontrole osminásobný nárůst. Zjištěná hodnota 168hIC50 pro referenční test na dichromanu draselném musí být v rozsahu 5,5 až 10 mg/l. V průběhu testu se zaznamenávají změny počtu lístků okřehku menšího jak v testovaných roztocích, tak i v kontrole. Vyhodnocení se provádí podle růstové rychlosti a podle množství biomasy [*48, 61]*.

Obr. č 10 Okřehek menší (Lemna minor)[51]

2.3.4 Akutní imobilizační test na perloočkách (*Daphnia magna)*

Perloočky řadíme do třídy lupenonožců (*Branchiopoda*). *Daphnia magna* obr. č. 11 je největším zástupcem hrotnatkovitých organismů. Její tělo se skládá za dvou částí: hlavové a trupové, které jsou zřetelně ohraničeny. Pod hlavovým výběžkem mají tykadla, druhým párem končetin jsou označovány tzv. antény, které slouží jako orgán pohybu. Třetí pár končetin tvoří kousadla. Na hlavovém krunýři je nepárové složené oko a trup je chráněn dvouchlopňovým krunýřem. *Daphnia magna* slouží jako krmivo pro akvarijní ryby a jako pokusný organismus pro testy toxicity na vodních organismech *[63, 65]*.

Princip

Asi 3 až 4 dny před začátkem testu se musí nechat líhnout korýši z vajíček. Líhnutí vajíček probíhá ve speciálních podmínkách (při teplotě 20°C a osvětlení 10^4 lux). Perloočky se vystaví po dobu 48 hodin účinku testované látce, která je v různých koncentracích rozpuštěná v ředící vodě. Do každé koncentrace a do kontroly je nasazeno 5 jedinců. V intervalu 24 hodin a 48 hodin se kontroluje a zaznamená v testovacích koncentracích a v kontrole uhynulí a imobilizovaní jedinci. Ze zjištěné mortality se stanoví hodnota EC50 v časovém rozhraní 24 a 48 hodin *[25, 64]*.
Tento test prováděn dle metodiky používané při testech na korýších ČSN EN ISO 6341, kterou se zjišťuje inhibice pohyblivosti perlooček *[52]*.

Vyhodnocení

Pro platnost výsledků nesmí mortalita či imobilizace v kontrolním vzorku přesáhnout 10 %. Hodnota 48hEC50 pro referenční test na dichromanu draselném musí být v rozsahu 0,6 až 1,7 mg/l *[64]*.

Obr. č. 11 Daphnia magna [53]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Odběr vzorku

Vzorky hasebních prostředků již byly k dispozici v plastových vzorkovnicích o objemu 1l. Odběr byl proveden u dvou jednotek požární ochrany Hasičského záchranného sboru Jihomoravského kraje. Ke stanovení ekotoxických účinků bylo vybráno pět vzorků (Mousol APS F-15, Pyrocool B, Sthamex F-15, Expyrol F-15, Finiflam F-15).

3.1.1 Charakterizace vybraných pěnidel používaných jednotkami požární ochrany

Pěnidla byla odebrána na požárních stanicích HZS JMK, a to na požární stanici Židlochovice a požární stanici Vyškov. Informace o použitých pěnidlech byly poskytnuty od nadporučíka pana Bc. Stanislava Racka vrchního inspektora, velitele stanice BVV, HZS Jihomoravského kraje ÚO Brno a dále zjištěny z bezpečnostních listů.

Tabulka č. 6 Charakterizace pěnidla Finiflam F-15 *[54]*

FINIFLAM F-15		
POUŽITÍ	Polární kapaliny, nepolární kapaliny	
DRUH PĚNY	TP, případně SP	
% PŘIMÍSENÍ	• 3 % TP, SP • 1 % smáčedlo	
VLASTNOSTI	• tvoří vodní film • tvoří polymerní film • vhodné pro kombinované hašení pěna-prášek • poločas rozpadu SP • poločas rozpadu TP • mrazuvzdornost	Ano Ano Ano 10 min 30 min -15 °C
MÍSITELNOST	Kompatibilní s hasicími pěnami	

Tabulka č. 7 Charakterizace pěnidla Sthamex F-15 *[36]*

STHAMEX F-15		
POUŽITÍ	Nepolární kapaliny	
DRUH PĚNY	TP, SP, LP	
% PŘIMÍSENÍ	• 5 % TP, SP, LP • 1 % smáčedlo	
VLASTNOSTI	• tvoří vodní film • tvoří polymerní film • vhodné pro kombinované hašení pěna-prášek • poločas rozpadu TP • poločas rozpadu SP • poločas rozpadu LP • mrazuvzdornost	Ne Ne Ano 25 min 30 min 25 min -15 °C
MÍSITELNOST (PĚNA, PĚNIDLO)	• pěna- kompatibilní s hasicími pěnami • pěnidlo- nouzově při zásahu s pěnidly stejného typu pro okamžité použití	

Tabulka č. 8 Charakterizace pěnidla Moussol APS F-15*[37]*

MOUSSOL APS F-15		
POUŽITÍ	Nepolární kapaliny, Polární kapaliny	
DRUH PĚNY	TP, SP	
% PŘIMÍSENÍ	• 3 % TP, SP pro nepolární kapaliny • 5 % TP, SP pro polární kapaliny	
VLASTNOSTI	• tvoří vodní film • tvoří polymerní film • vhodné pro kombinované hašení pěna-prášek • poločas rozpadu TP • poločas rozpadu SP • mrazuvzdornost	Ano Ano - 15 min 10 min -15 °C
MÍSITELNOST	Kompatibilní s hasicími pěnami	

Tabulka č. 9 Charakterizace pěnidla Pyrocool B

<table>
<tr><td colspan="3">PYROCOOL B</td></tr>
<tr><td>POUŽITÍ</td><td colspan="2">Nepolární kapaliny</td></tr>
<tr><td>DRUH PĚNY</td><td colspan="2">TP, SP</td></tr>
<tr><td>% PŘIMÍSENÍ</td><td colspan="2">• 3 % TP, SP
• 0,4 % smáčedlo</td></tr>
<tr><td>VLASTNOSTI</td><td>• tvoří vodní film
• tvoří polymerní film
• vhodné pro kombinované hašení pěna-prášek
• poločas rozpadu SP
• poločas rozpadu TP
• mrazuvzdornost</td><td>Ano
Ne
?

15 min
20 min
-1 °C</td></tr>
<tr><td>MÍSITELNOST</td><td colspan="2">Kompatibilní s hasicími pěnami</td></tr>
</table>

Tabulka č. 10 Charakterizace pěnidla Expyrol F-15

<table>
<tr><td colspan="3">EXPYROL F-15</td></tr>
<tr><td>POUŽITÍ</td><td colspan="2">Nepolární kapaliny</td></tr>
<tr><td>DRUH PĚNY</td><td colspan="2">LP, TP, SP</td></tr>
<tr><td>% PŘIMÍSENÍ</td><td colspan="2">• 3% LP, TP, SP
• 1 % smáčedlo</td></tr>
<tr><td>VLASTNOSTI</td><td>• tvoří vodní film
• tvoří polymerní film
• vhodné pro kombinované hašení pěna-prášek
• poločas rozpadu LP
• poločas rozpadu SP
• poločas rozpadu TP
• mrazuvzdornost</td><td>Ne
Ne
Ano

10 min
20 min
30 min
-1°C</td></tr>
<tr><td>MÍSITELNOST
(pěna, pěnidlo)</td><td colspan="2">• pěna- kompatibilní s hasicími pěnami
• pěnidlo - nouzově při zásahu s pěnidly stejného typu pro okamžité použití</td></tr>
</table>

3.2 Příprava vzorků a vlastní provedení testů

Pro hasební účely se vybraná pěnidla přidávají jako příměsi do hasebních prostředků v různých koncentracích. Mousol APS F-15, Pyrocool B, Finiflam F-15 a Expyrol F-15 se přidávají jako příměsi v 3% koncentraci a Sthamex F-15 v 5%. Pro účely této diplomové práce byly roztoky vybraných pěnidel naředěny právě v těchto koncentracích. Pro přípravu 3% pěnidel se odpipetovaly 3 ml roztoku do 100 ml odměrné baňky a doplnily destilovanou vodou po rysku. Pro přípravu 5% roztoku se odpipetovalo 5 ml hasební látky do odměrné baňky o objemu 100 ml a doplnilo destilovanou vodou po rysku. Takto připravené koncentrace vzorků byly považovány za základní roztoky, které byly použity pro ekotoxikologické testování.

Ekotoxikologické testování bylo prováděno na těchto organismech:

- *Sinapis alba* – Test inhibice růstu kořene hořčice bílé
- *Daphnia magna* – Alternativní test akutní toxicity na perloočkách (Daphtoxkit F^{TM})
- *Lemna minor* – Test inhibice růstu okřehku menšího
- *Thamnocephalus platyurus* – Alternativní test akutní toxicity Thamnotoxkit F^{TM}

3.2.1 Test inhibice růstu kořene hořčice bílé (*Sinapis alba*)

Testovacím organismem jsou semena hořčice bílé, která byla nasazena do různých koncentracích testované látky v Petriho misce. Velikost semen se pohybovala kolem 1,5 až 2 mm.

Příprava ředící vody: Pro přípravu ředící vody, se musely nejdříve připravit zásobní roztoky dle platné metodiky. Na 1 l ředící vody se dávkovala vždy 25 ml zásobního roztoku a poté se 1 l odměrná baňka doplnila destilovanou vodou po rysku. Ředící voda se nechala 24 hodin před prováděním testu probublávat vzdušným kyslíkem *[48]*.
Příprava zásobního roztoku:

- Zásobní roztok č. 1: navážka 11,76 g $CaCl_2.7H_2O$ (p.a.) byla kvantitativně převedena do odměrné baňky o objemu 1 l a doplněna destilovanou vodou po rysku.
- Zásobní roztok č. 2: navážka 4,93 g $MgSO_4.2H_2O$ (p.a.) byla kvantitativně převedena do odměrné baňky o objemu 1 l a doplněna destilovanou vodu po rysku.
  destilovanou vodou
- Zásobní roztok č. 3: navážka 2,59 g $NaHCO_3$ (p.a.) byla kvantitativně převedena do odměrné baňky o objemu 1 l a doplněna destilovanou vodu po rysku.
  destilovanou vodou
- Zásobní roztok č. 4: navážka 0,23 g KCl (p.a.) byla kvantitativně převedena do odměrné baňky o objemu 1 l a doplněna destilovanou vodou po rysku.

Příprava koncentrační řady: Pro nedostatek informací o toxicitě testovaných prostředků, byla nejdříve připravena koncentrační řada pro předběžný test pro přípravek Sthamex F-15 v koncentracích: 1 ml/l, 10 ml/l, 20 ml/l, 30 ml/l, 40 ml/l a 50 ml/l a pro přípravky Mousol APS F-15, Pyrocool B, Finiflam F-15 a Expyrol F-15 v koncentracích 1 ml/l, 10 ml/l, 15 ml/l, 20 ml/l, 25 ml/l a 30 ml/l. Na základě výsledků těchto testů byl stanoven rozsah koncentrací pro základní test. Veškeré vzorky byly připraveny ředěním připravenou a provzdušněnou ředící vodou.

Vlastní nasazení a vyhodnocení testu: Semena hořčice bílé byla nasazena do Petriho misek, ve kterých byl filtrační papír navlhčen 6 ml testované látky. Na navlhčený filtrační papír byla pinzetou pokládána a rovnoměrně rozmístěna přebraná semena hořčice bílé. Misky byly přikryty víčkem a uloženy do temného inkubátoru při teplotě 20 ± 2 °C. Po 72 hodinách inkubace byly misky vyjmuty z termostatu a u jednotlivých vyklíčených semen byla změřena délka kořene s přesností na 1 mm. Pro každou koncentraci byl vypočítán aritmetický průměr délky kořene. Na základě průměrných délek kořenů v jednotlivých koncentracích byla spočítána inhibice růstu *[62]*.

3.2.2 Alternativní test toxicity Thamnotoxkit F^{TM} na organismu *Thamnocephalus platyurus*

Test spočívá na sledování mortality organismu *Thamnocephalus platyurus* po dobu 24 hodin.

Příprava ředící vody: Ředící voda se připravuje dle Standardního operačního postupu pro Thamnotoxkit F^{TM}. Sada 4 zásobních roztoků solí v ampulích ($NaHCO_3$, $CaSO_4$, $MgSO_4$ a KCl), byla kvantitativně převedena do 1 litrové odměrné baňky, která byla nejdříve naplněna asi 800 ml destilované vody. Odměrná baňka se poté doplnila destilovanou vodou po rysku. Před každým použitím, se ředící voda 15 minut provzdušnila *[59]*.

Příprava koncentrační řady: Pro nedostatek informací o toxicitě testovaných prostředků, byla nejdříve připravena koncentrační řada pro předběžný pro Sthamex F-15 v koncentracích: 1 ml/l, 10 ml/l, 20 ml/l, 30 ml/l, 40 ml/l a 50 ml/l a pro Mousol APS F-15, Pyrocool B, Finiflam F-15 a Expyrol F-15 v koncentracích 1 ml/l, 10 ml/l, 15 ml/l, 20 ml/l, 25 ml/l a 3 ml/l. Na základě výsledků těchto testů byl stanoven rozsah koncentrací pro základní test. Veškeré vzorky byly připraveny ředěním připravenou a provzdušněnou ředící vodou.

Inkubace cyst organismu *Thamnocephalus platyurus:* Líhnutí cyst se provádělo 24 h před testováním. Při laboratorní teplotě 21 °C za osvětlení 3000 až 4000 lux v 10 ml zředěné ředící vody v poměru 1:8 (ředící voda: destilovaná voda) v Petriho misce. Před inkubací byl 1ml takto zředěné ředící vody napipetován do zkumavky s cystami a tato byla protřepávána po dobu 30 minut.

Vlastní nasazení testu: Testovací destička byla naplněna testovanými koncentracemi. Do každé testovací šachtičky byl nepipetován 1 ml testované látky. Zároveň byla nasazena i kontrola. Přenos vylíhlých jedinců byl proveden pomocí mikropipet. Vždy bylo 30 jedinců mikropipetou přeneseno do rozplavovací šachty, odkud byli po 10 kusech přenášeni do jednotlivých šachet. Pro jednu koncentraci byla provedena tři paralelní stanovení. Naplněné testovací destičky byly zakryty parafilmovou fólií a poté přikryty víčkem. Nakonec byly umístěny po dobu 24 hodin do inkubátoru v temnu při teplotě 25 °C. Po 24 hodinách bylo spočítáno množství uhynulých organismů v jednotlivých šachtách a byla vypočtena mortalita v % *[48, 59]*.

3.2.3 Test inhibice růstu okřehku menšího (*Lemna minor*)

Test spočívá v růstu lístků okřehku menšího v různých koncentracích testované látky po dobu 7 dní a zaznamenávání změn ve 24 hodinových intervalech.

Příprava ředící vody: Pro přípravu modifikovaného Steinbergerova média, se musely připravit tři zásobní roztoky makrosložek a pět zásobních roztoků mikroložek. Koncentrace jednotlivých roztoků jsou uvedeny v tabulce č. 9. Jednotlivé složky se kvantitativně převedly do 1 l odměrných baněk a doplnily destilovanou vodou po rysku. Pro přípravu ředící vody do odměrné baňky o objemu 1 l se odpipetovalo 20 ml ze zásobních roztoků I., II. a III. Ze zásobních roztoků IV., V., VI., VII., VIII. se odpipetovalo po 1 ml. Na konec se odměrná baňka doplnila destilovanou vodou po rysku.

Tabulka č. 9 Zásobní roztoky pro přípravu SM

Roztok	Makrosložky (g/l)		Roztok	Mikrosložky (g/l)	
I.	KNO_3	17,5	IV.	H_3BO_3	120
I.	KH_2PO_4	4,5	V.	$ZnSO_4.7H_2O$	180
I.	K_2HPO_4	0,63	VI.	$Na_2MoO_4.2H_2O$	44
II.	$MgSO_4.7H_2O$	5,0	VII.	$MnCl_2.4H_2O$	180
III.	$Ca(NO3).4H_2O$	14,75	VIII.	$FeCl_3.6H_2O$	760
			VIII.	EDTA	1500

Příprava koncentrační řady: Pro nedostatek informací o toxicitě testovaných prostředků, byla nejdříve připravena koncentrační řada pro předběžný test pro Sthamex F-15 v koncentracích: 1 ml/l, 10 ml/l, 20 ml/l, 30 ml/l, 40 ml/l a 50 ml/l a pro Mousol APS F-15, Pyrocool B, Finiflam F-15 a Expyrol F-15 v koncentracích 1 ml/l, 10 ml/l, 15 ml/l, 20 ml/l, 25 ml/l a 30 ml/l. Na základě těchto výsledků byl stanoven rozsah koncentrací pro základní test. Veškeré vzorky byly připraveny ředěním předem připraveným modifikovaným Steinbergovým médiem.

Vlastní nasazení testu: Nejdříve byly do 100 ml odměrných baněk připraveny jednotlivé testované koncentrace pro tento test. Ty se převedly do kádinek o objemu 150 ml, kde se pomocí skleněné tyčinky přenesly kolonie okřehku menšího. Do každé kádinky se nasadilo 9 lístků. Stejný postup se provedl u kontroly, která obsahovala pouze živné médium. Veškeré kádinky se přikryly potravinářskou fólií a umístily se po světelný zdroj, který zajišťoval kontinuální osvětlení a světelnou intenzitu v rozmezí 6500 – 10000 Lux. Během 7 denního testu se zaznamenával počet lístků. Konečné vyhodnocení testu se provádělo podle růstové rychlosti rostliny a podle množství biomasy *[61]*.

3.2.4 Akutní imobilizační test na perloočkách (*Daphnia magna*)

Testovacím organismem je perloočka *Daphnia magna*, která se vystavila účinkům různých koncentrací testované látky po dobu 48 hodin.

Příprava ředící vody: Ředící voda se připravuje dle Standardního operačního postupu pro Daphtoxkit F^{TM}. Do 2 l odměrné baňky se nejdříve přidalo asi 1 l destilované vody. Poté byly

přidány 4 ampule, které obsahovaly roztoky solí - ($NaHCO_3$, $CaSO_4$, $MgSO_4$ a KCl). Nakonec se odměrná baňka doplnila destilovanou vodou po rysku a byla protřepána.

Inkubace cyst organismu *Daphnia magna*: Líhnutí hrotnatek velkých probíhalo 3 dny před začátkem testu při laboratorní teplotě 21 °C za kontinuálního osvětlení 6000 lux v 15 ml ředící vody po dobu 72 hodin. Po vylíhnutí organismů cca 2 hodiny před nasazením testu byla nauplia nakrmena suspenzí řasy *Spirulina microalgae*.

Vlastní nasazení testu: Do každé šachty na testovací destičce bylo odpipetováno 10 ml dané koncentrace testované látky. Zároveň byla nasazena i kontrola. Přenos organismů do jednotlivých šachet byl proveden pomocí mikropipet. Nejdříve byly organismy přeneseny do rozplavovacích komor a poté po 5 jedincích do jednotlivých šachet. Pro jednu koncentrační řadu se provedla 3 paralelní stanovení. Naplněné destičky se přikryly parafilmem a uzavřely víkem a byly umístěny do temného inkubátoru o teplotě 20°C po dobu 48 hodin. Test se vyhodnocoval po 24 a 48 hodinách, kdy destička byla vyjmuta z inkubátoru a byl zjištěn počet mrtvých jedinců *[64]*.

4. VÝSLEDKY

Výsledky testů na jednotlivých organismech získané v referenčních testech byly ve shodě s hodnotami deklarovanými pro daný standard, a to dichroman draselný. Výjimkou byl okřehek menší (*Lemna minor*). Pouze pro tento organismus nemohou být výsledky získané testováním hasebních prostředků považovány za validní.

4.1 Test inhibice růstu kořene hořčice bílé (*Sinapis alba*)

Pro každou testovanou látku byl proveden předběžný test, podle kterého se určovalo rozmezí koncentrací pro základní test. Všechny koncentrace a výsledky jsou uvedeny v tabulkách.

STHAMEX F-15

Tabulka č. 11: Výsledky testu pro Sthamex F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	35,5	
1	0	19,8	44,22
10	1	0	100
20	1,301	0	100
30	1,477	0	100
40	1,602	0	100
50	1,698	0	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 12: Výsledky testu pro Sthamex F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	38,3	
0,1	-1	32	16,45
0,3	-0,522	31,1	18,79
0,6	-0,221	27,9	27,15
0,9	-0,045	25,3	33,94
1	0	22	42,55
3	0,477	19,6	48,82
6	0,778	11,37	70,31
9	0,954	6	84,33
10	1	0	100

Hodnota IC50 pro testovanou látku Sthamex F-15 na *Sinapis alba* byla určena z grafu závislosti inhibice růstu na logaritmu koncentrace. Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro 50% inhibici růstu a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 72hIC50 na 1,50 ml/l.

EXPYROL F-15

Tabulka č. 13: Výsledky testu pro Expyrol F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	35,5	
1	0	16,4	51,04
10	1	0	100
15	1,176	0	100
20	1,301	0	100
25	1,397	0	100
30	1,477	0	100

Na základě výsledků předběžného testu, tabulka č. 13, bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 14: Výsledky testu pro Expyrol F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	38,3	
0,1	-1	36,1	5,74
0,3	-0,522	30,7	19,84
0,6	-0,221	24,3	36,55
0,9	-0,045	21,3	44,38
1	0	15,8	52,83
3	0,477	16,03	58,14
6	0,778	9,04	76,39
9	0,954	6,15	83,94
10	1	0	100

Hodnoty pro základní test uvedené v tabulce č.14 byly převedeny do grafu závislosti inhibice růstu na logaritmu koncentrace. Hodnota 72hIC50 pro tento přípravek byla vypočtena na 1,21 m/l

MOUSOL APS F-15

Tabulka č. 15: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	35,5	
1	0	20,2	43,09
10	1	0	100
15	1,176	0	100
20	1,301	0	100
25	1,397	0	100
30	1,477	0	100

Tabulka č. 16: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	38,3	
0,1	-1	35,5	7,3
0,3	-0,522	29,8	22,19
0,6	-0,221	26,5	30,8
0,9	-0,045	23,7	38,12
1	0	20,4	46,73
3	0,477	16,8	56,13
6	0,778	15,2	60,31
9	0,954	8,25	78,45
10	1	2	94,7

Hodnota IC50 byla určena pro látku Mousol APS F-15 na testovacím organismu hořčice bílé a to z grafu závislosti inhibice růstu na logaritmu koncentrace. Byla vypočtena hodnota log c pro 50% inhibici růstu z rovnice lineární regrese a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 72hIC50 na 1,59 ml/l.

FINIFLAM F-15

Tabulka č. 17: Výsledky testu pro Finiflam F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	35,5	
1	0	17,4	47,46
10	1	0	100
15	1,176	0	100
20	1,301	0	100
25	1,397	0	100
30	1,477	0	100

Na základě výsledků předběžného testu, z tabulky č. 17, bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 18: Výsledky testu pro Finiflam F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Délka kořene [mm]	Inhibice růstu [%]
Kontrola	-	38,3	
0,1	-1	27,9	27,15
0,3	-0,522	20,8	45,69
0,6	-0,221	18,8	50,91
0,9	-0,045	17,9	53,26
1	0	16,2	57,7
3	0,477	14,5	62,92
6	0,778	9,6	74,93
9	0,954	2	94,77
10	1	0	100

Hodnoty pro základní test uvedené v tabulce č.18 byly převedeny do grafu závislosti inhibice růstu na logaritmu koncentrace. Hodnota 72hIC50 pro tento přípravek byla vypočtena na 1,09 m/l

PYROCOOL B

Tabulka č. 19: Výsledky testu pro Pyrocool B – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Délka kořene [mm]**	**Inhibice růstu [%]**
Kontrola	-	35,5	
1	0	17,4	47,46
10	1	0	100
15	1,176	0	100
20	1,301	0	100
25	1,397	0	100
30	1,477	0	100

Tabulka č. 20: Výsledky testu pro Pyrocool B – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Délka kořene [mm]**	**Inhibice růstu [%]**
Kontrola	-	38,3	
0,1	-1	32,7	14,62
0,3	-0,522	26,9	29,76
0,6	-0,221	21	45,16
0,9	-0,045	19,5	49,08
1	0	16,1	57,96
3	0,477	11,2	70,75
6	0,778	1	97,38
9	0,954	0	100

Hodnota IC50 byla určena pro látku Pyrocool B na testovacím organismu hořčice bílé a to z grafu závislosti inhibice růstu na logaritmu koncentrace. Byla vypočtena hodnota log c pro 50% inhibici růstu z rovnice lineární regrese a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 72hIC50 na 0,75 ml/l.

4.2 Alternativní test toxicity Thamnotoxkit F™ na organismu *Thamnocephalus platyurus*

STHAMEX F-15

Tabulka č. 21: Výsledky testu pro Sthamex F-15 – předběžný test

Koncentrace [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
1	0	30	10	10	10	10	100
10	1	30	10	10	10	10	100
20	1,301	30	10	10	10	10	100
30	1,477	30	10	10	10	10	100
40	1,602	30	10	10	10	10	100
50	1,698	30	10	10	10	10	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 22: Výsledky testu pro Sthamex F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých jedinců v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
0,1	-1	30	10	10	10	10	100
0,3	-0,522	30	10	10	10	10	100
0,6	-0221	30	10	10	10	10	100
0,9	-0,045	30	10	10	10	10	100
1	0	30	10	10	10	10	100

Jak vyplývá z tabulky č. 22 i tyto koncentrace byly stále vysoké, proto se musela připravit nová řada roztoků o nižších koncentracích. Na základě toho bylo stanoveno nové rozmezí koncentraci pro základní test viz tab. č. 23.

Tabulka č. 23: Výsledky testu pro Sthamex F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých jedinců v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměr [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
0,01	-2	30	0	0	0	0	0
0,03	-1,522	30	1	0	0	0,33	3,3
0,06	-1,221	30	3	2	3	2,66	26,6
0,075	-1,124	30	5	4	4	4,33	43,3
0,09	-1,045	30	5	6	7	6	60
0,093	-1,031	30	8	7	8	7,6	76
0,096	-1,017	30	10	9	7	8,66	86,6
0,099	-1,004	30	9	9	10	9,3	93
0,1	-1	30	10	10	10	10	100

Z rovnice lineární regrese byla pro testovanou látku Sthamex F-15 na organismu *Thamnocephalus platyurus* vypočtena hodnota log c a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hLC50 na 0,054 ml/l.

EXPYROL F-15

Tabulka č. 24: Výsledky testu pro Expyrol F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
1	0	30	10	10	10	10	100
10	1	30	10	10	10	10	100
15	1,176	30	10	10	10	10	100
20	1,301	30	10	10	10	10	100
25	1,397	30	10	10	10	10	100
30	1,477	30	10	10	10	10	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 25: Výsledky testu pro Expyrol F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
0,1	-1	30	10	10	10	10	100
0,3	-0,522	30	10	10	10	10	100
0,6	-0221	30	10	10	10	10	100
0,9	-0,045	30	10	10	10	10	100
1	0	30	10	10	10	10	100

Také tyto koncentrace byly stále vysoké, proto se muselo podobně jako u přípravku Sthamex F-15 stanovit nové rozmezí koncentrací pro základní test. Na základě toho testu bylo stanoveno nové rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 26: Výsledky testu pro Expyrol F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměr [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola		30	0	0	0	0	0
0,01	-2	30	0	0	0	0	0
0,03	-1,522	30	0	1	0	0,33	3,3
0,06	-1,221	30	3	4	3	3,33	33,3
0,075	-1,124	30	5	6	6	5,66	56,6
0,09	-1,045	30	8	7	7	7,33	73,3
0,093	-1,031	30	7	8	9	8	80
0,096	-1,017	30	8	10	8	8,66	86,6
0,099	-1,004	30	10	9	10	9,6	96
0,1	-1	30	10	10	10	10	100

Z rovnice lineární regrese pro Expyrol F-15 byla vypočtena hodnota log c a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hLC50 na 0,049 ml/l.

MOUSOL APS F-15

Tabulka č. 27: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
1	0	30	4	2	2	2,6	26
10	1	30	10	10	10	10	100
15	1,176	30	10	10	10	10	100
20	1,301	30	10	10	10	10	100
25	1,397	30	10	10	10	10	100
30	1,477	30	10	10	10	10	100

Tabulka č. 28: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita %
kontrola		30	0	0	0	0	0
0,6	-0,221	30	0	0	0	0	0
0,9	-0,045	30	1	0	1	0,66	6,6
0,95	0,022	30	1	1	2	1,33	13,3
1	0	30	2	3	4	3	30
1,5	0,176	30	5	5	4	4,66	46,6
2	0,301	30	8	7	5	6,66	66,6
2,5	0,397	30	10	8	9	9	90
3	0,477	30	10	9	10	9,66	96,6
4	0,602	30	10	10	10	10	100
5	0,698	30	10	10	10	10	100

Pro testovanou látku Mousol APS F-15 byla z rovnice lineární regrese vypočtena hodnota log c a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hLC50 na 1,57 ml/l.

FINIFLAM F-15

Tabulka č. 29: Výsledky testu pro Finiflam F-15 – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
1	0	30	10	10	10	10	100
10	1	30	10	10	10	10	100
15	1,176	30	10	10	10	10	100
20	1,301	30	10	10	10	10	100
25	1,397	30	10	10	10	10	100
30	1,477	30	10	10	10	10	100

Tabulka č. 30: Výsledky testu pro Finiflam F-15 – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola		30	0	0	0	0	0
0,01	-2	30	0	0	0	0	0
0,03	-1,522	30	1	0	0	0,33	33,3
0,06	-1,221	30	4	5	5	4,66	46,6
0,075	-1,124	30	5	6	6	5,66	56,6
0,09	-1,045	30	7	7	6	6,66	66,6
0,093	-1,031	30	9	8	6	7,66	76,6
0,096	-1,017	30	10	8	6	8	80
0,099	-1,004	30	9	9	10	9,33	93,3
0,1	-1	30	10	10	10	10	100

Pro testovanou látku Finiflam F-15 byla z rovnice lineární regrese vypočtena hodnota log c a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hLC50 na 0,045 ml/l.

PYROCOOL B

Tabulka č. 31: Výsledky testu Pyrocool B – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola	-	30	0	0	0	0	0
1	0	30	10	10	10	10	100
10	1	30	10	10	10	10	100
15	1,176	30	10	10	10	10	100
20	1,301	30	10	10	10	10	100
25	1,397	30	10	10	10	10	100
30	1,477	30	10	10	10	10	100

Tabulka č. 32: Výsledky testu pro Pyrocool B – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola		30	0	0	0	0	0
0,01	-2	30	0	0	0	0	0
0,03	-1,522	30	1	2	0	1	10
0,06	-1,221	30	5	5	3	4,33	43,3
0,075	-1,124	30	7	6	6	6,33	63,3
0,09	-1,045	30	8	7	7	7,33	73,3
0,093	-1,031	30	9	9	10	9,33	93,3
0,096	-1,017	30	9	10	10	9,66	96,6
0,099	-1,004	30	10	10	10	10	100
0,1	-1	30	10	10	10	10	100

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hLC50 na 0,044 ml/l.

4.3 Akutní imobilizační test na perloočkách (*Daphnia magna)*

STHAMEX F-15

Tabulka č. 33: Výsledky testu pro Sthamex F-15 po 24 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100
40	1,602	15	5	5	5	5	100
50	1,698	15	5	5	5	5	100

Tabulka č. 34: Výsledky testu pro Sthamex F-15 po 48 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontrola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100
40	1,602	15	5	5	5	5	100
50	1,698	15	5	5	5	5	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 35: Výsledky testu pro Sthamex F-15 po 24 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,01	-2	15	0	0	0	0	0	0
0,03	-1,528	15	0	0	0	0	0	0
0,06	-1,221	15	0	0	0	0	0	0
0,09	-1,045	15	1	2	1	1,33	26,6	4,387
0,095	-1,022	15	2	1	2	1,66	33,2	4,56
0,1	-1	15	2	3	2	2,33	46,6	4,925
0,15	-0,823	15	3	4	3	3,33	66,6	5,44
0,2	-0,698	15	4	5	4	4,33	86,6	6,126
0,3	-0,522	15	5	5	5	5	100	8,09
1	0	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Sthamex F-15 a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hEC50 na 0,15 ml/l.

Tabulka č. 36: Výsledky testu pro Sthamex F-15 po 48 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,01	-2	15	0	1	2	0	0	0
0,03	-1,528	15	3	2	2	2,33	46,6	4,925
0,06	-1,221	15	2	3	3	2,66	53,2	5,075
0,09	-1,045	15	3	3	4	3,3	66	5,412
0,095	-1,022	15	4	3	4	3,66	73,2	5,613
0,1	-1	15	4	5	4	4,3	86,6	6,126
0,15	-0,823	15	4	5	5	4,66	93,33	6,476
0,2	-0,698	15	5	5	5	5	100	8,09
0,3	-0,522	15	5	5	5	5	100	8,09
1	0	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Sthamex F-15 a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 48hEC50 na 0,065 ml/l.

EXPYROL F-15

Tabulka č. 37: Výsledky testu pro Expyrol F-15 po 24 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Tabulka č. 38: Výsledky testu pro Expyrol F-15 po 48 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Na základě výsledků předběžného testu z tabulky č. 37 a č.38 byly stanoveny rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 39: Výsledky testu pro Expyrol F-15 po 24 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,01	-2	15	0	0	0	0	0	0
0,03	-1,528	15	0	0	0	0	0	0
0,06	-1,221	15	2	1	1	1,33	26,6	4,387
0,09	-1,045	15	2	2	2	2	40	4,747
0,095	-1,022	15	3	2	2	2,33	46,6	4,925
0,1	-1	15	4	3	3	3,33	66,6	5,44
0,15	-0,823	15	4	4	3	3,66	73,2	5,613
0,2	-0,698	15	5	5	5	5	100	8,09
0,3	-0,522	15	5	5	5	5	100	8,09
1	0	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Expyrol F-15 a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hEC50 na 0,106 ml/l.

Tabulka č. 40: Výsledky testu pro Expyrol F-15 po 48 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,01	-2	15	2	1	0	1	20	4,158
0,03	-1,528	15	0	2	2	1,33	26,6	4,387
0,06	-1,221	15	3	4	2	3	60	5,253
0,09	-1,045	15	4	4	4	4	80	5,842
0,095	-1,022	15	4	5	4	4,33	86,6	6,126
0,1	-1	15	4	5	5	4,66	93,2	6,476
0,15	-0,823	15	5	5	5	5	100	8,09
0,2	-0,698	15	5	5	5	5	100	8,09
0,3	-0,522	15	5	5	5	5	100	8,09
1	0	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Expyrol F-15 a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 48hEC50 na 0,028 ml/l.

MOUSOL APS F-15

Tabulka č. 41: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 po 24 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Tabulka č. 42: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 po 48 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 43: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 po 24 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,15	-0,823	15	0	0	0	0	0	0
0,2	-0,698	15	0	0	0	0	0	0
0,3	-0,522	15	0	1	1	0,66	13,2	3,874
0,6	-0,221	15	1	1	1	1	20	4,158
0,9	-0,045	15	1	2	1	1,33	26,6	4,357
1	0	15	1	2	2	1,66	33,3	4,56
3	0,477	15	2	3	3	2,66	53,2	5,075
6	0,778	15	4	4	3	3,66	73,2	5,613
9	0,954	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Mousol APS F-15 a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hEC50 na 1,869 ml/l.

Tabulka č. 44: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 po 48 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,15	-0,823	15	0	0	0	0	0	0
0,2	-0,698	15	0	2	1	1	20	4,158
0,3	-0,522	15	2	1	3	2	40	4,747
0,6	-0,221	15	2	2	3	2,33	46,6	4,925
0,9	-0,045	15	3	3	2	2,66	53,2	5,075
1	0	15	3	2	4	3	60	5,253
3	0,477	15	3	5	4	4	80	5,842
6	0,778	15	5	5	4	4,66	93,2	6,476
9	0,954	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Mousol APS F-15 a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 48hEC50 na 1,013 ml/l.

FINIFLAM F-15

Tabulka č. 45: Výsledky testu pro Finiflam F-15 po 24 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Tabulka č. 46: Výsledky testu pro Finiflam F-15 po 48 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 47: Výsledky testu pro Finiflam F-15 po 24 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,01	-2	15	0	0	0	0	0	0
0,03	-1,528	15	0	0	0	0	0	0
0,06	-1,221	15	3	0	1	1,33	26,6	4,357
0,09	-1,045	15	2	1	2	1,66	33,2	4,56
0,095	-1,022	15	3	2	1	2	40	4,747
0,1	-1	15	2	3	2	2,33	46,6	4,925
0,15	-0,823	15	3	2	4	3	60	5,253
0,2	-0,698	15	3	5	3	3,66	73,2	5,613
0,3	-0,522	15	5	5	5	5	100	8,09
1	0	15	5	5	5	5	100	8,09

Hodnota EC50 byla určena pro látku Finiflam F-15 z grafu závislosti probit na logaritmu koncentrace. Byla vypočtena hodnota log c pro 50% mortalitu z rovnice lineární regrese a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hEC50 na 0,127 ml/l.

Tabulka č. 48: Výsledky testu pro Finiflam F-15 po 48 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,01	-2	15	0	0	1	0,33	6,6	3,524
0,03	-1,528	15	2	1	1	1,33	26,6	4,387
0,06	-1,221	15	3	2	3	2,66	53,2	5,075
0,09	-1,045	15	3	3	3	3	60	5,253
0,095	-1,022	15	4	3	4	3,66	73,2	5,613
0,1	-1	15	5	4	5	4,66	93,2	6,476
0,15	-0,823	15	5	5	5	5	100	8,09
0,2	-0,698	15	5	5	5	5	100	8,09
0,3	-0,522	15	5	5	5	5	100	8,09
1	0	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Finiflam F-15 a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 48hEC50 na 0,037 ml/l.

PYROCOOL B

Tabulka č. 49: Výsledky testu pro Pyrocool B po 24 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontola		15	0	0	0	0	0
1	0	15	5	5	5	5	100
10	1	15	5	5	5	5	100
15	1,176	15	5	5	5	5	100
20	1,301	15	5	5	5	5	100
25	1,397	15	5	5	5	5	100
30	1,477	15	5	5	5	5	100

Tabulka č. 50: Výsledky testu pro Pyrocool B po 48 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených kusů [ks]	Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]			Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]	Mortalita [%]
Kontola		15	0	0	0	0	0
0,001	-3	15	5	5	5	5	100
0,01	-2	15	5	5	5	5	100
0,015	-1,8239	15	5	5	5	5	100
0,02	-1,6989	15	5	5	5	5	100
0,025	-1,6020	15	5	5	5	5	100
0,03	-1,5228	15	5	5	5	5	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test.

Tabulka č. 50: Výsledky testu pro Pyrocool B po 24 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,003	-2,522	15	1	0	0	0,33	6,6	3,524
0,006	-2,221	15	2	1	1	1,33	26,6	4,387
0,009	-2,045	15	3	3	2	2,66	53,2	5,075
0,01	-2	15	4	3	4	3,66	73,2	5,613
0,03	-1,522	15	5	3	4	4	80	5,842
0,06	-1,221	15	4	4	5	4,33	86,6	6,126
0,09	-1,045	15	5	4	5	4,66	93,2	6,476
0,1	-1	15	5	5	5	5	100	8,09

Hodnota EC50 byla určena pro látku Pyrocool B z grafu závislosti probit na logaritmu koncentrace. Byla vypočtena hodnota log c pro 50% mortalitu z rovnice lineární regrese a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 24hEC50 na 0,0102 ml/l.

Tabulka č. 51: Výsledky testu pro Pyrocool B po 48 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených kusů [ks]**	**Počet uhynulých v jednotlivých šachtách [ks]**			**Průměrný počet uhynulých jedinců [ks]**	**Mortalita [%]**	**Probity**
Kontola		15	0	0	0	0	0	0
0,003	-2,522	15	2	1	1	1,33	26,6	4,387
0,006	-2,221	15	2	3	2	2,33	46,6	4,925
0,009	-2,045	15	4	3	4	3,66	73,2	5,613
0,01	-2	15	4	4	5	4,33	86,6	6,126
0,03	-1,522	15	5	4	5	4,66	93,2	6,476
0,06	-1,221	15	5	5	5	5	100	8,09
0,09	-1,045	15	5	5	5	5	100	8,09
0,1	-1	15	5	5	5	5	100	8,09

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Pyrocool B a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 48hEC50 na 0,0052 ml/l.

4.4 Test inhibice růstu okřehku menšího (*Lemna minor*)

Tento test byl vyhodnocen pouze podle růstové rychlosti lístků okřehku menšího. Avšak výslednou hodnotu 168hIC50 musíme považovat pouze za orientační. Důvodem byly výsledky referenčního testu se standardem dichromanem draselným na tomto organismu, které slouží k ověření správnosti postupů a citlivosti organismu. Tyto výsledky nedosahovaly hodnot vyžadovaných pro tento standard. Tudíž stanovená ekotoxicita testovaných látek na tomto organismu nemohla být považována za validní. Vyhodnocení podle množství

biomasy na testovacím organismu okřehku menšího nemohlo být zahrnuto do této diplomové práce, z důvodu velkého nárůstu řasy na stélkách okřehku. Řasa se využívá jako krmivo pro vodní organismy a bohužel jejím proniknutím do dobře zaizolované kádinky s rostlinou došlo k znehodnocení testu pro biomasu.

STHAMEX F-15

Tabulka č. 52: Výsledky testu pro Sthamex F-15 po 168 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených lístků [ks]**	**Celkový počet lítsků na konci testu[ks]**	**Růstová rychlost [µ]**	**I_{μ} [%]**
Kontola	-	9	80	0,0130	
1	0	9	9	0	100
10	1	9	9	0	100
20	1,301	9	9	0	100
30	1,477	9	9	0	100
40	1,602	9	9	0	100
50	1,698	9	9	0	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test, které je uvedeno v tabulce č. 53.

Tabulka č. 53: Výsledky testu pro Sthamex F-15 po 168 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených lístků [ks]**	**Celkový počet lítsků na konci testu[ks]**	**Růstová rychlost [µ]**	**I_{μ} [%]**
Kontola	-	9	98	0,0142	
0,03	-1,522	9	70	0,0122	14,08
0,06	-1,221	9	50	0,0102	28,16
0,09	-1,045	9	33	0,0077	45,77
0,1	-1	9	26	0,0063	55,63
0,3	-0,522	9	15	0,0030	78,8
0,6	-0,221	9	13	0,0021	85,21
0,9	-0,045	9	10	0,0006	95,77

Z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log c pro Sthamex F-15 a po odlogaritmování byla stanovena hodnota 168hIC50 na 0,115 ml/l. Tato hodnota je pouze orientační.

EXPYROL F-15

Tabulka č. 54: Výsledky testu pro Expyrol F-15 po 168 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených lístků [ks]	Celkový počet lítsků na konci testu[ks]	Růstová rychlost [μ]	I_{μ} [%]
Kontola	-	9	80	0,0130	
1	0	9	9	0	100
10	1	9	9	0	100
15	1,176	9	9	0	100
20	1,301	9	9	0	100
25	1,397	9	9	0	100
30	1,477	9	9	0	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test, které je uvedeno v tabulce č. 55.

Tabulka č. 55: Výsledky testu pro Expyrol F-15 po 168 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených lístků [ks]	Celkový počet lítsků na konci testu[ks]	Růstová rychlost [μ]	I_{μ} [%]
Kontola	-	9	98	0,0142	
0,03	-1,522	9	69	0,0121	14,78
0,06	-1,221	9	37	0,0084	40,84
0,09	-1,045	9	18	0,0041	71,12
0,1	-1	9	13	0,0021	85,21
0,3	-0,522	9	10	0,0006	95,77
0,6	-0,221	9	9	0	100
0,9	-0,045	9	9	0	100

Pro testovanou látku Expyrol F -15 na testovacím organismu *Lemna minor* byla z rovnice lineární regrese vypočtena hodnota log koncentrace a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 168hIC50 na 0,061 ml/l. Tato hodnota je pouze orientační.

MOUSOL APS F-15

Tabulka č. 56: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 po 168 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených lístků [ks]	Celkový počet lítsků na konci testu[ks]	Růstová rychlost [µ]	I_{μ} [%]
Kontola	-	9	80	0,0130	
1	0	9	9	0	100
10	1	9	9	0	100
15	1,176	9	9	0	100
20	1,301	9	9	0	100
25	1,397	9	9	0	100
30	1,477	9	9	0	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test, které je uvedeno v tabulce č. 57.

Tabulka č. 57: Výsledky testu pro Mousol APS F-15 po 168 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených lístků [ks]	Celkový počet lítsků na konci testu[ks]	Růstová rychlost [µ]	I_{μ} [%]
Kontola	-	9	98	0,0142	
0,1	-1	9	90	0,0137	3,52
0,3	-0,522	9	48	0,0099	30,28
0,6	-0,221	9	40	0,0088	38,02
0,9	-0,045	9	36	0,0082	42,85
1	0	9	29	0,0069	51,40
1,5	0,176	9	20	0,0047	66,90
3	0,477	9	13	0,0021	85,21
6	0,778	9	9	0	100

Pro testovanou látku Mousol APS F -15 na testovacím organismu *Lemna minor* byla z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log a po odlogaritmování této hodnoty byla stanovena hodnota 168hIC50 na 0,82 ml/l. Tato hodnota je pouze orientační.

FINIFLAM F-15

Tabulka č. 58: Výsledky testu pro Finiflam F-15 po 168 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených lístků [ks]	Celkový počet lítsků na konci testu[ks]	Růstová rychlost [µ]	I_{μ} [%]
Kontola	-	9	80	0,0130	
1	0	9	9	0	100
10	1	9	9	0	100
15	1,176	9	9	0	100
20	1,301	9	9	0	100
25	1,397	9	9	0	100
30	1,477	9	9	0	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test, které je uvedeno v tabulce č. 59.

Tabulka č. 59: Výsledky testu pro Finiflam F-15 po 168 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	log c	Celkový počet nasazených lístků [ks]	Celkový počet lítsků na konci testu[ks]	Růstová rychlost [µ]	I_{μ} [%]
Kontola	-	9	98	0,0142	
0,03	-1,522	9	50	0,0102	28,16
0,06	-1,221	9	41	0,0090	36,61
0,09	-1,045	9	38	0,0085	40,14
0,1	-1	9	23	0,0055	61,26
0,15	-0,823	9	15	0,0030	78,87
0,3	-0,522	9	9	0	100
0,6	-0,221	9	9	0	100
0,9	-0,045	9	9	0	100

Pro testovanou látku Finiflam F -15 na testovacím organismu *Lemna minor* byla z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log a po jejím odlogaritmování byla stanovena hodnota 168hIC50 na 0,076 ml/l. Tato hodnota je pouze orientační.

PYROCOOL B

Tabulka č. 60: Výsledky testu pro Pyrocool B po 168 hodinách – předběžný test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených lístků [ks]**	**Celkový počet lítsků na konci testu[ks]**	**Růstová rychlost [µ]**	**I_{μ} [%]**
Kontola	-	9	80	0,0130	
1	0	9	9	0	100
10	1	9	9	0	100
15	1,176	9	9	0	100
20	1,301	9	9	0	100
25	1,397	9	9	0	100
30	1,477	9	9	0	100

Na základě výsledků předběžného testu bylo stanoveno rozmezí koncentrací pro základní test, které je uvedeno v tabulce č. 61.

Tabulka č. 61: Výsledky testu pro Pyrocool B po 168 hodinách – základní test

Koncentrace c [ml/l]	**log c**	**Celkový počet nasazených lístků [ks]**	**Celkový počet lítsků na konci testu[ks]**	**Růstová rychlost [µ]**	**I_{μ} [%]**
Kontola	-	9	98	0,0142	
0,03	-1,522	9	45	0,0095	33,09
0,06	-1,221	9	43	0,0093	34,50
0,09	-1,045	9	24	0,0058	59,15
0,1	-1	9	20	0,0047	66,90
0,15	-0,823	9	13	0,0021	85,21
0,3	-0,522	9	9	0	100
0,6	-0,221	9	9	0	100
0,9	-0,045	9	9	0	100

Pro testovanou látku Pyrocool B na testovacím organismu *Lemna minor* byla z rovnice lineární regrese byla vypočtena hodnota log a po jejím následném odlogaritmování byla stanovena hodnota 168hIC50 na 0,059 ml/l. Tato hodnota je pouze orientační.

5. DISKUZE VÝSLEDKŮ

V diplomové práci bylo provedeno ekotoxikologické hodnocení vybraných hasebních prostředků. Testované byly tyto vybrané pěnotvorné hasební prostředky: Sthamex F-15, Expyrol F-15, Mousol APS F-15, Finiflam F-15 a Pyrocool B. Testovacími organismy byl zástupce terestrických organismů - dvouděložná rostlina hořčice bílá (*Sinapis alba*) a zástupci akvatickýc horganismů; korýši - hrotnatka velká (*Daphnia magna*), *Thamnocephalus platyurus* a jednoděložná rostlina okřehek menší (*Lemna minor*). Na testovacích organismech byly provedeny referenční testy s dichromanem draselným, jejichž výsledky odpovídaly deklarovaným hodnotám pro tento standard. Výjimkou byl okřehek *Lemna minor*, u kterého byly provedeny referenční testy jak se standardní látkou dichromanem draselným tak i se standardní látkou chloridem draselným. Jelikož výsledky tohoto testu nespadaly do rozmezí hodnot stanovených pro tento standard nemohou být považovány za platné. Výsledky získané prostřednictvím tohoto organismu je nutno považovat pouze za orientační a poukazují jen na citlivost tohoto organismu na danou testovanou látku.

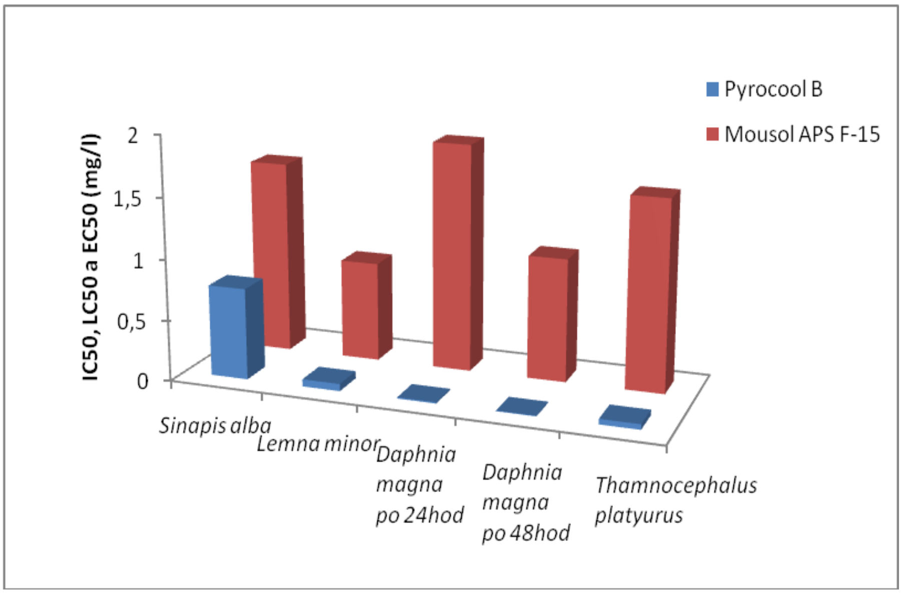
Veškeré testy, které byly aplikované na tyto testované látky, byly provedeny v souladu s danou metodikou.

Získané hodnoty byly shrnuty do následujících tabulek a grafů. V tabulce č. 62 jsou shrnuty veškeré výsledné hodnoty IC50, LC50 a EC50 pro testované látky

Tabulka č. 52: Výsledné hodnoty testovaných látek

	Sthamex F-15 (ml/l)	Expyrol F-15 (ml/l)	Mousol APS F-15 (ml/l)	Finiflam F-15 (ml/l)	Pyrocool B (ml/l)
Sinapis alba (72hIC50)	1,50	1,21	1,59	1,09	0,75
Lemna minor (168hIC50)	0,115	0,061	0,820	0,076	0,059
Daphnia magna (24hEC50)	0,150	0,106	1,869	0,127	0,010
Daphnia magna (48hEC50)	0,065	0,028	1,013	0,037	0,005
Thamnocephalus platyurus (24hLC50)	0,054	0,049	1,57	0,045	0,044

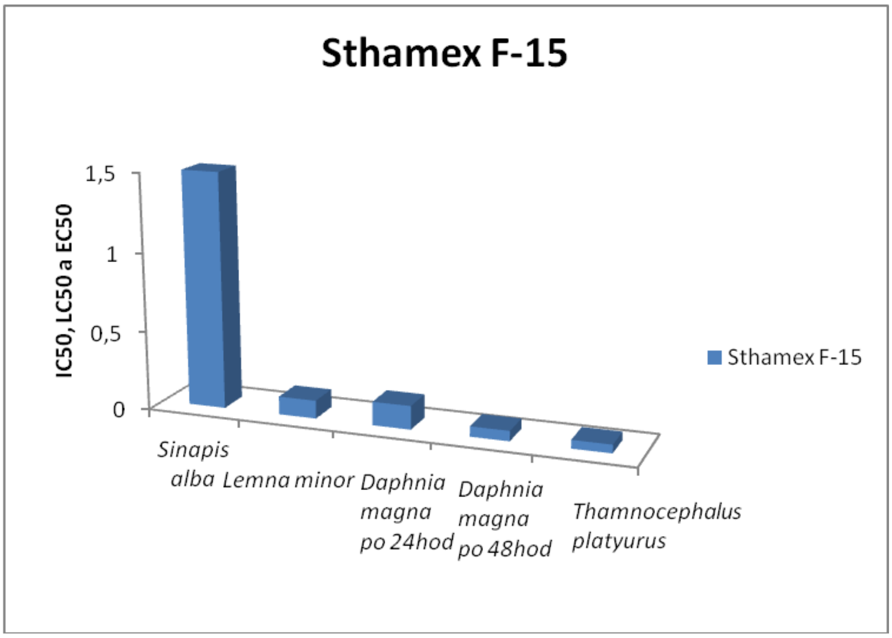
Z uvedených výsledků vyplývá, že nejtoxičtější látkou tzn., prokazuje nejvyšší ekotoxicitu, je Pyrocool B, který vykazuje nejnižší hodnoty IC50, LC50 a EC50 oproti ostatním testovaným látkám ve všech testech. Naproti tomu nejméně toxickou látkou, která má nejvyšší hodnoty IC50, LC50 a EC50 tzn. že, vykazuje nejnižší ekotoxicitu je Mousol APS F-15. V grafu č. 1 je znázorněno porovnání výsledků Pyrocoolu B s Mousolem APS F-15 pro všechny testovací organismy.



Graf č. 1: Porovnání hodnot IC50, LC50 a EC50 Pyrocoolu B a Mousolu APS F-15

Z grafu č. 1 vyplývá jasný rozdíl mezi ekotoxikologickými hodnotami stanovenými pro Pyrocool B a Mousol APS F-15 prostřednictvím všech testovacích organismů. Nejvyšší rozdíl v ekotoxicitě těchto dvou pěnotvorných látek byl v případě 24 hodinového testu na perloočce *Daphnia magna* a nejnižší v případě testu prováděném na hořčici bílé *Sinapis alba*.

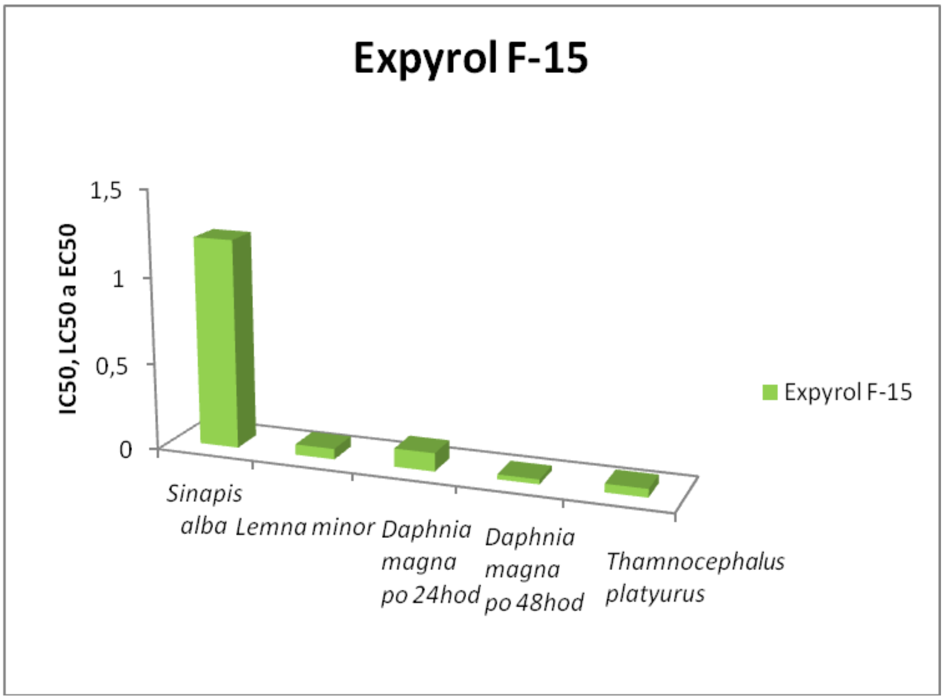
Pro lepší přehlednost a vyhodnocení jsou výsledky pro každý vzorek uvedeny v grafech zvlášť. Porovnáním výsledků všech testů stanovení ekotoxicity testovaných látek můžeme určit, který test je pro dané látky nejcitlivější. V grafu č. 2 jsou znázorněny výsledky testované látky Stamexu F-15, který byl testován prostřednictvím testů fytotoxicity na hořčici bílé *Sinapis alba* a okřehku menšího *Lemna minor* a testů na bezobratlých organizmech: *Daphnii magna* a *Thamnocephalus platyurus*.



Graf č. 2: Souhrn výsledků pro Sthamex F-15

Z grafu č. 2 je patrné, že nejvíce citlivým organismem pro danou testovanou látku je vodní korýš *Thamnocephalus Platyurus* jehož stanovená hodnota LC50 je 0,054 ml/l. Naopak nejméně citlivým organismem je terestrická rostlina *Sinapis alba,* jejíž hodnota IC50 byla vypočtena na 1,50 ml/l. Z grafu jednoznačně vyplývá, že testy na vodních organismech jsou citlivější než testy na vyšších terestrických rostlinách. Porovnáním citlivosti testů fytotoxicity je jednoznačné, že test provedený na testovacím organismu *Lemna minor* je mnohem citlivější než test na *Sinapis alba.*

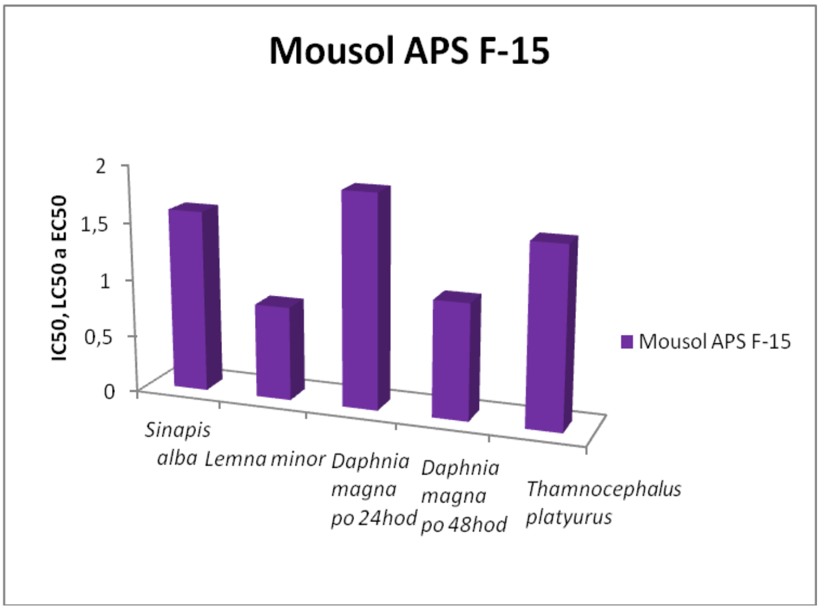
Další testovanou látkou byl Expyrol F-15, jehož výsledky jsou shrnuty do grafu č. 3. Expyrol F-15, tato látka byla testována na stejných organismech jako Sthamex F-15.



Graf č. 3: Souhrn výsledků pro Expyrol F-15

Pro testovanou látku Expyrol F-15 z grafu č. 3 jednoznačné vyplývá, že nejvíce citlivým organismem je perloočka *Daphnia magna,* jejíž hodnota EC50 je stanovena na 0,028 ml/l. Stejně jako u testované látky Sthamex F-15 vykazuje nejmenší citlivost testovací organismus *Sinapis alba*. Její hodnota 72IC50 byla stanovena na 1,21 mg/l. V porovnání s testovanou látkou Sthamexem F-15, látka Expyrol F-15 prokazuje mnohem nižší hodnoty IC50, EC50 a LC50, tudíž vykazuje mnohem vyšší ekotoxicitu.

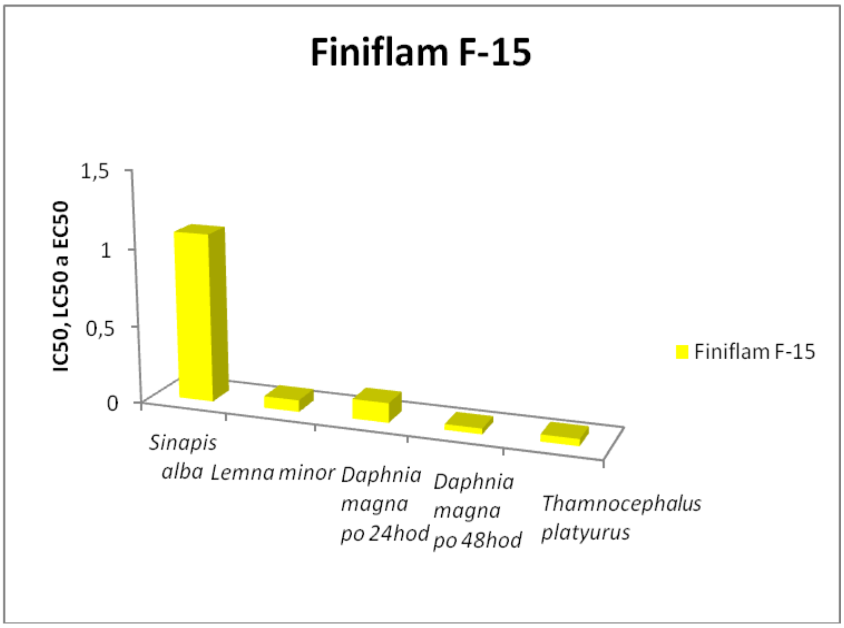
V grafu č. 4 jsou shrnuty výsledky pro Mousol APS F-15. Tato látka byla testována prostřednictvím stejných organismů jako předešlé testované látky.



Graf č. 4: Souhrn výsledků pro Mousol APS F-15

Z grafu č. 4 je patrné, že pro testovanou látku Mousol APS F-15 se jeví jako nejcitlivější testovací organismus *Lemna minor*, jehož hodnota 168IC50 je stanovena na 0,82 ml/l. Pro tuto látku byly vypočteny nejvyšší hodnoty IC50, LC50 a EC50, vykazoval tedy nejmenší ekotoxicitu oproti ostatním testovaným látkám. Provedený test na hořčici bílé vykazoval jednu z nejvyšších hodnot, vypočtená IC50 na tomto testovacím organismu byla 1,59 ml/l. Hodnota získaná z testu na *Daphnia magna* byla o něco málo vyšší, a to 1,869 ml/l. Porovnáním citlivosti *Daphnia magna* a *Sinapis alba* vůči této testované látce musíme konstatovat, že v tomto případě je citlivost těchto taxonomicky velmi odlišných organismů podobná.

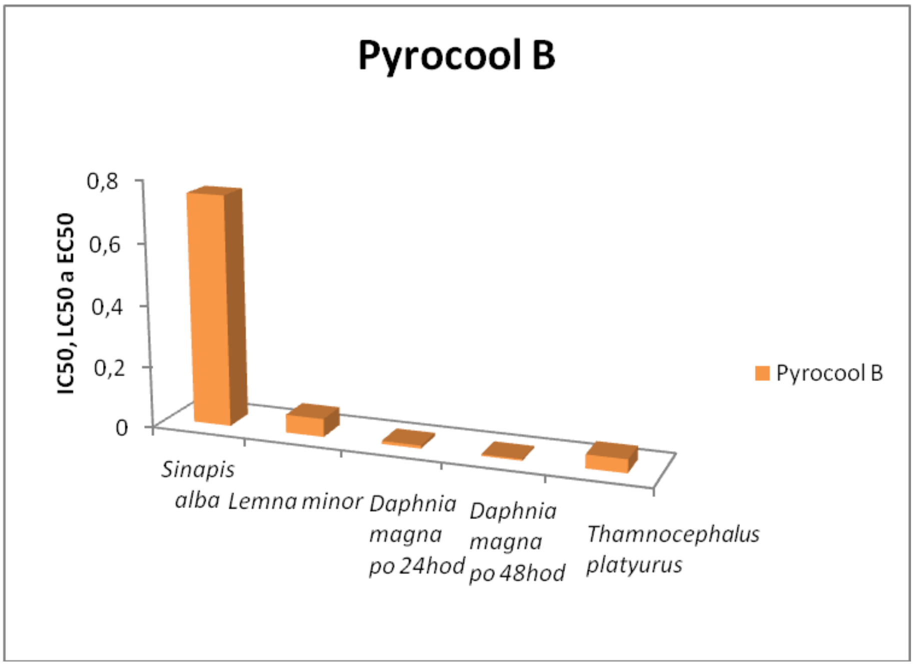
Výsledky pro Finiflam F-15 jsou shrnuty v grafu č. 5. Jejich porovnáním lze opět určit, který testovací organismus je pro danou látku nejcitlivější.



Graf č. 5: Souhrn výsledků pro Finiflam F-15

Z výsledků vyplývá, že testovací organismy *Daphnia magna* a *Thamnocephalus platyurus* jsou nejcitlivější vůči testované látce. Porovnáním hodnot EC50 a LC50 vypočtených pro oba organismy je patrné, že *Daphnia magna* je o něco citlivější. Její hodnota 48EC50 byla stanovena na 0,037 ml/l. Nejméně citlivým organismem je hořčice bílá, kde hodnota IC50 byla stanovena na 1,09 ml/l. V porovnání s ostatními testovanými hasebními látkami se Finiflam F-15 jeví jak druhá nejtoxičtější látka.

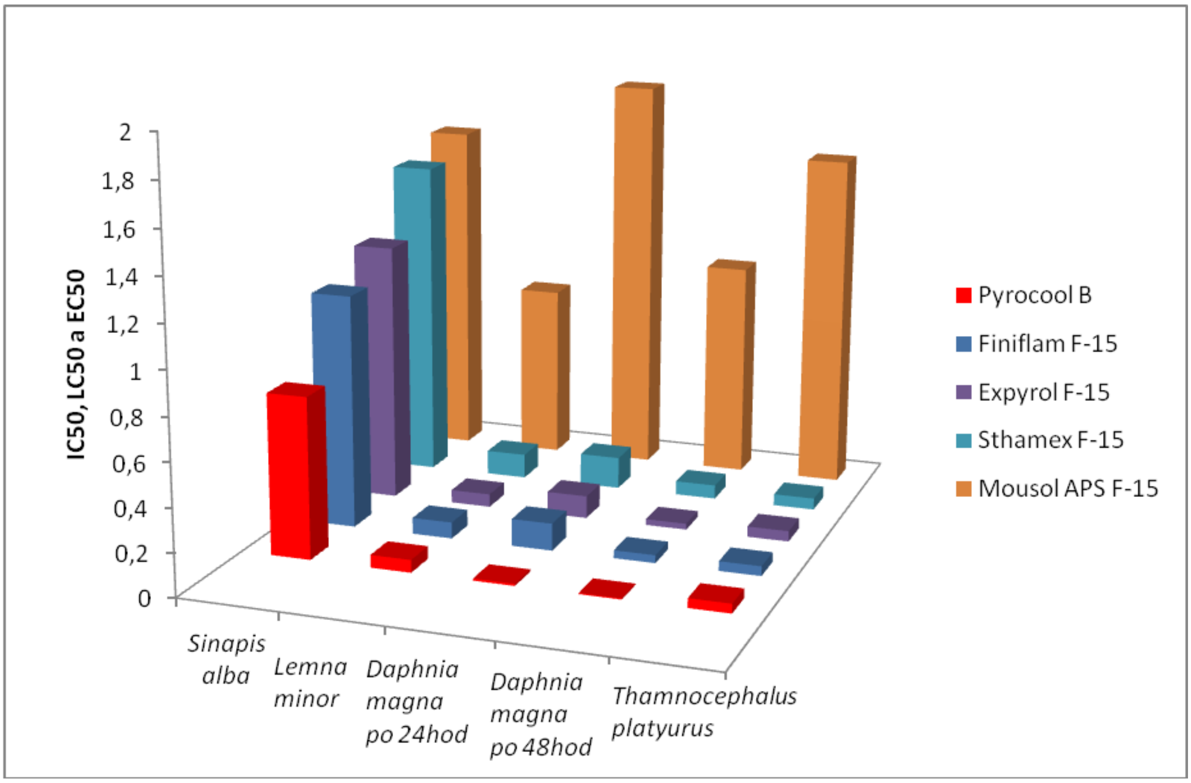
Poslední testovanou látkou byl Pyrocool B, který se jednoznačné jeví jako nejvíce toxická látka. Jeho hodnoty IC50, LC50 a EC50 jsou pro všechny testovací organismy ve srovnání se všemi testovanými látkami nejnižší. V grafu č. 6 jsou shrnuty veškeré výsledky pro tuto testovanou látku.



Graf č. 6: Souhrn výsledků pro Pyrocool B

Z grafu č. 6 vyplývá nejen již zmiňovaná nejvyšší ekotoxicita, ale také citlivost jednotlivých testovacích organismů. Nejvíce citlivým organismem z řady bezobratlých je perloočka *Daphnia magna*, jejíž hodnota EC50 byla stanovena na 0,005 ml/l. Z řady testů na vyšších rostlinách je velmi citlivým organismem okřehek menší u něhož byla hodnota 168IC50 stanovena na 0,076 ml/l. Naopak *Sinapis alba* se projevila jako nejméně citlivý organismus. Její hodnota IC50 byla stanovena na 0,75 ml/l.

V grafu č. 7 jsou znázorněny hodnoty IC50, LC50 a EC50 pro všechny testované tenzidy. Z těchto hodnot můžeme vypozorovat rozdílnou ekotoxicitu, přičemž tyto rozdíly jsou velmi značné. Můžeme určit, který testovací organismus vykazuje nejvyšší citlivost a který naopak nejnižší.



Graf č. 7: Porovnání hodnot IC50,LC50 a EC50 pro všechy testované látky

Z grafu č. 7 jednoznačně vyplývají nejnižší hodnoty IC50, LC50 a EC50 a tedy nejvyšší ekotoxicita pro testovanou látku Pyrocool B oproti ostatním látkám. Sthamex F-15, Expyrol F-15 a Finiflam F-15 vykazují poměrně podobné hodnoty na všech testovacích organismech. Mnohem vyšší hodnoty IC50, LC50 a EC50 byly potvrzeny na všech testech u testované látky Mousol APS F-15. Z uvedených výsledků můžeme konstatovat, že Pyrocool B představuje největší riziko a nebezpečí pro životní prostředí. Naopak Mousol APS F-15 se prokázal jako nejméně nebezpečná látka. V případě alternativních testů s vodními organismy lze jednoznačně určit nejcitlivější organismus. Pro všechny testované látky se jevil jako nejcitlivější testovací organismus *Daphnia magna* – 48 hodinový test. V rámci testů fytotoxicity se citlivějším organizmem jevil okřehek menší *Lemna minor*. Na základě těchto skutečností musíme konstatovat, že citlivost všech testovacích organismů je velmi různorodá, ale při porovnání testů můžeme říct, že testy využívající bezobratlé akvatické organismy jsou mnohem citlivější než testy prováděné na vyšších terestrických rostlinách.

6. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo ekotoxikologické hodnocení vybraných hasebních prostředků. K testování byly zvoleny látky ze skupiny tenzidů, které se aplikují jako příměsi do pěnotvorných prostředků s následujícími komerčními názvy: STAMEX F-15, EXPYROL F-15, MOUSOL APS F-15, FINIFLAM F-15 a PYROCOOL B.

Byla vypracována literární rešerše zaměřená na problematiku hasebních látek. Byly zde popsány vlastnosti hasebních prostředků a jejich vliv na životní prostředí.

Pro hodnocení pěnotvorných hasebních látek byly vybrány standardní testy ekotoxicity, a to na semenech hořčice bílé (*Sinapis alba*) a na okřehku menším (*Lemna minor*). Tyto testy byly dále doplněny alternativními testy na vodních bezobratlých organismech; *Thamnocephalus platyurus* a hrotnatka velká (*Daphnia magna*). Všechny testy byly provedeny v souladu s danou metodikou.

Pro ověření správnosti výsledků a citlivosti testovacích organismů byly všechny testovací organismy podrobeny referenčním testům. Standardní látkou pro všechny organismy byl dichroman draselný $K_2Cr_2O_7$ a pro test na okřehku menším byla použita i standardní látka chlorid draselný KCl. U testu inhibice růstu okřehku menšího byly testy vyhodnoceny pouze podle růstové rychlosti. Tato hodnota se musela brát pouze za orientační, z důvodu výsledků referenčního testu, které nemohly být považovány za validní. Vyhodnocení testu podle množství biomasy nebylo provedeno z důvodu kontaminace řasou, která se v laboratorní místnosti pěstuje jako krmivo pro vodní organismy.

Porovnáním všech testovaných látek lze konstatovat, že nejvyšší ekotoxicitu jednoznačně prokazoval Pyrocool B, a to pro všechny testovací organismy. Jako nejcitlivější organismus vůči testované látce se ukázala *Daphnia magna*, kde stanovená hodnota EC50 byla 0,005 ml/l. Naproti tomu Mousol APS F-15 se jevil jako nejméně toxická látka ve všech provedených testech. Vykazuje mnohem vyšší hodnoty IC50, LC50 a EC50 oproti ostatním testovaným látkám. Nejvíce citlivý organismus pro Mousol APS F-15 byla *Lemna minor* jejíž stanovená hodnota EC50 byla 0,82 ml/l.

V případě porovnání celkové citlivosti testovacích organizmů na testované látky můžeme říci, že testy na vodních bezobratlých organismech (*Daphnia magna, Thamnocephalus platyurus*) byly u všech testovaných látek, kromě Mousolu APS F-15 citlivější oproti testům na vyšších rostlinách (*Sinapis alba, Lemna minor*). V rámci této skupiny testovacích organismů pak lze konstatovat, že akvatická jednoděložná rostlina *Lemna minor* je mnohem citlivější vůči působení testovaných látek, než terestrická dvouděložná rostlina *Sinapis alba*.

Závěrem mohu konstatovat, že i přes veškeré rozdíly hodnot IC50, LC50 a EC50, které byly pro testované hasební látky stanoveny, se jedná o látky velmi nebezpečné, které představují riziko jak pro člověka, tak i pro životní prostředí. Je tedy důležité, aby se problematikou hasebních prostředků více lidstvo zabývalo i z hlediska ekotoxikologického.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Mizerski, A., Sobolewski, M., Król, B.: *Hasicí pěny*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. 109 s. ISBN 978-80-7385-076-0

2. BALOG, K.: *Hasiace látky a jejich technológie*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2004, 171 s. ISBN 80-866-3449-3.

3. HUSTED, B.P.: *Experimental measurements of water mist systems and implications for modelling in CFD* [online]. Lund, 2007 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: http://firestation.wordpress.com/2009/01/20/publicaciones-universidad-de-lund-lund-university-department-of-fire-safety-engineering-and-systems-safety/

4. KALOUSEK, J.: *Základy fyzikální chemie hoření, výbuchu a hašení*. 2. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999, 203 s. ISBN 80-861-1134-2.

5. ORLÍKOVÁ, K.: *Chemie hasebních látek*. 3. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 92 s.

6. KVARČÁK, M.: *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005, 134 s. ISBN 80-866-3476-0.

7. STEJSKAL, J.: *Hasiva*. Sdružení hasičů Čech, Moravy a Slezka, 1995.

8. KVARČÁK, M.: *Požární taktika v příkladech*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1998, 232 s. ISBN 80-861-1108-3.

9. ORLÍKOVÁ, K.: *Hasiva klasická a moderní*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2002, 92 s. ISBN 80-861-1193-8.

10. ORLÍKOVÁ, K.: *Hasební látky*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1995, 90 s. ISBN 80-902-0010-9.

11. OŽNA, P., BRUMOVSKÁ I.: *Chemie hasicích látek*. SOŠ požární ochrany MV, Frýdek - Místek, 1995.

12. ŠENOVSKÝ, M. a BALOG K.: *Integrální bezpečnost*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, 109 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-076-0.

13. BALOG, K.: *Environmentálne aspekty penidiel a hasiacich pien* [online]. Trnava: Katedra environmentálného a bezpečnostního inžinierstva, 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: www.cervenykohout.eu

14. RUPPERT, W. H. et al.: *Environmental impacts of fi refi ghting foams* [online]. [cit.2012-4-08]. Dostupné z: http://www.haifi re.com/publications.pdf

15. ŠŤÁVA, P.: *Zásobování hasivy*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999, 176 s. ISBN 80-861-1140-7.

16. OŠLEJŠEK, P.: *Technika hašení požárů v uzavřených prostorech* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: http://www.flashover.cz/Dokumenty/Bakalarska%20prace%20-%20Oslejsek%20Petr.pdf. Diplomová práce. Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Marek Sobek.

17. *Pěnidla AFFF a obsah PFOA* [online]. 2004 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: http://www.belohoubek.com/pages/produkty.php?id=27

18. ORLÍKOVÁ, K.: *Nové halonové alternativy v hasební technice*. Sborník mezinárodní konference,, Požární ochrana 1994". Ostrava 1994

19. PITTER, P.: *Hydrochemie*. 3. přepr. vyd. Praha: VŠCHT, 1999, 568 s. ISBN 80-708-0340-1.

20. PITTER, P.: *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.

21. ŠMÍDRKAL, J.: Tenzidy a detergenty dnes. *Chemické listy* [online]. 1999, č. 93 [cit. 2012-04-4]. Dostupné z: http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_07_421-427.pdf

22. BLAŽEJ A. a kol: *Tenzidy*. vyd. 1. Bratislava: ALFA, 1977, 481 s.

23. BAREŠ M.: *Chemie a technologie tenzidů a detergentů*. Skriptum VŠCHT, Praha 1982

24. PEVNÁ, E., RIPPELOVÁ V. a KOCHÁNKOVÁ L.: *Vliv aplikace tenzidu na ekotoxicitu zemin a jejich výluhů* [online]. Praha, 2011 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: www.odpadoveforum.cz/OF2011/dokumenty/prispevky/038.pdf

25. SVOBODOVÁ Z.: Ekotoxikologie, praktická část cvičení I., Brno 2000, 70 stran, ISBN 80-85114-95-X

26. Zákon o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon). In: *350/2011*. 2011. Dostupné z: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pravni_predpisy_chemicke_latky_2012/$FILE/oer-zakon_350-20120101.pdf

27. Oprava nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES. In: 2006. Dostupné z: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pravni_predpisy_chemicke_latky_2012/$FILE/oer-narizeni_1907-20070601.pdf

28. Zákon o technických požadavcích na výrobky. In: *22/1997*. 1997. Dostupné z: http://www.unmz.cz/urad/pracovni-uplne-zneni-zakona-c-22-1997-sb-o-technickych-pozadavcich-na-vyrobky-od-20-7-2011

29. Adsorption and micellization behavior of novel gluconamide-type gemini surfactants, *Journal of Colloid and Interface Science*, *Volume 318, Issue 2*, *15 February 2008*, *Pages 440-448*

30. PICHLER, J. *Technologie základních organických látek, tenzidy, barviva a pigmenty.* 1.vyd. Brno : [s.n.], 1988. 81 s.

31. MYERS, D. *Surfactants science and technology*. 3rd edition. New Jersey:John Wiley& Sons, Inc., 2006. 380 p. ISBN 13 978-0-471-6802.

32. FAINMERMAN, V. B., MÖBIUS, D., MILLER, R.: *Surfactants: Chemistry, Interfacial Properties,Applications*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 661 p. ISBN 0444509623.

33. MULLEROVÁ, M. a ŠVÁB M.: Měření kritických micelárních koncentrací tenzidů ve vodných roztocích.. *Chemické listy* [online]. 2007, č. 101 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_06_509-514.pdf

34. LOWE D. F., OUBRE C. L., WARD C. H.: *Surfactants and Cosolvents for NAPL Remediation*. Lewis Publishers, Boca Raton 1999.

35. HOLMBERG K., JÖNSSON B., KRONEBERG B., LINDMAN B.: *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*. John Wiley &Sons, Chichester 2003.

36. Bezpečnostní list; dostupné z: http://www.gfd-katalog.com/master/media/media/17/171600_SICHERHEITSDATENBLATT.PDF?MediandoWEB_gfd_schmitt_feuerwehrtechnik=4903c811f7ab3d5209b4377b7dfe5d88

37. Bezpečnostní list; dostupné z: http://www.gfd-katalog.com/master/media/media/17/171650_SICHERHEITSDATENBLATT.PDF?MediandoWEB_gfd_schmitt_feuerwehrtechnik=4903c811f7ab3d5209b4377b7dfe5d88

38. KUJALOVÁ, H., HEJNICOVÁ M. a SÝKORA V.: *Právní předpisy o tenzidech a detergentech*. [online]. 2011, č. 105 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_06_445-451.pdf

39. SPITZ L. (Edit.): *Soaps and Detergents*. AOCS Press, Champaign, USA 1996

40. SWISHER R.D: *Surfactant Biodegradation*. 2.vydání, Dekker, New York 1987

41. PROKEŠ, J.: *Základy toxikologie*: *obecná toxikologie a ekotoxikologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2005, 248 s. ISBN 80-726-2301-X.

42. HOFFMAN D., RATTNE B., BURTON G., CAIRNS J.,: *Hand book of Ecotoxicology*. Boca Raton : CRC Press, 1995

43. RICHARDSON, M.: *Ecotoxicology monitoring*. New York: VCH, c1993, xxv, 384 p. ISBN 15-608-1736-4.

44. KOČÍ, V. a MOCOVÁ K.: *Ekotoxikologie pro chemiky*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2009, 199 s. ISBN 978-80-7080-699-9.

45. Nařízení komise (ES) č. 761/2009, kterým se přizpůsobuje technickému pokroku nařízení (ES) č. 440/2008, kterým se stanoví zkušební metody podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek. Dostupné z: http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/1E1B1C9B5788B123C125762B00352463/$file/32009R0761.pdf

46. KOČÍ, V.: Význam testů toxicity pro hodnocení vlivu látek na životní prostředí. *Chemické listy* [online]. 2006, č. 100 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2006_10_882-888.pdf

47. KAFKA, Z. a PUNČOCHÁŘOVÁ J.: Biotesty a jejich aplikace v analytice životního prostředí. *Chemické listy* [online]. 1999, č. 93 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_10_604-606.pdf

48. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J.: *Aplikovaná a technická hydrobiologie. – Skriptum* VŠCHT Praha, 2003. 226s.

49. *Thamnocephalus platyurus* [online]. [cit. 2012-05-1]. Dostupné z: http://www.ebpi.ca/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=68

50. KAPLAN Z., LEMNA L., KUBÁT K. et al. (eds.) *in: Klíč ke Květeně České republiky*, Academia, Praha 2002

51. *Lemna minor* [online]. [cit. 2012-05-1]. Dostupné z: http://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id21760/?taxonid=42793

52. *ČSN EN ISO 6341. Jakost vod – Zkouška inhibice pohyblivosti Daphnia magna,Straus* (*Cladocera, Crustacea*) *– Zkouška akutní toxicity*. Praha: ČNI, 1997. 16 s.

53. *Daphnia magna* [online]. [cit. 2012-05-1]. Dostupné z: http://cfb.unh.edu/CFBKey/html/Organisms/CCladocera/FDaphnidae/GDaphnia/Daphnia_magna/daphmagna7large.jpg

54. *Finiflam F-15* [online]. [cit. 2012-05-1]. Dostupné z: www.superto.cz/soubor/294738

55. *Bezpečnostní list* [online]. [cit. 2012-05-1]. Dostupné z: http://www.bochemie.cz/ke-stazeni/co-je-to-bezpecnostni-list--1.aspx

56. Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. In: *22/1997.* 1997. Dostupné z: http://www.esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?CP=1997s022&DR=SB

57. UREKOVÁ, I. a BALOG K.: The environmental impacts of fire-fighting foams. *Vědecké práce* [online]. 2010, č. 29 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.mtf.stuba.sk/docs/doc/casopis_Vedecke_prace/29/12_turekova.pdf

58. *Horčice bílá* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://vfu-www.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/Horcice.jpg

59. *Standard operational procedure: Thamnotoxkit F^{TM}: Crustacean toxicity sreening test for freshewater*. Belgium: Microbiotests Inc., 1995.28 p.

60. *Připravované normy pro biologické rozbory vod* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/02_fremrova.pdf

61. *ČSN EN ISO 20079 Jakost vod – stanovení toxických účinků složek vody a odpadní vody na okřehek (Lemna minor) – Zkouška inhibice růstu okřehku*. Praha: Český normalizační institut, květen 2007. 16 s.

62. KOČÍ, V., RAKOVNICKÝ, T., ŠVAGR, A.. *Test semichronické toxicity se semeny Sinapis alba* [online]. VŠCHT Praha, 2001 [cit. 2012-03-15]. Dostupný z WWW: http://www.vscht.cz/uchop/ekotoxikologie/dokumenty/Sinapis.htm.

63. *Daphnia magna* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://cfb.unh.edu/CFBKey/html/Organisms/CCladocera/FDaphnidae/GDaphnia/Daphnia_magna/daphniamagna.html

64. Standard operational procedure: Daphtoxkit F^{TM} magna : *Crustacean toxicity sreening test for freshewater*. Belgium: Microbiotests Inc., 1995.27 p.

65. *Rybičky.net*: *Hronatka velká* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://rybicky.net/atlasostatnich/hrotnatka_velka

66. Guang-Guo, Y.: *Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment*, Adelaide Laboratory, PMB 2, Glen Osmond, SA 5064, Australia

67. CSERHÁTI, T., FORGÁCS, E., OROS, G.: Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environment International* [online]. 2002 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: www: http://www.elsevier.com/locate/envint

68. Vyhláška, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, týkající se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a chemických přípravků: Příloha č.5. In: *232/2004 Sb.* 2004. Dostupné z: http://www.eurochem.cz/index.php?MN=Vyhl%E1%9Aka+232%2F2004+Sb.&ProdID=0002A806F97F1F860002EC3F&R=191&F=232_a2_005

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AFFF - pěnidla tvořící vodní film (z angl. aqueous film forming foam) A3F

FFFP - fluoroproteinová pěnidla tvořící film (z angl. fluoroprotein film forming foam)

PFOS - perfluoroktylsulfonát

PFOA - kyselina perfluoroktanová

ČSN - označení českých technických norem

EN – Evropská norma

ČR – Česká republika

HZS ČR - Hasičský záchranný sbor České republiky

HZS JMK - Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje

ISO - *International Organization for Standardization* – Mezinárodní organizace pro standardizaci

LC50 - letální koncentrace, při které uhyne 50 % testovacích organismů

EC50 - efektivní koncentrace, která vyvolá 50 % úhyn nebo imobilizaci testovacích organismů

IC50 - inhibiční koncentrace, která způsobí 50 % snížení růstu nebo růstové rychlosti v porovnání s kontrolním vzorkem