

B10

2. miesto - krajské kolo  
účasť na celoslovenskom kole

**GYMNÁZIUM PÚCHOV**  
**UL. 1. MÁJA 905, 020 01, PÚCHOV**

**ČISTENIE ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA**  
**POMOCOU FUNGI**

**STREDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOSŤ**

**Č. odboru: 05 Životné prostredie, geografia, geológia**

**Riešiteľ: Jakub Jurovčík**

**PÚCHOV**

**2023**

**3. ročník**

**Konzultant: RNDr. Stanislava Búriková, PhD.**

### **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujem, že prácu stredoškolskej odbornej činnosti na tému „Čistenie životného prostredia pomocou Fungi“ som vypracoval samostatne a s použitím uvedených literárnych zdrojov, a v súlade s etickými normami. Zároveň vyhlasujem, že prácu som neprihlásil a ani neprezentoval v žiadnej inej súťaži, ktorá je pod gestorstvom MŠMVVaŠ SR. Som si vedomý zákonných dôsledkov, ak v nej uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Púchove dňa 18.12.2022

.....

Podpis

## **Pod'akovanie**

Moja vd'aka patrí pani RNDr. Dagmar Balalovej za radu, pani Paedr. Gabriele Václavíkovej za pomoc v školskom laboratóriu, pani Mgr. Veronike Hanákovej za pomoc s jazykovou stránkou práce a pánovi Mgr. Jaroslavovi Jurenkovi za pomoc s informatickou stránkou a v neposlednom rade pani RNDr. Stanislave Buríkovej za rady, pomoc pri vyberaní témy a odborné konzultácie.

## Obsah

Úvod.....	6
1 Problematika a prehľad literatúry .....	7
1.1 Životné prostredie .....	7
1.1.1 Typy životného prostredia .....	7
1.2 Sanácia .....	7
1.2.1 Biosanácia .....	8
1.2.2 Mykosanácia .....	8
1.3 Fungi .....	8
1.3.1 Základná charakteristika .....	8
1.4 Hubové enzýmy .....	9
1.4.1 Oxidoreduktázy .....	10
1.4.2 Oxygenázy .....	10
1.4.3 Peroxidázy.....	11
1.4.4 Lignínolytické enzýmy .....	11
1.5 Odpady v ŽP .....	12
1.5.1 Radiácia.....	12
1.5.2 Ťažké kovy.....	13
1.5.3 Syntetické textilné farbivá .....	13
1.5.4 Ropa a ropné produkty .....	14
1.6 Pleurotus ostreatus .....	15
2 Ciele práce.....	17
3 Materiál a metodika práce .....	18
3.1 Komplikácie .....	18
3.2 Mykoremediácia.....	18
3.3 Kontaminant.....	19
3.4 Substrát hlivy ustricovej.....	19



3.4.1	Pridanie kontaminantu .....	19
3.5	Sadenie hľivy ustricovej .....	19
3.5.1	Zložky sadenia .....	19
3.5.2	Výsadba.....	19
3.5.3	Vystavenie kontaminantu.....	23
3.6	Dotazník .....	20
3.7	Dôkaz neprítomnosti uhl'ovodíkov v substráte .....	22
3.7.1	Materiál .....	22
3.7.2	Postup.....	22
3.7.3	Výsledok reakcie v prípade prítomnosti uhl'ovodíkov.....	22
4	Výsledky a diskusia.....	23
4.1	Vyhodnotenie kontaminovaného substrátu .....	23
4.1.1	Rast plodníc.....	23
4.1.2	Filtrácia a absorbcia odpadu .....	23
4.1.3	Vplyv kontaminantu na plodnice .....	23
4.2	Vyhodnotenie kontaminovanej sadby .....	23
4.2.1	Pozorovanie rastu podhubia .....	23
4.2.2	Absorpcia kontaminantu .....	23
4.3	Vyhodnotenie dotazníka.....	24
4.4	Vyhodnotenie dôkazovej reakcie prítomnosti uhl'ovodíkov .....	27
5	Diskusia .....	29
6	Záver práce .....	30
7	Zhrnutie .....	31
8	Zoznam použitej literatúry .....	32
	Zoznam príloh .....	36
	Príloha A: Prerastený substrát hľivy ustricovej vystavený kontaminantu.....	37
	Príloha B: Sadba hľivy ustricovej vystavená kontaminantu.....	39

.....	40
Príloha C: Dôkazová reakcia pre prítomnosť uhlíkovdíkuv .....	41
.....	42
.....	43
Príloha D: Grafy z dotazníka .....	44

## Úvod

„Sú to akési najväčšie prírodné rozkladače. Sú oveľa lepšie a silnejšie ako baktérie, zvieratá a rastliny,“ zmienil sa mykológ Peter McCoy.<sup>1</sup>

Život na Zemi vznikol veľmi dávno a je zatiaľ jediný známy vo vesmíre. Je tvorený celým radom rôznych organizmov od jednoduchých až po tie zložité. Od jeho prvého vzniku ostal na Zemi až doteraz, lebo ako sa vraví, život si vždy nájde cestu. Avšak na obzore sa objavila nová hrozba vo forme vyspelých, no nie veľmi ohľaduplných organizmov – ľudí.

Ludia si, ak sa dá povedať, podmanili Zem aj s jej živlami. Pri vytváraní podmienok pre ich zdravý vývin, ktorý zahŕňa mnoho aspektov, nemyslia na následky svojho konania na životné prostredie. Tieto následky sa môžu prejavíť vo forme odpadu v životnom prostredí. Medzi najčastejšie odpady, ktoré majú vysoko negatívny vplyv na ostatné organizmy, a tým pádom aj na ľudí, patria: ropa, ropné produkty (najmä vo forme plastov, palív atď.), ťažké kovy, pesticídy, rádionuklidy, rôzne chemikálie a iné.

Ak by sme sa spýtali dnešnej generácie na formu odpadu v prírode, odpovedí je mnoho. Ale pri otázke na spôsoby odstraňovania týchto odpadov a ich premenu na menej škodlivé látky, odpovedí je značne menej. Väčšina z nich ponúka len mechanické odstraňovanie odpadov a nie ich úplne odstránenie. Preto ponúkame poukázanie na možné odstraňovanie odpadu prostredníctvom organizmov ako na jeden z najekologickejších spôsobov.

V našej práci sa zameriavame na čistenie odpadu prostredníctvom húb. V teoretickej časti chceme oboznámiť spoločnosť s tým, kde sa vyskytuje znečistenie a aké sú jeho hlavné zložky, ktoré enzýmy využívajú huby na rozklad odpadu, ktorý je možné pomocou húb odstrániť a tiež oboznámenie s hubou, ktorej sú kvôli viacerým štúdiám, ktoré na nej boli vykonané pripisované výborne vlastnosti, čo sa týka odstraňovania kontaminantov zo životného prostredia.

Dúfame, že táto práca bude inšpiráciou pre tých, ktorí študujú danú problematiku znečistenia životného prostredia a podnieti ich vykonať ďalšie štúdiá a experimenty pre potvrdenie správnosti danej témy a jej možné rozšírenie.

---

<sup>1</sup> Mushrooms: “Nature’s Greatest Decomposers” Dostupné na internete:

[https://human.libretexts.org/Bookshelves/Literature\\_and\\_Literacy/Book%3A\\_88\\_Open\\_Essays\\_-\\_A\\_Reader\\_for\\_Students\\_of\\_Composition\\_and\\_Rhetoric\\_\(Wangler\\_and\\_Ulrich\)/Open\\_Essays/04%3A\\_Mushrooms%3A\\_Natures\\_Greatest\\_Decomposers\\_\(Anderson\)](https://human.libretexts.org/Bookshelves/Literature_and_Literacy/Book%3A_88_Open_Essays_-_A_Reader_for_Students_of_Composition_and_Rhetoric_(Wangler_and_Ulrich)/Open_Essays/04%3A_Mushrooms%3A_Natures_Greatest_Decomposers_(Anderson))

# 1 Problematika a prehľad literatúry

## 1.1 Životné prostredie

Je akékoľvek prostredie, v ktorom sa vyskytujú organizmy, pre ktoré sú podmienky na život prirodzené, a je možný ďalší zdravý vývoj týchto organizmov. Životné prostredie môže byť ohrozené rôznymi odpadmi vznikajúcimi pri poľnohospodárskej a priemyselnej činnosti človeka, čo môže ohroziť život organizmov.

### 1.1.1 Typy životného prostredia

#### 1.1.1.1 O vzdušie

Medzi najrozšírenejší kontaminant vnikajúci do atmosféry patrí oxid siričitý, ktorý sa vo forme zrážok dostáva do vody a pôdy a okysľuje ich. Do ovzdušia stúpa tiež fluór, chlór, oxidy dusíka, oxid uhoľnatý, rozličné organické zlúčeniny, zlúčeniny olova, mangánu a mnohých iných prvkov, ktoré sú toxické a niektoré z nich sú karcinogénne.<sup>2</sup>

#### 1.1.1.2 Voda

„Moria sú ohrozované najmä znečisťovaním ropnými produktami pri lodnej doprave, pri ťažbe ropy, pri haváriách tankerov. Veľké rieky ústiace do mora predstavujú väčšinou veľmi znečistené stoky prenášajúce rôzne, často toxické nečistoty, ako zlúčeniny ťažkých kovov, ďalej saponáty, pesticídy a ich zvyšky a pod.“<sup>3</sup>

#### 1.1.1.3 Pôda

„V pôde sa hromadia z emisií aj niektoré kovy (vanád, arzén, olovo, kadmium) a pesticídy a spôsobujú ich toxicitu. Ohrozením pôdy sú aj ropovody, z ktorých môže pri haváriách uniknúť do pôdy ich obsah. Kyslý dážď okysľuje pôdu, a tým sa menia jej vlastnosti, vyplavuje sa viac vápnika, horčíka, draslíka, ničia sa pôdne organizmy a pôda sa menej prevzdušňuje.“<sup>4</sup>

## 1.2 Sanácia

Sanácia je odstraňovanie neželaných pomerov, podmienok, tzv. ozdravenie.

---

<sup>2</sup> Človek a životné prostredie. Dostupné na internete: <<https://biopedia.sk/ekologia/clovek-a-zivotne-prostredie>>

<sup>3</sup> Človek a životné prostredie. Dostupné na internete: <<https://biopedia.sk/ekologia/clovek-a-zivotne-prostredie>>

<sup>4</sup> Človek a životné prostredie. Dostupné na internete: <<https://biopedia.sk/ekologia/clovek-a-zivotne-prostredie>>

V ekológii je sanácia proces odstraňovania kontaminantov z pôdy alebo vody a vrátenie takejto kontaminovanej lokality do nedotknutého stavu.<sup>5</sup>

Pri odstraňovaní znečisťujúcich látok z prostredia je však potrebné pristupovať tak, aby sa čo najmenej ohrozovalo životné prostredie. Najvhodnejším spôsobom odstraňovania je biosanácia.

### 1.2.1 Biosanácia

Biosanácia je spôsob čistenia kontaminácie životného prostredia prostredníctvom živých organizmov.<sup>6</sup>

Môže vyžadovať viac údržby a pozornosti ako tradičné sanačné metódy, z dlhodobého hľadiska je ale najlepším možným riešením.<sup>7</sup>

Biosorpcia je jednou z metód biosanácie, spočíva vo viazaní a koncentrovaní prvkov z vodného roztoku na povrchu bunky<sup>8</sup>.

### 1.2.2 Mykosanácia

Mykosanácia je odvetím biosanácie, ktorá využíva huby alebo ich deriváty na odstraňovanie kontaminantov životného prostredia. Je omnoho viac ekologickejšia, efektívnejšia a finančne nenáročná metóda ako iné konvenčné a biosanačné metódy.<sup>9</sup>

## 1.3 Fungi

### 1.3.1 Základná charakteristika

Fungi, latinské slovo v pluráli pre hubu (fungus), označuje eukaryotické organizmy s heterotrofnou výživou. Štúdium húb známe ako mykológia, pozostáva

---

<sup>5</sup> Can Germs And Mushrooms Clean An Oil Spill? Dostupné na internete: <<https://chej.org/can-germs-and-mushrooms-clean-an-oil-spill>>

<sup>6</sup> Bioremediation Research Activities. Dostupné na internete: <<https://microbiology.usgs.gov/bioremediation.html>>

<sup>7</sup> Can Germs And Mushrooms Clean An Oil Spill? Dostupné na internete: <<https://chej.org/can-germs-and-mushrooms-clean-an-oil-spill>>

<sup>8</sup> BIOSORPCIA, BIOAKUMULÁCIA A BIOVOLATILIZÁCIA POTENCIÁLNE TOXICKÝCH PRVKOV MIKROORGANIZMAMI. Dostupné na internete: <[http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015\\_02\\_109-112.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_02_109-112.pdf)>

<sup>9</sup> Mycoremediation: Expunging environmental pollutants. Dostupné na internete: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X19307003>>

z gréckeho mykēs (huba) a lógos (slovo). Ríša húb pozostáva z 2,2 až 3,8 miliónov druhov z toho je 144 000 známych.<sup>10</sup>

Donedávna boli huby zaradené do rastlinnej ríše, po zvážení viacerých odlišností boli napokon zaradené do samostatnej ríše. Telo húb tvorí buď jedna bunka, alebo mnohobunkové hubové vlákna, tzv. hýfy. Hýfy sa rozvetvujú a splietajú do komplikovanej siete nazývanej podhubie – mycélium. Huby sú spolu s baktériami hlavnými reducentmi, ktoré sú zodpovedné za rozklad organickej hmoty, ktorú strávia zvonka pred tým, ako ju absorbujú do svojho mycélia.<sup>11</sup>

Systém húb má v posledných rokoch dynamický charakter, preto je jeho správny tvar ťažko určiteľný. Podľa súčasných materiálov vyučovaných na školách sú huby delené podľa oddelení na: slizovky, chytrídiomycéty, oomycéty, vlastné huby a lichenizované huby. Riešenie sanácie životného prostredia predstavujú zástupcovia oddelenia vlastné huby – tried vrekaté a bazídiové huby.

Kontaminanty, ktoré dokážu rozložiť zástupcovia triedy bazídiové huby, zahŕňajú polyaromatické uhľovodíky, ťažké kovy, pesticídy, cyanotoxíny, farmaceutiká, antibiotiká, ftaláty, farbivá a čistiace prostriedky.<sup>12</sup>

Niektoré vrekaté huby dokážu pomôcť pri kontaminácii prostredia radiáciou.

#### 1.4 Hubové enzýmy

Na rozklad organických látok sú potrebné enzýmy. Niektoré enzýmy húb dokážu rozložiť aj látky, ktoré sú nežiaduce pre životné prostredie.

Vo všeobecnosti sú enzýmy klasifikované do siedmich tried, vrátane transferáz, oxidoreduktáz, lyáz, hydroláz, ligáz, izomeráz a translokáz.<sup>13</sup>

Enzýmy triedy oxidoreduktázy slúžia dobre pri rozklade kontaminantov životného prostredia.

---

<sup>10</sup> Fungus. Dostupné na internete: <<https://www.britannica.com/science/fungus>>

<sup>11</sup> Základná charakteristika húb. Dostupné na internete: <<https://biopedia.sk/huby/zakladna-charakteristika-hub>>

<sup>12</sup> How fungi clean up pollution. Dostupné na internete: <<https://asknature.org/strategy/the-fungi-that-clean-up-pollution/>>

<sup>13</sup> A Comprehensive Insight into Fungal Enzymes: Structure, Classification, and Their Role in Mankind's Challenges. Dostupné na internete: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8778853/#B87-jof-08-00023>>

Je dokázané, že na rozklad kontaminátov sa používajú hlavne tie enzýmy, ktoré sú pôvodne určené na rozklad lignínu, molekuly, ktorá dodáva rastlinám ich pevnosť a tuhú štruktúru.<sup>14</sup>

#### 1.4.1 Oxidoreduktázy

Oxidoreduktázy sú enzýmy katalyzujúce oxidačnú reakciu prostredníctvom prenosu elektrónu od darcu k akceptoru elektrónov. Najviac študované podtriedy tejto triedy sú dehydrogenázy, oxygenázy a peroxidázy.<sup>15</sup>

#### 1.4.2 Oxygenázy

Pre oxygenázy predstavuje konečný akceptor elektrónov kyslík. Medzi komerčne aplikované enzýmy tejto podtriedy patria monooxygenázy, dioxygenázy a lakázy. Lakázy sú schopné oxidovať širokú škálu fenolových a nefenolových zlúčenín.<sup>18</sup>

##### 1.4.2.1 Lakázy

Lakázy sa nachádzajú okrem húb aj v rastlinách a baktériách. degradujú polycyklické aromatické uhľovodíky za prítomnosti kyslíka. Lakázy pôvodne slúžia na degradáciu lignínu. Výskumy ukázali, že lakáza, môže katalyzovať oxidáciu rôznych polyfenolov a aromatických substrátov vrátane polycyklických aromatických uhľovodíkov, chlórphenolov a farbív pomocou kompletných kultúr húb a izolovaných lakáz. Pri porovnaní s inými mimobunkovými enzýmami, ako sú peroxidázy, ktoré sú obsiahnuté v širokom spektre živočíchov, sú lakázy stabilnejšie a v praxi pohodlnejšie. Preto sú aplikované v mnohých oblastiach vrátane bioremediácie, spracovania potravín atď.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> How fungi clean up pollution. Dostupné na internete: <<https://asknature.org/strategy/the-fungi-that-clean-up-pollution/>>

<sup>15</sup> A Comprehensive Insight into Fungal Enzymes: Structure, Classification, and Their Role in Mankind's Challenges. Dostupné na internete: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8778853/#B87-jof-08-00023>>

<sup>16</sup> Catalyzed degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by recoverable magnetic chitosan immobilized laccase from *Trametes versicolor*. Dostupné na internete: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522012462>>

### 1.4.3 Peroxidázy

Pre peroxidázy je peroxidová zlúčenina ( $H_2O_2$ ) konečným akceptorom elektrónov. Dve najrozšírenejšie peroxidázy sú lignínové peroxidázy (LiP) a peroxidázy mangánu (MnP). Bazídiové huby vďaka mimobunkovému vylučovaniu lignínových peroxidáz a peroxidáz mangánu sú schopné veľmi dobre degradovať lignín. Lignín peroxidázy (LiP) katalyzujú oxidáciu širokej škály fenolových zlúčenín, preto majú niekoľko priemyselných aplikácií, na rozdiel od mangán-peroxidázy.<sup>18</sup>

#### 1.4.3.1 Mangán peroxidáza

Mangán peroxidáza je závislá od mangánu a je opísaná ako najbežnejšia peroxidáza modifikujúca lignín, ktorý následne transformuje na biomasu. Má vysoké uplatnenie v rôznych oblastiach, ako je výroba potravín, kozmetiky, textilu, biopalív, v liehovarníctve, poľnohospodárstvo a priemysel. Peroxidázy mangánu (MnP) môžu degradovať niekoľko cudzorodých zlúčenín a produkovať polymérne produkty.<sup>17</sup>

#### 1.4.3.2 Lignín peroxidáza

Lignín peroxidáza tiež degraduje lignín a má perspektívne využitie v biorafinérii, textilnom priemysle, energetike, bioremediácii, kozmetológii a dermatologickom priemysle. Tento enzým oxiduje nefenolové a fenolové zlúčeniny. Lignín peroxidáza sa podieľa aj na degradácii niektorých xenobiotík.<sup>18</sup>

### 1.4.4 Lignínolytické enzýmy

Tieto enzýmy ako lakáza, mangán peroxidáza a lignín peroxidáza, ktoré pôvodne degradujú lignín, taktiež preukázali schopnosť degradácie rôznych xenobiotík vrátane farbív, chlórphenolov, polycyklických aromatických uhl'ovodíkov, organofosforových zlúčenín a fenolov.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Chapter 8 - MnP enzyme: Structure, mechanisms, distributions and its ample opportunities in biotechnological application. Dostupné na internete:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323909587000145#!>>

<sup>18</sup> Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. Dostupné na internete:

<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5300883/>>

<sup>19</sup> Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. Dostupné na internete:

<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5300883/>>



## 1.5 Odpady v ŽP

„Existujú druhy húb, ktoré dokážu absorbovať uhl'ovodíky, stopové prvky kovov, deriváty cínu, olovo, produkty ropných rafinérií.“<sup>20</sup>

### 1.5.1 Radiácia

Pobyt v blízkosti radiácie spôsobuje organizmom rôzne zdravotné problémy, napríklad niektoré typy rakoviny, genetické mutácie a iné. V súčasnosti neexistujú žiadne spôsoby na odstránenie kontaminácie v podobe radiácie. Organizmy, ktoré dokážu žiť v blízkosti silnej radiácie a získavať z nej energiu, sú niektorý zástupcovia vrekatých húb, ale aj spájavých plesní, ktoré boli objavené v blízkosti pozostalého jadrového reaktora v Černobyle, v oblastiach vo vysokých nadmorských výškach chudobných na živiny a tiež v oblastiach pólou Zeme.

Na vnútorných stenách reaktora v Černobyle bol zistený rozsiahly rast húb, medzi dve bežne sa vyskytujúce huby patrili *Penicillium hirsutum* a *Cladosporium sphaerospermum*.<sup>21</sup>

#### 1.5.1.1 Rádiosyntéza v metabolizme a melanín

Tieto mikrohuby obsahujú melanín, ktorý im poskytuje vysokú odolnosť pri vystavení ionizujúcemu žiareniu. Bolo zistené, že využívajú žiarenie ako zdroj energie pre rast, sú schopné mineralizovať rádionuklidy zo svojho prostredia a premiestniť ich do vlastnej biomasy.<sup>22</sup>

Rádiosyntéza je prirodzený proces, potvrdzujú to spóry obsahujúce melanín, nájdené v ložiskách ranej kriedy. Pri druhu *Cladosporium sphaerospermum* bol zistený zvýšený rast v podmienkach obmedzených živín, pri vystavení ionizovanému žiareniu. Melanín slúži na zachytávanie, transportovanie a využívanie tejto energie a má tiež

---

<sup>20</sup> Huby a čistenie vody? Pozrite sa, s čím všetkým si dokážu poradiť. Dostupné na internete:

<<https://www.hydrotech-group.com/sk/blog/huby-a-cistenie-vody-pozrite-sa-s-cim-vsetkym-si-dokazu-poradit-jh>>

<sup>21</sup> Fungi from Chernobyl: mycobiota of the inner regions of the containment structures of the damaged nuclear reactor. Dostupné na internete:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0953756208615026?via%3Dihub>>

<sup>22</sup> Mycoremediation: 8 Ways Mushrooms Can Mitigate Pollution. Dostupné na internete:

<<https://www.realmushrooms.com/mycoremediation-mushrooms-pollution/>>

významné rádioprotektívne vlastnosti. Melanín je schopný pohlcovať všetky typy elektromagnetického žiarenia.<sup>23</sup>

Na hube *Cladosporium sphaerospermum* bol vykonaný experiment na medzinárodnej stanici pod správou NASA, pri ktorom bolo zistené, že táto huba sa živí jadrovým žiarením.<sup>24</sup>

Huby ako *Cladosporium sphaerospermum* môžu významne pomôcť pri kontaminácii v podobe radiácie, keďže v súčasnosti neexistujú žiadne sanančné metódy na jej odstránenie i keď sú z hľadiska času nevýhodné.

Po uložení rádionuklidov do plodov húb je predpovedaný polčas rozpadu týchto častíc 3 až 8 rokov.<sup>25</sup>

### 1.5.2 Ťažké kovy

Vďaka rozvoju priemyslu vznikol však aj odpad v podobe ťažkých kovov, ktoré sú nebezpečné ako pre človeka, tak aj pre ekosystém. Medzi tieto kovy spadajú napríklad olovo, kadmium, nikel, chróm, arzén, selén.<sup>26</sup>

Poznáme viacero druhov húb, ktoré dokážu absorbovať ťažké kovy. Najlepšiu schopnosť má podľa viacerých zdrojov hľiva ustricová.

### 1.5.3 Syntetické textilné farbivá

Enzým lakáza sa používa aj na bioremediáciu syntetických textilných farbív. Boli dokázané účinky rodov húb ako *Alternaria*, *Aspergillus* a *Cladosporium* pri rozkladaní komplexných syntetických farbív za pomoci enzýmov lignínové peroxidáza, peroxidáza mangánu a lakáza.<sup>27</sup>

---

<sup>23</sup> Ionizing Radiation: how fungi cope, adapt, and exploit with the help of melanin. Dostupné na internete: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2677413/#R8>>

<sup>24</sup> Chernobyl Fungus Eats Nuclear Radiation Via Radiosynthesis. Dostupné na internete: <<https://www.technologynetworks.com/applied-sciences/videos/chernobyl-fungus-eats-nuclear-radiation-via-radiosynthesis-338464>>

<sup>25</sup> Mycoremediation: 8 Ways Mushrooms Can Mitigate Pollution. Dostupné na internete: <<https://www.realmushrooms.com/mycoremediation-mushrooms-pollution/>>

<sup>26</sup> Fungal Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Resources: Current Scenario and Future Prospects. Dostupné na internete: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25506-0\\_18](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25506-0_18)>

<sup>27</sup> A Comprehensive Insight into Fungal Enzymes: Structure, Classification, and Their Role in Mankind's Challenges. Dostupné na internete: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8778853/#B87-jof-08-00023>>

Bolo zistené že účinnosť transformácie textilných farbív imobilizovanou lakázou bola podobná účinnosti voľnej lakázy.<sup>28</sup>

#### 1.5.4 Ropa a ropné produkty

Vďaka zmesi uhl'ovodíkov, hlavne alkánov, toxických naftalénov a arénov, ktorými je ropa obsiahnutá, z nej robí rizikovú pri možnom úniku do prostredia. Ku kontaminácii polycyklickými aromatickými uhl'ovodíkmi dochádza v dôsledku mnohých ľudských činností, predovšetkým spaľovania fosílnych palív a priemyselného spracovania, ale môže nastať aj pri lesných požiaroch. Niektoré huby a baktérie však dokážu žiť v prítomnosti týchto toxických látok a ich aj rozkladať na neškodné látky, ako sú voda, kyslík a sacharidy. Problém znečistenia predstavujú aj plasty.

Degradáciu uhl'ovodíkov na oxid uhličitý a vodu zvyčajne vykonávajú drevokazné huby degradujúce lignín. Členovia tejto špecializovanej skupiny zahŕňajú vreckaté huby v rade xylariales a bazídiové huby v rade rôznotvaré.<sup>29</sup>

V izolovaných hubách *Aspergillus oryzae* a *Mucor irregularis* zo surovej ropy bola dokázaná degradácia uhl'ovodíkov pri vylučovaní niekoľkých enzýmov, najmä lakázy, mangánovej peroxidázy a lignínová peroxidázy.<sup>30</sup>

*Mycobacterium gilvum* bolo izolované v sedimente z rieky ako kmeň schopný využívať pyrén, ako jediný zdroj uhlíka a energie. Tento kmeň je tiež schopný metabolizovať polycyklické aromatické uhl'ovodíky ako fenantrén a fluorantén.<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> Catalyzed degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by recoverable magnetic chitosan immobilized laccase from *Trametes versicolor*. Dostupné na internete:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522012462>>

<sup>29</sup> Fungi growing on aromatic hydrocarbons: biotechnology's unexpected encounter with biohazard?

Dostupné na internete: <<https://academic.oup.com/femsre/article/30/1/109/2367306>>

<sup>30</sup> Hydrocarbon Degradation and Enzyme Activities of *Aspergillus oryzae* and *Mucor irregularis* Isolated from Nigerian Crude Oil-Polluted Sites. Dostupné na internete:

<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7761101/>>

<sup>31</sup> Enzyme breaks down hydrocarbons. Dostupné na internete: <<https://asknature.org/strategy/enzyme-breaks-down-hydrocarbons/>>

Pri tvorbe štúdie, v ktorej sa skúmala schopnosť degradácie polyetylénu, sa došlo k výsledku, že lakáza je pri jeho degradácii najdominantnejšia.<sup>32</sup>

Sanácia znečistenia polycyklickými aromatickými uhl'ovodíkmi pomocou imobilizovaných lakáz je jednou z najatraktívnejších techník.<sup>33</sup>

## 1.6 Pleurotus ostreatus

Pleurotus ostreatus alebo hľiva ustricová je huba z radu rôznotvaré. Je významná pri podpore zdravia človeka či už v rámci posilnenia imunitného systému, srdca, mozgu, alebo jej účinkom proti rakovinovým bunkám. Je to ale aj najkomplexnejšia huba, čo sa týka mykoremediácie. Boli na nej vykonané viaceré štúdie, ktoré potvrdzujú jej využitie pri sanácii rôznych odpadov.

„Hľiva tak nielenže dobre chutí, ale zároveň preukazuje výborné výsledky pri degradácii mnohých environmentálnych toxínov, najmä kontaminantov na báze uhl'ovodíkov.“<sup>34</sup>

Mycélium húb ustríc má schopnosť odstrániť baktériu Escherichia coli z vodných zdrojov.<sup>35</sup>

Podľa štúdie, ktorá bola vykonaná v Južnej Afrike je hľiva ustricová schopná skrz svoje mycélium bioakumulovať kovy ako kobalt, meď, zinok, arzén, kadmium a olovo z pôdy. Ťažké kovy boli potom asimilované do jej tkanív, kde ich neskôr rozkladala pomocou enzýmov na menej toxické zlúčeniny a zväčša boli ukladané do nadzemnej časti, plodnice.<sup>36</sup>

---

<sup>32</sup> Fungal enzymes for the degradation of polyethylene: Molecular docking simulation and biodegradation pathway proposal. Dostupné na internete:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421000820>>

<sup>33</sup> Catalyzed degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by recoverable magnetic chitosan immobilized laccase from Trametes versicolor. Dostupné na internete:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522012462>>

<sup>34</sup> Huby a čistenie vody? Pozrite sa, s čím všetkým si dokážu poradiť. Dostupné na internete:

<<https://www.hydrotech-group.com/sk/blog/huby-a-cistenie-vody-pozrite-sa-s-cim-vsetkym-si-dokazu-poradit-jh>>

<sup>35</sup> Mycoremediation: 8 Ways Mushrooms Can Mitigate Pollution. Dostupné na internete:

<<https://www.realmushrooms.com/mycoremediation-mushrooms-pollution/>>

<sup>36</sup> Elemental concentration of heavy metals in oyster mushrooms grown on mine polluted soils in Pretoria, South Africa. Dostupné na internete:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364721004250>>

Bola vykonaná aj štúdia, pri ktorej bolo zistené že je schopná rásť a v prítomnosti fluoranténu, polycyklického aromatického uhľovodíka s vysokou molekulovou hmotnosťou a aj ho rozkladať. Mechanizmus, ktorým hľiva rozkladá túto zlúčeninu, nie je úplne pochopený, vedci však spájajú väčšinu degradácie s vylučovaním mimobunkových enzýmov, najmä enzýmy MnP a lakázy.<sup>37</sup>

Hľiva ustricová bola použitá na ošetrovanie pôdy znečistené motorovou naftou. Huba dokázala premeniť 95 % oleja pomocou lignín modifikujúcich enzýmov na netoxické zlúčeniny.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Enzymes Degrade Fluoranthene, Dostupné na internete:

<<https://asknature.org/strategy/enzymes-degrade-fluoranthene/>>

<sup>38</sup> Mycoremediation (bioremediation with fungi) – growing mushroom to clean the earth. Dostupné na internete: <<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.3184/095422914X14047407349335?needAccess=true&role=button>>

## 2 Ciele práce

Cieľom našej práce bolo predstaviť možné využitie húb v oblasti environmentalistiky. Predstaviť enzýmy a ich možné využitie pri rozklade rôznych kontaminantov životného prostredia vo forme čistiacich prostriedkov, syntetických farbív, ropy, ropných produktov a mnohých iných a predstaviť ich absorpčné schopnosti na odstránenie kontaminácie zo životného prostredia vo forme ťažkých kovov a radiácie.

Ďalším cieľom bolo poukávanie na vysoko komplexnú sanačnú schopnosť hľivy ustricovej dokázanú vo viacerých štúdiách pri kontaminácii ťažkými kovmi, ale najmä ropnými produktmi.

Dotazníkom sme chceli poukávať na znečistenie životného, a teda aj vyzvať ľudí k jeho náprave, zistiť, koľko ľudí je informovaných o sanačných vlastnostiach húb a zároveň ich prostredníctvom dotazníka o tom informovať.

Súčasťou práce bolo pozorovanie hľivy ustricovej pri raste v podmienkach kontaminácie motorovým olejom a preukázanie jej biosanačného potenciálu, čím sme chceli dokázať, že enzýmy hľivy ustricovej rozložili uhl'ovodíky v kontaminante tým, že sa nenachádzajú v kontaminovanom substráte.

### **3 Materiál a metodika práce**

Pri tvorbe praktickej časti sme postupovali tak, aby sme dokázali biosanáciu húb a ich možné prežívanie v podmienkach kontaminácie formou pozorovania. Ako hubu, na ktorej boli tieto vlastnosti pozorované, sme si zvolili hlivu ustricovú, a to vďaka jej komplexným mykosanačným schopnostiam.

Pri tvorbe dotazníka sme postupovali tak, aby bol zameraný na mykosanáciu životného prostredia, aby sme o mykosanácii informovali, vyvolali v respondentoch pocit viny za znečistené životného prostredia a aby nás respondenti informovali, či sú s termínom mykosanácia oboznámení.

Pri dokázaní toho, že enzýmy hlivy ustricovej rozložili uhl'ovodíky, sme využili jednoduchú dôkazovú reakciu prítomnosti uhl'ovodíkov v substráte, avšak aby bola naša téza správna, reakcia neprebehne.

#### **3.1 Komplikácie**

Pôvodný experiment mal dokázať schopnosť absorbovať kontaminant z vodnej zložky pomocou mycélia hlivy. Následne pozorovať rast plodníc po absorpcii kontaminantu a pozorovať možné zmeny na nich. Neskôr uviesť substrát do ohraničenej lokality životného prostredia a pozorovať, či je substrát pre prostredie toxický, alebo dochádza ku jeho kolonizovaniu inými organizmami, najmä machmi a lišajníkmi, čo by dokázalo jeho nízku toxicitu.

Experiment nebolo možné uskutočniť, pretože slamený substrát hlivy bol počas jej rastu napadnutý plesňou. Predpoklad je, že substrát nebol dostatočne dezinfikovaný.

#### **3.2 Mykoremediácia**

Na pozorovanie mykosanačných vlastností v oblasti životného prostredia sme použili hlivu ustricovú. Prvou časťou bolo pozorovanie substrátu hlivy ustricovej v čase vystavenia vodou znečisteným kontaminantom. Druhou časťou bolo pozorovanie vysadeného mycélia v blízkosti znečisťujúcej látky, nachádzajúcej sa vo vode. V oboch prípadoch sme pozorovali biosorpčné vlastnosti huby a teda jej schopnosť filtrovať vodu.

### **3.3 Kontaminant**

Ako kontaminant na znečistenie bol použitý motorový olej pre záhradnú techniku. Použitý bol kvôli obsahu uhl'ovodíkov a nízkej prchavosti na rozdiel od benzínu. Okrem uhl'ovodíkovej zložky pozostával aj z rôznych aditív.

### **3.4 Substrát hlivy ustricovej**

Zakúpený substrát o hmotnosti štyroch kilogramov bol uložený v umelom priehľadnom obale, bol tvorený drevenými pilinami a prerastený bielym podhubím. Rovnomerne rozložené podhubie znamenalo, že bol pripravený pre rast plodníc. V tomto obale boli vyhotovené viaceré otvory veľkosti 4 cm<sup>2</sup> pre jednotlivé trsy plodníc (Príloha A, Obr. 1).

Substrát bolo podľa návodu potrebné pre rast plodníc umiestniť do miestnosti s minimálnou 80 % vlhkosťou vzduchu, teplotou v rozmedzí 12 °C až 14 °C a miernym slnečným žiarením. Ideálne umiestnenie sa nachádzalo kvôli domácim podmienkam v garáži.

#### **3.4.1 Pridanie kontaminantu**

Substrát bol pripravený pre vystavenie účinkom kontaminantu. Na spodnej strane vreca sme vytvorili dva otvory o veľkosti 2 cm<sup>2</sup> pre výtok vody, a preto bol substrát umiestnený do nádoby. Jeden z vrchných otvorov určených pre plodnice sme jemne rozťahli a prilievali sme kontaminant o objeme 0,3 litra zmiešaného s vodou s objemom 0,5 litra v čase dvoch dní. Nasledovalo pozorovanie v podobe času jedného týždňa (Príloha A, Obr. 2).

### **3.5 Sadenie hlivy ustricovej**

#### **3.5.1 Zložky sadenia**

Pre sadenie hlivy bolo potrebné zaobstarat' sadbu hlivy a vhodný substrát, v tomto prípade bolo zvolené pestovanie na slame, aby bolo možné uskutočniť nasledujúci experiment.

#### **3.5.2 Výsadba**

Najjednoduchším spôsobom bolo zakúpenie lúčnej slamy, ktorá bola následne umiestnená do polyetylénového vreca s objemom 30 litrov. Slama bola dôkladne utlačená tak, aby vyplňala celý objem tohto vreca. Následne bola do celého objemu vreca vyliala vriaca voda, ktorá zabezpečila dezinfekciu slamy a ochranu pred rôznymi



mikroorganizmami, ako napríklad plesne, ktoré by mohli znemožniť rast mycélia hlivy. Vreca s obsahom slamy bolo vzápätí dôkladne uzavreté a bolo potrebné počkať na úplne vychladnutie tekutiny. Po následnom vychladnutí boli odrezané spodné konce vrec, aby prebytočná voda vytiekla. Nasledujúci deň sa vrece otvorilo a bola do neho vložená zakúpená rozdrobená sadba. Sadba sa rovnomerne zmiešala s obsahom slamy pomocou dezinfekčne ošetrovaného nástroja. Vreca bolo vzápätí uzavreté, aby sa zabránilo novej kontaminácii mikroorganizmami. Po obvode bolo vyrezaných niekoľko otvorov v tvare krížov s plochou 3 cm<sup>2</sup> a vrece bolo umiestnené do tmavej miestnosti s teplotou pohybujúcou sa medzi 20 °C až 25 °C.

### 3.6 Dotazník

Dotazník obsahoval 13 otázok. Otázky sa týkali ochrany životného prostredia, hlivy ustricovej a vzťahu húb s čistením životného prostredia. Prinášame aj prehľad ponúknutých otázok:

Otázka č. 1: Aké je vaše pohlavie?

Touto otázkou sme chceli zistiť, zastúpenie pohlavia v dotazníku.

Otázka č. 2: V akom vekovom rozmedzí sa nachádzate?

Vybrali sme túto otázku, aby sme zistili, aká veková kategória vyplňala dotazník (žiaci základných škôl, žiaci stredných škôl, žiaci vysokých škôl, dospelí).

Otázka č. 3: Akou formou môže byť životné prostredie znečistené?

Pri tvorbe sme chceli zistiť, ktoré znečisťujúce látky vytvorené človekom sú známe respondentom a zámerom bolo aj, aby respondenti informovali o ďalších druhoch znečistenia.

Otázka č. 4: Ako môžeme životné prostredie (ŽP) chrániť pred znečistením?

Táto otázka bola vybraná, aby sme zistili, či sú respondentom známe spôsoby chránenia ŽP a či môžu ponúknuť nové spôsoby.

Otázka č. 5: Chránite ŽP aj vy?

Zmyslom tejto otázky bolo zistiť, či respondenti chránia ŽP a ich aj podvedome vyzvať k chráneniu ŽP.

Otázka č. 6: Ak ste odpovedali v predchádzajúcej otázke áno, ako ŽP chránite?

Touto otázkou sme chceli zistiť, akým spôsobom respondenti chránia ŽP a dať im možnosť, aby ponúkli spôsob chránenia ŽP. Chceli sme u nich aj podvedome vyvolať pocit, že chránia ŽP nedostatočne a mali by zvoliť ďalšie spôsoby ako ho chrániť.

Otázka č. 7: Myslíte si, že nám pri ochrane ŽP môžu pomôcť iné organizmy?

Touto otázkou sme chceli zistiť, či si respondenti myslia, že pri záchrane ŽP môžu pomôcť aj iné organizmy, a tým zistiť, či sú informovaní o čistení ŽP prostredníctvom živočíchov – biosanácie.

Otázka č. 8: Poznáte hubu *Pleurotus ostreatus*/ hľiva ustricová?

Chceli sme zistiť, či je respondentom známa táto huba, keďže je široko využívaná vo viacerých odvetviach a dobre známa pre jej liečivé účinky.

Otázka č. 9: Čím je *Pleurotus ostreatus* prospešná pre človeka?

Chceli sme zistiť, či poznajú respondenti spôsoby, ktorými sa táto huba využíva človekom, kde sa využíva a či poznajú aj jej možné využitie v biosanácii látok nežiaducich pre prostredie (degradácie uhl'ovodíkov, bioakumuláciu kovov, rozklad pesticídov atď.)

Otázka č. 10: Myslíte si, že môžu huby pomôcť pri ochrane ŽP?

Chceli sme zistiť, či si respondenti myslia, že huby majú podiel na ochrane ŽP (prostredníctvom biosanálnych metód) a podľa logického usúdenia, by mali odpovedať áno.

Otázka č. 11: Ak ste odpovedali áno, ako môžu pomôcť?

Chceli sme zistiť, akým spôsobom nám podľa respondentov môžu huby pomôcť.

Otázka č. 12: Počuli ste/sú vám známe niektoré z uvedených pojmov?

Týmto sme chceli zistiť, či sú respondentom známe niektoré z uvedených foriem znečisteného ŽP a jeho sanácia prostredníctvom húb. Týmto sme chceli aj respondentov informovať o odpadoch, ktoré sú odstrániteľné pomocou húb.

Otázka č. 13: Stretli ste sa už s touto alebo s podobnou témou?

Vybrali sme si túto otázku, lebo sme chceli zistiť, či je táto téma známa alebo je voľne dostupná. Tým sme chceli aj podotknúť dôležitosť tejto témy a poukázať na potrebu vytvorenia ďalších štúdií na skúmanie tohto problému.

### **3.7 Dôkaz neprítomnosti uhl'ovodíkov v substráte**

#### **3.7.1 Materiál**

Pripravili sme si malé množstvo substrátu hlivy ustricovej (Príloha C, obrázok č. 15), oxid meďnatý ( $\text{CuO}$ ), vápennú vodu ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), bezvodý síran meďnatý ( $\text{CuSO}_4$ ). (Príloha C, obrázok č. 16).

#### **3.7.2 Postup**

Pripravili sme si dve skúmavky, do jednej sme vložili substrát a  $\text{CuO}$  v pomere 1 : 2 v gramoch. Do druhej skúmavky sme naliali  $\text{Ca(OH)}_2$  a pripevnili o stojan do zvislej polohy. Prvú skúmavku sme pripevnili o stojan do vodorovnej polohy a k jej ústiu sme vložili  $\text{CuSO}_4$ . Skúmavku sme uzatvorili zátkou, ktorou prechádzala ohnutá rúrka do druhej skúmavky, tak sme vytvorili aparáturu (Príloha C, obrázok č. 17).

#### **3.7.3 Výsledok reakcie v prípade prítomnosti uhl'ovodíkov**

Ohrievaním prvej skúmavky dochádza k redukcii oxidu meďnatého na meď. Odlúčený kyslík reaguje s uhl'ovodíkmi za vzniku oxidu uhličitého a vody. Voda vo forme pary reaguje so síranom meďnatým za vzniku modrej skalice. Pri prechode vzniknutého oxidu uhličitého ohnutou rúrkou reaguje s vápnikom rozpusteným vo vode za vzniku bielej zrazeniny uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ).

## **4 Výsledky a diskusia**

### **4.1 Vyhodnotenie kontaminovaného substrátu**

#### **4.1.1 Filtrácia a absorpcia odpadu**

Substrát prefiltraval roztok a na spodku nádoby sa objavila značne očistená voda. Zakúpený substrát hlivy značne absorboval zložky kontaminantu – motorového oleja (Príloha A, obrázok č. 3).

#### **4.1.2 Rast plodníc**

V rámci tohto časového úseku bolo možné pozorovať vytvárajúce sa malé trsy plodníc v jednotlivých otvoroch. Bolo to pozorované na tých, ktoré mali dostatok slnečného žiarenia (Príloha A, obrázok č. 4, 5, 6, 7, 8, 9).

#### **4.1.3 Vplyv kontaminantu na plodnice**

Kontaminant pozorovateľne zastavil rast plodníc v čase jedného dňa, ďalej hliva pokračovala v raste. Potvrdilo sa, že hliva ustricová dokáže žiť v blízkosti kontaminantu, v tomto prípade motorového oleja. Podľa teórie predpokladáme, že niektoré jeho zložky dokázalo mycélium rozložiť pomocou ligninolytických enzýmov.

### **4.2 Vyhodnotenie kontaminovanej sadby**

#### **4.2.1 Pozorovanie rastu podhubia**

Substrát vo vreci bol pozorovaný počas troch týždňov. Po ubehnutí tohto času bol substrát viditeľne obrastený bielym podhubím (Príloha B, obrázok č. 10, 11)

#### **4.2.2 Vystavenie kontaminantu**

Substrát bol vybratý z vreca a bol vložený do nádoby s vodou o objeme jedného litra a kontaminantom o objeme 0,1 litra. Následne bola táto zmes tvorená substrátom, vodou a kontaminantom pozorovaná počas doby jedného týždňa (Príloha B, obrázok č. 12,13)

#### **4.2.3 Absorpcia kontaminantu**

Vysadené mycélium ponorené do vodnej zložky zmiešanej s kontaminantom pozorovateľne absorbovalo olejovú zložku kontaminantu. Bolo to možné pozorovať na zmene viskozity na povrchu vodnej zložky, ktorá bola totožná s viskozitou čistej vody (Príloha B, obrázok č. 14).

### 4.3 Vyhodnotenie dotazníka

Na dotazník odpovedalo 41 respondentov z toho 26 žien a 15 mužov (otázka č. 1) (Príloha D, Graf č.1), vo veku 15 až 19 rokov sa nachádzalo 34 respondentov, 7 sa nachádzali vo veku 20 až 25 rokov (otázka č. 2) (Príloha D, Graf č.2).

Otázka č. 3: Akou formou môže byť životné prostredie znečistené?

Na túto otázku bolo možné odpovedať voľne. Najčastejšie odpovede predstavovali:

- Plasty (31 respondentov)
- Výfukové plyny (25 respondentov)
- Ťažké kovy (20 respondentov)

Ďalšie odpovede:

- Pesticídy
- Chemikálie
- Fosílna palivá

Najčastejšie odpovede od viacerých respondentov predstavovali: znečistenie ŽP vo forme plastov 75,6 % odpovedí, výfukových plynov 60,1 % odpovedí, ťažkých kovov 48,8 % odpovedí.

Otázka č. 4: Ako môžeme životné prostredie (ŽP) chrániť pred znečistením?

Na túto otázku bolo možné odpovedať voľne. Najčastejšie odpovede predstavovali:

- Recykláciou odpadu (39 respondentov)
- Využívaním alternatívnych spôsobov dopravy (26 respondentov)

Ďalšie odpovede:

- Vyzbieraním odpadkov
- Obmedzením leteckej dopravy
- Pestovaním domácich potravín

Podľa respondentov môžeme ŽP chrániť najmä triedením a recykláciou odpadu 95,1 % odpovedí, ale aj využívaním alternatívnych spôsobov dopravy 63 % odpovedí.

Otázka č. 5: Chránite ŽP aj vy? (Príloha D, Graf č.3)

Respondenti si mohli vybrať z 2 odpovedí:

- a) Áno
- b) Nie

87,8 % uviedlo, že chráni ŽP (36 respondentov) a 12,2 % že ŽP nechráni (5 respondentov).

Otázka č. 6: Ak ste odpovedali v predchádzajúcej otázke áno, ako ŽP chránite?

Na túto otázku bolo možné odpovedať voľne. Najčastejšie odpovede predstavovali:

- Triedenie a recyklovanie odpadu (33 respondentov)
- Vybieranie voľne pohodeného odpadu (18 respondentov)

Ďalšie odpovede:

- Zavedenie kompostu
- Šetrenie vody
- Používanie MHD

Respondenti chránia ŽP hlavne triedením a recyklovaním odpadu 0,80 % odpovedí, vybieraním voľne pohodeného odpadu 44 % odpovedí.

Otázka č. 7: Myslíte si, že nám pri ochrane ŽP môžu pomôcť iné organizmy? (Príloha D, Graf č. 4)

Respondenti si mohli vybrať z 2 odpovedí:

- a) Áno
- b) Nie

97,56 % si myslí, že pri ochrane ŽP môžu pomôcť iné organizmy (40 respondentov) a 2,44 % si to nemyslí (1 respondent).

Otázka č. 8: Poznáte hubu *Pleurotus ostreatus*/ hľiva ustricová? (Príloha D, Graf č. 5)

Respondenti si mohli vybrať z 2 odpovedí:

- a) Áno
- b) Nie

78 % pozná hubu pleurotus ostreatus (32 respondentov) a 22 % ju nepozná (9 respondentov).

Otázka č. 9: Čím je Pleurotus ostreatus prospešná pre človeka?

Na túto otázku bolo možné odpovedať voľne. Najčastejšie odpovede predstavovali:

- Obsahuje vitamíny (20 respondentov)
- Neviem (14 respondentov)
- Podporuje imunitu (12 respondentov)

Ďalšie odpovede:

- Obsahuje minerály
- Prospešná pre mozog a srdce

Hliva ustricová je prospešná pre človeka, kvôli obsahu vitamínov 48,8 % odpovedí, 34 % odpovedí respondentov nevie čím je prospešná a 29,2 % odpovedí hovorí o tom, že podporuje imunitu.

Otázka č. 10: Myslíte si, že môžu huby pomôcť pri ochrane ŽP? (Príloha D, Graf č. 6)

Respondenti si mohli vybrať z 2 odpovedí:

- a) Áno
- b) Nie

92,7 % si myslí, že huby môžu pomôcť pri ochrane ŽP (38 respondentov) a 7,3 % si myslí, že nie (3 respondenti).

Otázka č. 11: Ak ste odpovedali áno, ako môžu pomôcť?

Na túto otázku bolo možné odpovedať voľne. Najčastejšie odpovede predstavovali:

- Rozkladom odpadu (24 respondentov)
- Neviem (15 respondentov)

Ďalšie odpovede:

- Rozkladom organickej hmoty

62,5 % odpovedí tvorí, že huby môžu pomôcť pri ochrane ŽP rozkladom odpadu a 36,6 % odpovedí je, že nevedia.

Otázka č. 12: Počuli ste/sú vám známe niektoré z uvedených pojmov? (Príloha D, Graf č. 7)

Respondenti si mohli vybrať jednu a viac odpovedí.

- Rozklad poľnohospodárskeho odpadu (banánové listy, ryžová slama, repné odrezky, pšeničné otruby,...) hubami (15 respondentov)
- Zníženie množstva radiácie hubami (10 respondentov)
- Rozklad priemyselného odpadu (odpad z papiera, lepenky, nábytku, bavlny...) hubami (9 respondentov)
- Rozklad alebo odstránenie ťažkých kovov pomocou húb (7 respondentov)
- Rozklad pesticídov hubami (5 respondentov)
- Degradácia ropy a ropných produktov (aj plastov) hubami (3 respondenti)
- Rozklad organických a syntetických farbív hubami (2 respondenti)

O rozklade poľnohospodárskych produktov za pomoci húb pozná 36 % respondentov a 64 % ju nepozná, zníženie množstva radiácie pomocou húb pozná 24,3 % respondentov a 75,7 % nie, rozklad priemyselného odpadu pozná 22 % respondentov a 78 % nie, rozklad alebo odstránenie ťažkých kovov poznajú 17 % respondentov a 83 % nie, rozklad pesticídov pozná 12 % respondentov a 78 % nie, degradáciu ropy a ropných produktov pozná 7 % respondentov, rozklad organických a syntetických farbív poznajú 4,9 % respondentov.

Otázka č. 13: Stretli ste sa už s touto alebo s podobnou témou? (Príloha D, Graf č. 8)

Respondenti si mohli vybrať z 2 odpovedí:

- a) Áno
- b) Nie

S touto alebo podobnou témou sa stretlo 31,7 % (13 respondentov) a nestretlo sa s ňou 68,3 % (24 respondentov).

#### **4.4 Vyhodnotenie dôkazovej reakcie prítomnosti uhl'ovodíkov**

Zahriali sme skúmavku pre čas potrebný na odlúčenie medi (Príloha C, obrázok č. 19), a pozorovali sme dej na aparátúre (Príloha C, obrázok č. 18).

Reakcia na vznik bielej zrazeniny  $\text{CaCO}_3$  neprebehla, v substráte sa nenachádzal žiaden uhlík viazaný v uhl'ovodíkovom reťazci (Príloha C, obrázok č. 20).



Reakcia pre vznik modrej skalice neprebehla, v substráte sa nenachádzal žiaden uhlík viazaný v uhl'ovodíkovom reťazci (Príloha C, obrázok č. 21).

## 5 Diskusia

Podľa výsledkov nášho pozorovania a odpovedí respondentov môžeme usúdiť, že termín mykosanácia nie je pre verejnosť známy a že hľiva ustricová má využiteľné mykosanačné vlastnosti pri možnej mykosanácii ŽP. Zároveň sú jej mykosanačné vlastnosti dobre preukázateľné pri degradácii uhl'ovodíkov.

Podobné experimenty uskutočnené mykológmi a nadšencami pre huby ukazujú na podobné výsledky, čo sa týka degradácie uhl'ovodíkov. V štúdií mykológa Paula Stametsa bolo pozorované, ako hľiva ustricová dokáže znížiť toxicitu prostredia kontaminovaného ropnými produktami. V jeho ďalšej štúdií bola pozorovaná absorpcia ropy pomocou vznášajúceho sa mycélia hľivy ustricovej na hladine mora.

Výsledky naznačujú, že hľivy ustricová dokáže degradovať uhl'ovodíky a aktívne ich odstraňovať zo životného prostredia.

V súčasnosti sa používa veľa metód na odstraňovanie znečistenia vo forme uhl'ovodíkov. Tieto metódy, ktoré sú väčšinou fyzikálno-chemického charakteru, však nie sú z hľadiska ekológie výhodné, lebo zo zvyškov ich čističiel sa stanú druhotné kontaminanty, preto je potrebné odstraňovať tieto kontaminujúce látky pomocou biologických zložiek.

## 6 Závěry práce

Reakcie pre prítomnosť uhl'ovodíkov neprebehli, čo znamená, že enzýmom hľivy ustricovej sa podarilo rozložiť uhl'ovodíky nachádzajúce sa v kontaminovanom substráte. Filtrácia znečistenej vody pomocou mycélia hľivy ustricovej sa podarila podľa očakávaných predpokladov v jednom aj v druhom prípade. Mycélium tiež absorbovalo zložky oleja a bolo schopné tvoriť plodnice v týchto podmienkach. Má teda možné využitie pri čistení vody ako ekologického sanančného spôsobu. Pomocou dotazníka a teórie sa nám podarilo informovať verejnosť o dôležitosti húb pri čistení ŽP. Uviedli sme pár príkladov znečisteného prostredia, ktoré sa dá odstrániť prostredníctvom húb. Možné využitie pri kontaminácii prostredia vo forme radiácie, ťažkých kovov, ropy, ropných produktov, pesticídov a iných prostredia znečisťujúcich látok.

Na záver treba podotknúť, že príroda trpí ľudskými zásahmi. Každý zásah do životného prostredia tvorí zmenu, pre ktorej ustálenie je potrebný čas a biologické zdroje. Aj keď môžu byť tieto zásahy v pozitívnom zmysle pre prírodu, sú pre vyrovnanie sa ďalšej zmene potrebné životy organizmov. Je veľa spôsobov, ako prírode môžeme pomôcť, existuje veľa fyzikálno-chemických metód sanácie, ktoré nie sú však veľmi šetrné k prostrediu. Najlepším spôsobom jej uzdravenia je prostredníctvom biologických zložiek – organizmov. Ktoré predstavujú prirodzený spôsob jej obnovy. Jednými z najstarších a najrozsiahljších prirodzených čističov prírodného prostredia sú huby.

Chceli sme otestovať a potvrdiť mykosanančné vlastnosti na jednej zo sledovaných húb a tou bola hľiva ustricová, aby sme mohli zvážiť jej použitie pri reálnom znečistení prostredia.

## 7 Zhrnutie

Cieľom tejto práce je informovať verejnosť, že huby sú prospešné pri čistení znečisteného životného prostredia spôsobeného človekom, a tým sú prospešné aj pre človeka.

Vyriešenie tejto problematiky je preukázané na jednom pokuse z bližšie zhrnutej časti témy a informovanie verejnosti malo byť docielené prostredníctvom dotazníka.

Pokus bol vykonaný na zakúpenom substráte a zakúpenej sadbe hlivy ustricovej, ktoré sa dostali do kontaktu s kontaminovaným vodným roztokom. Na nich bola pozorovaná kvôli nedostatku času len jedna biologická sanančná metóda – biosorpcia. Zistilo sa, že obidve zložky viditeľne absorbovali kontaminant do svojho mycélia a rast plodníc na pozorovanom substráte nebol ohrozený. Zistili sme, že degradácia uhl'ovodíkov je dokázateľná aj z hľadiska chémie.

Prostredníctvom dotazníka sme zisťovali, či sú respondenti informovaní o mykosanančných metódach, či majú vzťah k životnému prostrediu a či sa ho snažia chrániť. Dotazník bol určený pre skupinu študentov. Bolo zistené, že veľká väčšina respondentov sa snaží chrániť životné prostredie, že väčšina respondentov si myslí že pri sanácii životného prostredia nám môžu pomôcť aj iné organizmy, konkrétne huby, a že málo respondentov pozná možné uplatnenie húb pri viacerých typoch znečistenia životného prostredia.

## 8 Zoznam použitej literatúry

A Comprehensive Insight into Fungal Enzymes: Structure, Classification, and Their Role in Mankind's Challenges. [online]. Publikované 28.12.2021. [citované 10.12.2022].

Dostupné na internete:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8778853/#B87-jof-08-00023>

AKHTAR, N – AMIN-UL MANNAM, M.: Mycoremediation: Expunging environmental pollutants. [online]. Publikované 1-30.6.2020. [citované 5.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X19307003>

ANDERSON, D.: Mushrooms: “Nature’s Greatest Decomposers” (Anderson) [online]. Publikované 17.9.2019. [citované 14.12.2022]. Dostupné na internete:

[https://human.libretexts.org/Bookshelves/Literature\\_and\\_Literacy/Book%3A\\_88\\_Open\\_Essays\\_-\\_](https://human.libretexts.org/Bookshelves/Literature_and_Literacy/Book%3A_88_Open_Essays_-_)

[A\\_Reader\\_for\\_Students\\_of\\_Composition\\_and\\_Rhetoric\\_\(Wangler\\_and\\_Ulrich\)/Open\\_Essays/04%3A\\_Mushrooms%3A\\_Natures\\_Greatest\\_Decomposers\\_\(Anderson\)](https://human.libretexts.org/Bookshelves/Literature_and_Literacy/Book%3A_88_Open_Essays_-_A_Reader_for_Students_of_Composition_and_Rhetoric_(Wangler_and_Ulrich)/Open_Essays/04%3A_Mushrooms%3A_Natures_Greatest_Decomposers_(Anderson))

ASEMOLOYE, M – et al.: Hydrocarbon Degradation and Enzyme Activities of *Aspergillus oryzae* and *Mucor irregularis* Isolated from Nigerian Crude Oil-Polluted Sites. [online]. Publikované 4.5.2022. [citované 30.11.2020]. Dostupné na internete:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7761101/>

BORIOVÁ, K – et al.: BIOSORPCIA, BIOAKUMULÁCIA A BIOVOLATILIZÁCIA POTENCIÁLNE TOXICKÝCH PRVKOV MIKROORGANIZMAMI. [online]. Publikované 2015. [citované 29.12.2020]. Dostupné na internete:

[http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015\\_02\\_109-112.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_02_109-112.pdf)

Bioremediation Research Activities. [online]. Publikované 14.1.2013. [citované 5.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://microbiology.usgs.gov/bioremediation.html>

Človek a životné prostredie. [online]. [citované 10.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://biopedia.sk/ekologia/clovek-a-zivotne-prostredie>

Chernobyl Fungus Eats Nuclear Radiation Via Radiosynthesis. [online]. Publikované 11.8.2022. [citované 4.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.technologynetworks.com/applied-sciences/videos/chernobyl-fungus-eats-nuclear-radiation-via-radiosynthesis-338464>

DADACHOVA, E – CASADEVALL, A.: Ionizing Radiation: how fungi cope, adapt, and exploit with the help of melanin. [online]. Publikované 24.10.2008. [citované 3.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2677413/#R8>

DENG, J – et al.: Catalyzed degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by recoverable magnetic chitosan immobilized laccase from *Trametes versicolor*. [online]. Publikované 1-30.8.2020. [citované 27.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522012462>

Enzyme breaks down hydrocarbons. [online]. Publikované 18.8.2022. [citované 11.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://asknature.org/strategy/enzyme-breaks-down-hydrocarbons/>

Enzymes Degrade Fluoranthene[online]. Publikované 19.5.2017. [citované 17.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://asknature.org/strategy/enzymes-degrade-fluoranthene/>

FALADE, A – et al: Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. [online]. Publikované 7.9.2016. [citované 12.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5300883/>

HOFF, M.: How fungi clean up pollution. [online]. Publikované 15.6.2021. [citované 10.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://asknature.org/strategy/the-fungi-that-clean-up-pollution/>

Huby a čistenie vody? Pozrite sa, s čím všetkým si dokážu poradiť. [online]. Publikované 11.12.2021. [citované 19.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.hydrotech-group.com/sk/blog/huby-a-cistenie-vody-pozrite-sa-s-cim-vsetkym-si-dokazu-poradit-jh>

HUNTER, M.: Can Germs And Mushrooms Clean An Oil Spill? [online]. Publikované 31.5.2022. [citované 18.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://chej.org/can-germs-and-mushrooms-clean-an-oil-spill>

KUMAR, A – et al.: Chapter 8 - MnP enzyme: Structure, mechanisms, distributions and its ample opportunities in biotechnological application. [online]. [citované 12.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323909587000145#!>

KUMAR, A – et al.: Fungal Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Resources: Current Scenario and Future Prospects. [online]. Publikované 2.10.2019. [citované 7.12.2022]. Dostupné na internete:

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25506-0\\_18](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25506-0_18)

MOORE, D.: Fungus. [online]. [citované 28.10.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.britannica.com/science/fungus>

Mycoremediation: 8 Ways Mushrooms Can Mitigate Pollution. [online]. [citované 10.11.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.realmushrooms.com/mycoremediation-mushrooms-pollution/>

PRENAFETA-BOLDÚ, F.: Fungi growing on aromatic hydrocarbons: biotechnology's unexpected encounter with biohazard? [online]. Publikované 1-30.1.2006. [citované 10.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://academic.oup.com/femsre/article/30/1/109/2367306> (2006)

RHODES, CH.: Mycoremediation (bioremediation with fungi) – growing mushroom to clean the earth. [online]. Publikované 26.3.2014. [citované 17.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.3184/095422914X14047407349335?needAccess=true&role=button>

SANTACRUZ-JUARÉZ – et al.: Fungal enzymes for the degradation of polyethylene: Molecular docking simulation and biodegradation pathway proposal. [online]. Publikované 5.6.2021. [citované 11.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421000820>

SITHOLE, S – et al.: Elemental concentration of heavy metals in oyster mushrooms grown on mine polluted soils in Pretoria, South Africa. [online]. Publikované 1-30.2.2022. [citované 7.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364721004250>

Základná charakteristika húb. [online]. [citované 28.10.2022]. Dostupné na internete:

<https://biopedia.sk/huby/zakladna-charakteristika-hub>

ZHDANOVA, N – et al.: Fungi from Chernobyl: mycobiota of the inner regions of the containment structures of the damaged nuclear reactor. [online]. Publikované 1-30.5.2000. [citované 3.12.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0953756208615026?via%3Dihub>

b



## **Zoznam príloh**

Príloha A: Prerastený substrát hľivy ušticovej vystavený kontaminantu

Príloha B: Sadba hľivy ušticovej vystavená kontaminantu

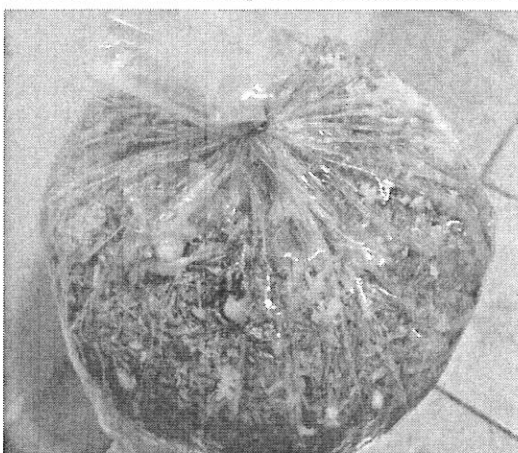
Príloha C: Dôkazová reakcia pre prítomnosť uhľovodíkov

Príloha D: Grafy z dotazníka

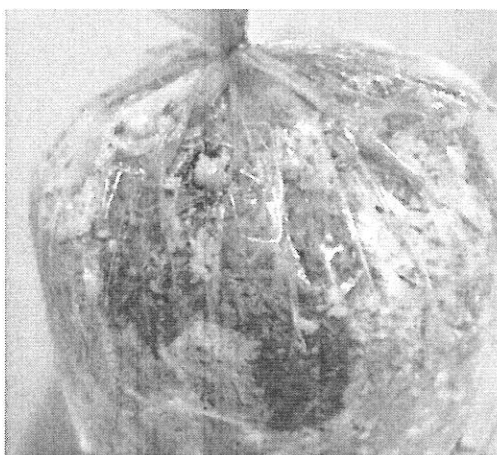
## Príloha A: Prerastený substrát hlivy ustricovej vystavený kontaminantu



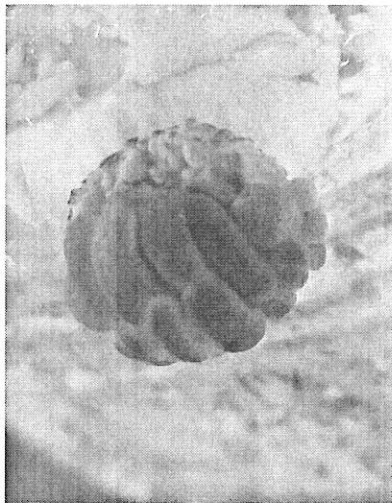
**Obrázok č. 1:** Substrát pred kontamináciou (foto Jurovčík, J., 2022)



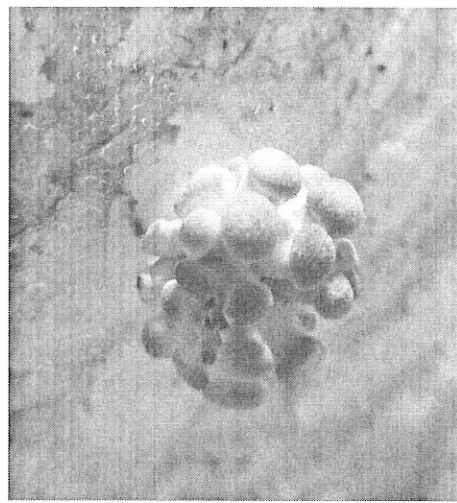
**Obrázok č. 2:** Substrát po kontaminácii (foto Jurovčík, J., 2022)



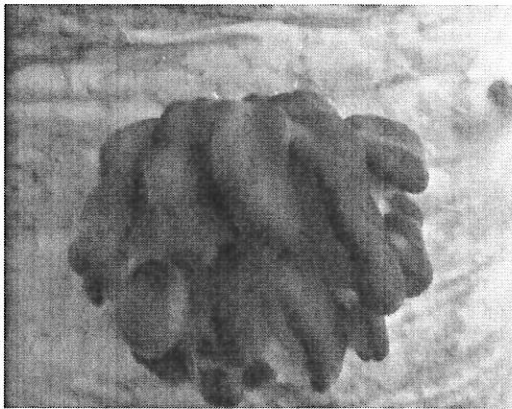
**Obrázok č. 3:** Absorpcia oleja po siedmych dňoch (foto Jurovčík, J., 2022)



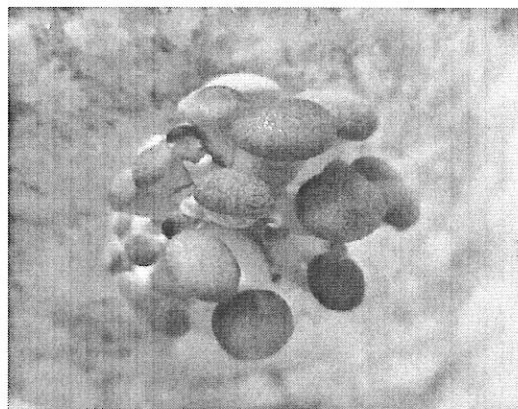
**Obrázok č. 4:** Rast plodníc A (foto Jurovčík, J., 2022)



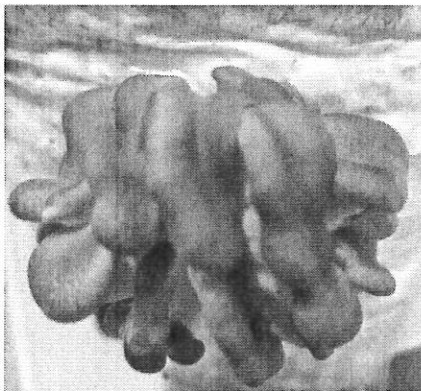
**Obrázok č. 7:** Rast plodníc D (foto Jurovčík, J., 2022)



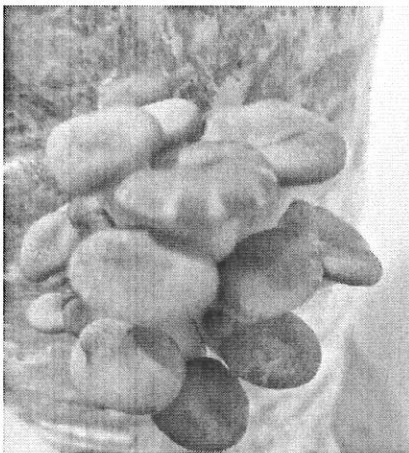
**Obrázok č. 5:** Rast plodníc B (foto Jurovčík, J., 2022)



**Obrázok č. 8:** Rast plodníc E (foto Jurovčík, J., 2022)

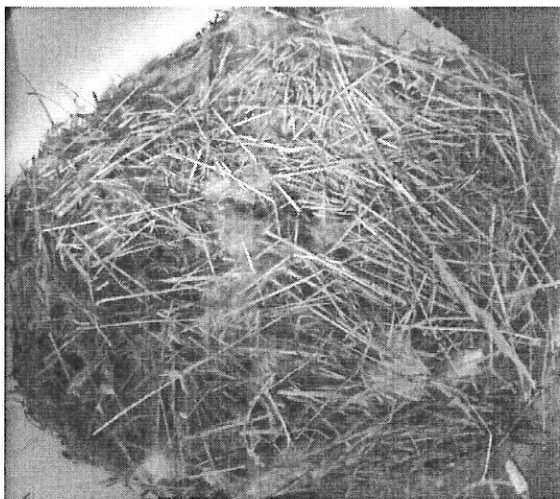


**Obrázok č. 6:** Rast plodníc C (foto Jurovčík, J., 2022)



**Obrázok č. 9:** Rast plodníc F (foto Jurovčík, J., 2022)

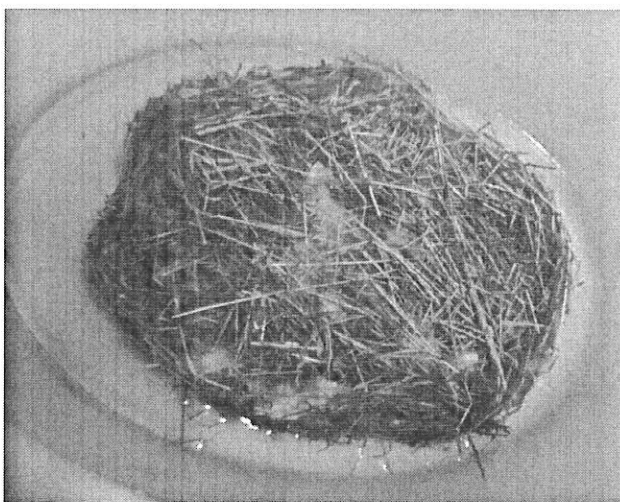
## Príloha B: Sadba hlivy ustricovej vystavená kontaminantu



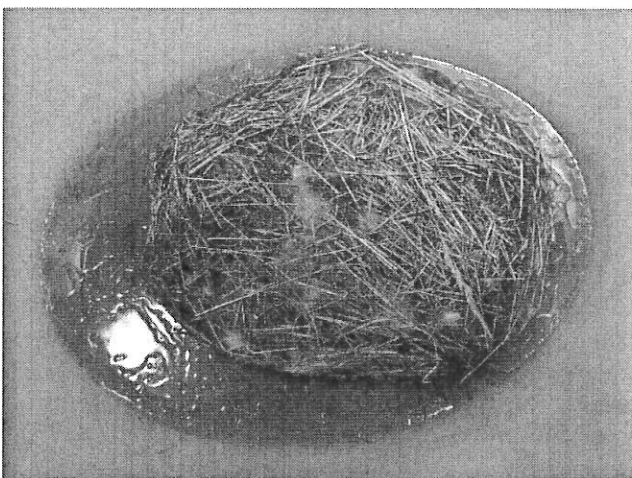
Obrázok č. 10: Mycéliom obrastený substrát (foto Jurovčík, J., 2022)



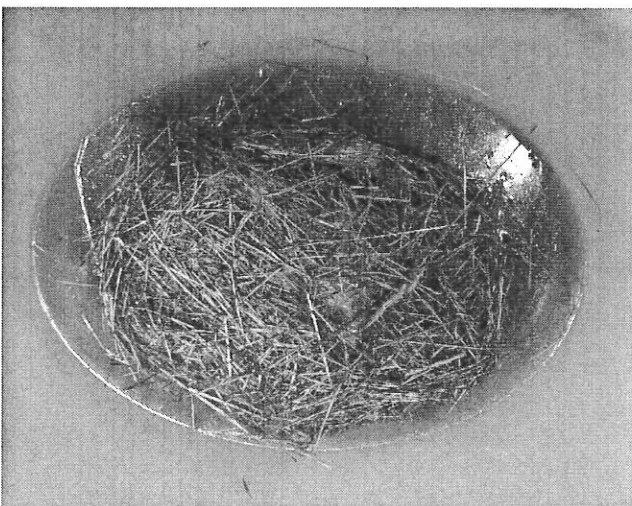
Obrázok č. 11: Mycéliom obrastený substrát (foto Jurovčík, J., 2022)



**Obrázok č. 12:** Substrát v kontaminovanej vode (foto Jurovčík, J., 2022)

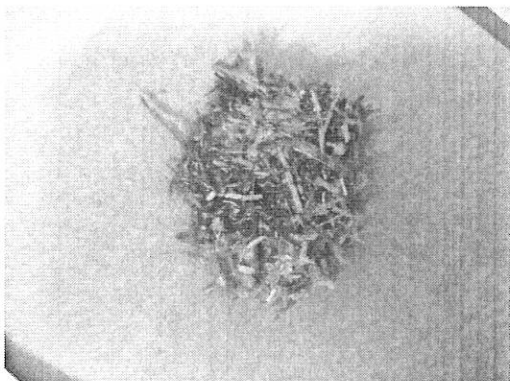


**Obrázok č. 13:** Substrát v kontaminovanej vode po 2 dňoch (foto Jurovčík, J., 2022)

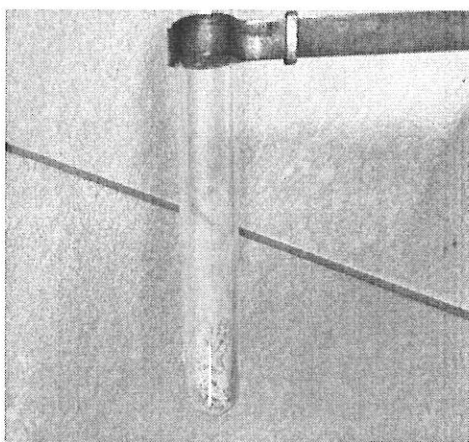


**Obrázok č. 14:** Substrát v kontaminovanej vode po 5 dňoch (foto Jurovčík, J., 2022)

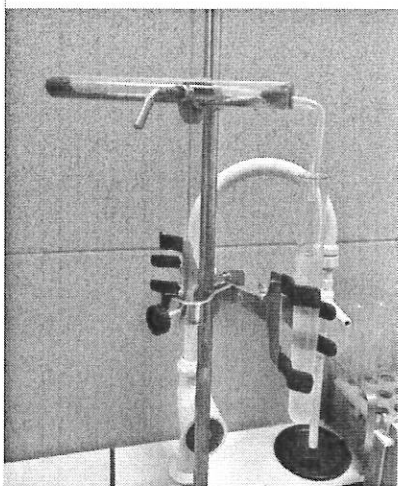
## Príloha C: Dôkazová reakcia pre prítomnosť uhľovodíkov



Obrázok č. 15: Malé množstvo substrátu (foto Jurovčík, J., 2023)

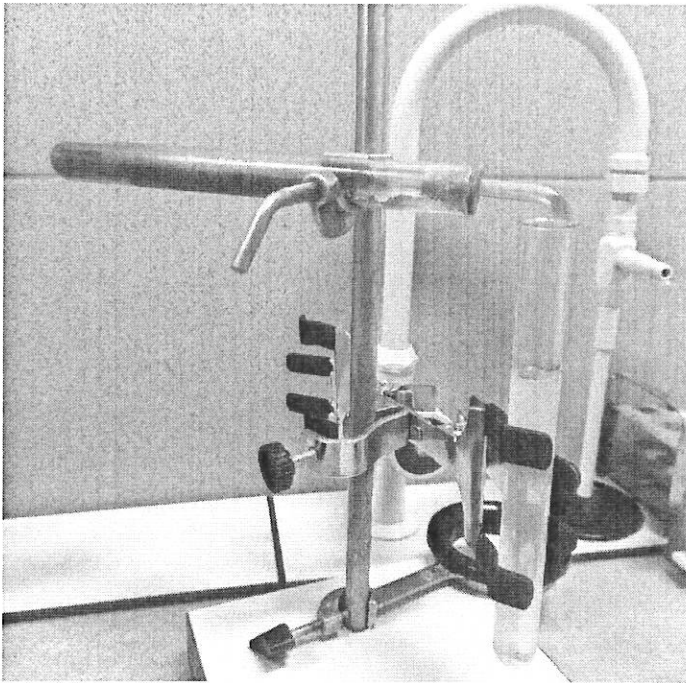


Obrázok č. 16: Bezvodý síran meďnatý (foto Jurovčík, J., 2023)

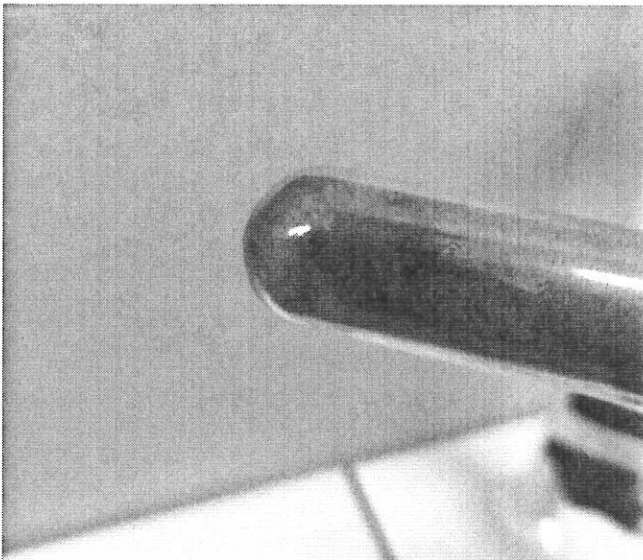


Obrázok č. 17: Aparatúra pre dôkaz prítomnosti uhľovodíkov (foto Jurovčík, J., 2023)





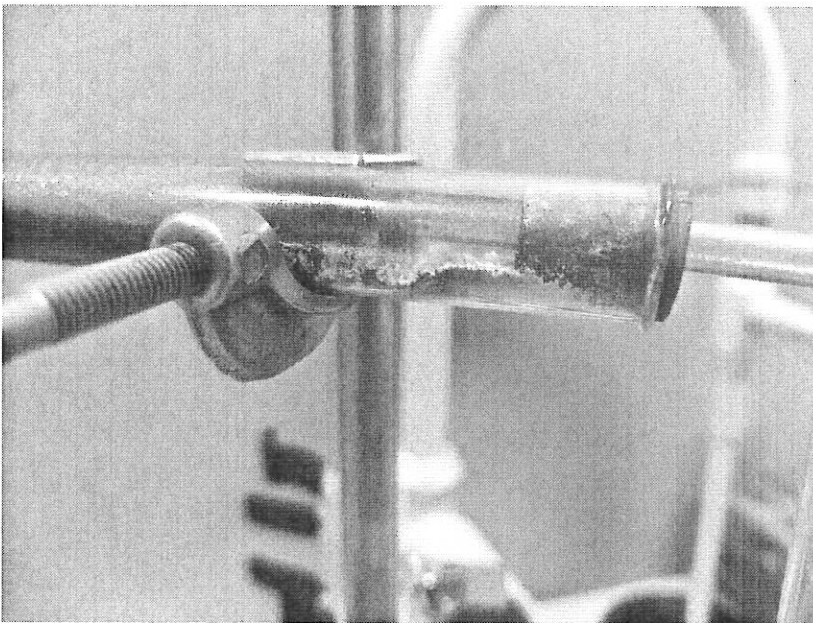
**Obrázok č. 18:** Aparatúra po zahriatí (foto Jurovčík, J., 2023)



**Obrázok č. 19:** Odlúčenie medi (foto Jurovčík, J., 2023)



**Obrázok č. 20:** Roztok vápennej vody bez bielej zrazeniny  $\text{CaCO}_3$  (foto Jurovčík, J., 2023)



**Obrázok č. 21:** Nezreagovaný bezvodý síran meďnatý (foto Jurovčík, J., 2023)

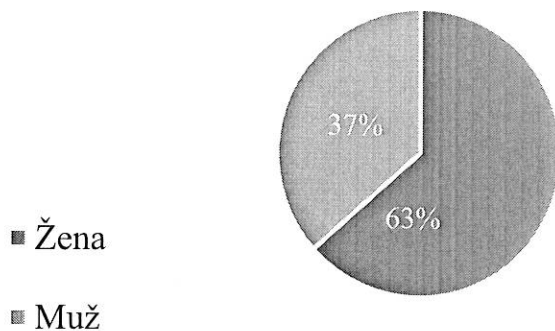


## Príloha D: Grafy z dotazníka

### Pohlavie

Graf 1 („Pohlavie“)

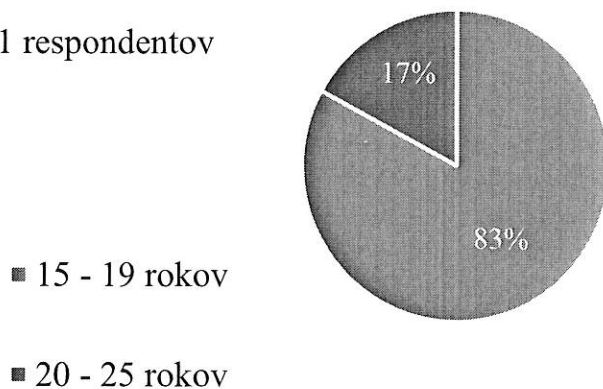
41 respondentov



### Vek

Graf 2 („Vek“)

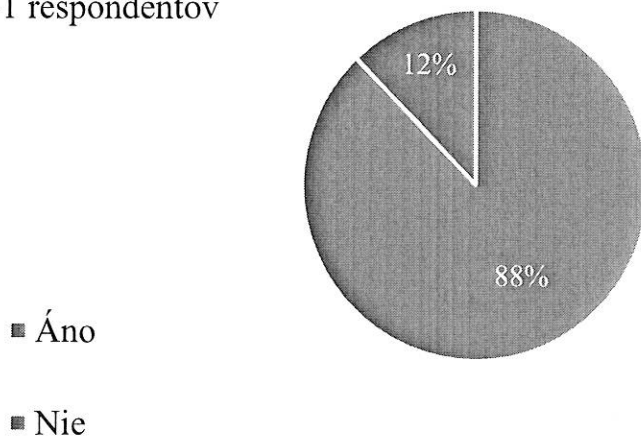
41 respondentov



### Chránite ŽP aj vy?

Graf 3 („Chránite ŽP aj vy?“)

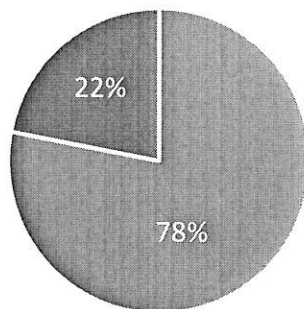
41 respondentov



Poznáte hubu  
Pleurotus ostreatus/hliva ustricová?

41 respondentov

- Áno
- Nie

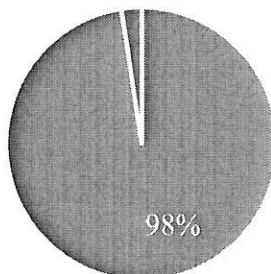


**Graf 4** („Poznáte hubu Pleurotus ostreatus/hliva ustricová?“)

Myslíte si, že nám pri ochrane ŽP  
môžu pomôcť iné organizmy?

41 respondentov

- Áno
- Nie

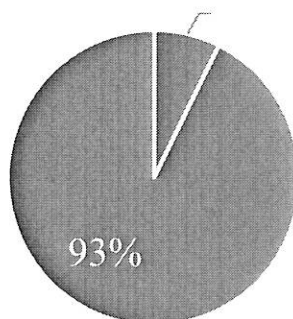


**Graf 5** („Myslíte si, že nám pri ochrane ŽP môžu pomôcť iné organizmy?“)

Myslíte si, že môžu huby pomôcť  
pri ochrane ŽP?

41 respondentov

- Nie
- Áno

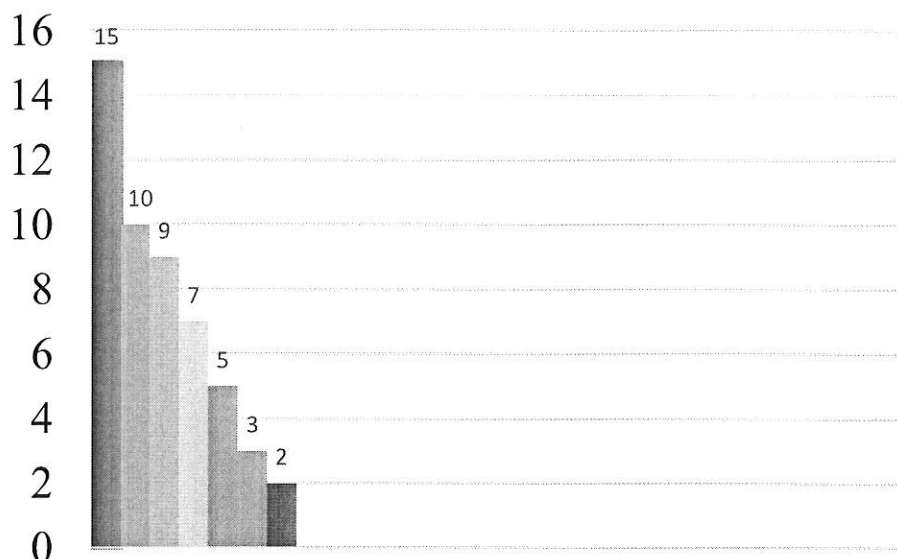


**Graf 6** („Myslíte si, že môžu huby pomôcť pri ochrane ŽP?“)

Počuli ste/sú vám známe  
niektoré z uvedených pojmov?

25 respondentov

**Graf 7** („Počuli ste/sú  
vám známe niektoré z  
uvedených pojmov?“)



■ Rozklad poľnohospodárskeho odpadu (banánové listy, ryžová slama, repné odrezky, pšeničné otruby,...) hubami

■ Zníženie množstva radiácie hubami

■ Rozklad priemyselného odpadu (odpad z papiera, lepenky, nábytku, bavlny...) hubami

■ Rozklad alebo odstránenie ťažkých kovov pomocou húb

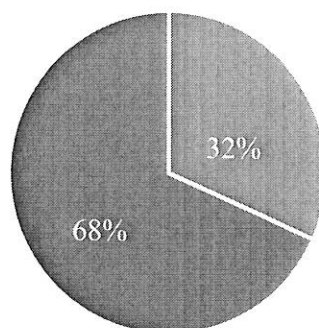
■ Rozklad pesticídov hubami

■ Degradácia ropy a ropných produktov (aj plastov) hubami

■ Rozklad organických a syntetických farbív hubami

Stretli ste sa už s touto alebo s podobnou témou?

41 respondentov



■ Áno

■ Nie

**Graf 8** („Stretli ste sa už s touto alebo s podobnou témou?“)