

# Využití mycelia pro zpracování textilního odpadu

Bc. Hana Lapáčková

Sekce - TEXTIL,

Fakulta textilní, 2. ročník

Magisterský studijní program – TEXTILNÍ INŽENÝRSTVÍ

**Abstrakt:** Cílem této práce bylo vyvinout, charakterizovat a úspěšně realizovat udržitelný kompozitní materiál na bázi houbového mycelia s využitím druhotných surovin z textilního průmyslu. V experimentální části byla testována biologická degradace a růstová kinetika tří druhů hub (*Schizophyllum commune*, *Omphalotus guepiniformis* a *Pleurotus ostreatus*) na vybraných přírodních substrátech: bavlně, lnu a vlně. Růstové charakteristiky byly sledovány po dobu 68 dní pomocí makroskopické fotografické dokumentace, váhové analýzy, optické mikroskopie a infračervené spektroskopie. Jako technologicky nejvhodnější byl vyhodnocen substrát z odpadní bavlny inokulovaný kmenem *Schizophyllum commune* (SCH), který vykazoval optimální hustotu hyfální sítě a vnitřní soudržnost. Z tohoto kompozitu byl navržen a vyroben finální produkt – plochý prototyp ekologické oděvní visačky lisované za tepla při 120 °C. Biologická bezpečnost a nezávadnost materiálu pro přímý styk s lidskou kůží byla in vitro validována nepřímým testem cytotoxicity na lidských keratinocytech linie HaCaT pomocí fluorescenčního barvení propidium jodidem (PI). Výsledky prokázaly plnou biokompatibilitu materiálu, což otevírá nové možnosti pro cirkulární ekonomiku v textilním odvětví.

**Klíčová slova:** přírodní vlákna, mycelium, kompozity, houby, CMM, textilní odpad

## 1 Textilní odpad a environmentální souvislosti

Globální produkce textilního odpadu představuje jeden z nejkritičtějších environmentálních problémů současnosti. Masivní nárůst objemu vyprodukovaného textilu je poháněn především fenoménem tzv. *fast fashion* (rychlé módy), který se vyznačuje produkcí levného, méně kvalitního oblečení s krátkým životním cyklem. Výroba textilií je extrémně náročná na primární zdroje, včetně spotřeby vody, elektrické energie, fosilních paliv a chemických surovin.

Lineární model nakládání s textilními výrobky způsobuje, že obrovské množství materiálu končí bez dalšího využití na skládkách nebo ve spalovnách odpadu [1]. Textil uložený na skládkách zabírá značné kapacity, uvolňuje toxické chemické látky do půdy a podzemních vod a při svém rozkladu generuje emise skleníkových plynů [2]. Celosvětově se ročně vyprodukuje až 92 milionů tun textilního odpadu, přičemž zhruba 87 % končí na skládkách či ve spalovnách [2].

Z hlediska původu a zpracovatelského řetězce se textilní odpad standardně rozděluje do tří základních kategorií [3]:

- **Před-spotřebitelský (technologický) odpad:** Vzniká přímo při výrobním procesu (např. odřezky tkanin, prachová vlákna z přádelen, zbytky přízí a vadná produkce). Tento odpad vykazuje vysokou homogenitu a čistotu, což usnadňuje jeho další využití či recyklaci.
- **Post-spotřebitelský odpad:** Zahrnuje použité oděvy, bytový textil (záclony, ložní prádlo) a pracovní oděvy vyřazené koncovými uživateli. Je charakteristický vysokou heterogenitou, znečištěním a častým směsovým složením, což mechanickou recyklaci činí technologicky velmi komplikovanou.

- **Průmyslový odpad:** Generují jej průmyslová odvětví mimo módní sektor (např. automobilový, stavební či zdravotnický průmysl). Tento odpad je obvykle specifický svým složením a vyžaduje cílené postupy.

Vzhledem k tomu, že většina textilních výrobků je vyrobena ze směsi a obsahuje různé mechanické či chemické doplňky (zipy, knoflíky, apretury), končí velká část z nich na skládkách či ve spalovnách [2]. Jako velmi perspektivní cesta pro materiálové zhodnocení se proto v rámci cirkulární ekonomiky jeví integrace odpadu z přírodních vláken jako růstového substrátu a zdroje uhlíku pro mycelium.

## 2 Biologické procesy rozkladu textilního odpadu a mycelium jako nástroj jeho materiálového využití

Přírodní vlákna vykazují díky své struktuře určitou odolnost vůči rychlé biodegradaci, nicméně jejich vlastnosti významně ovlivňují interakci s mikroorganismy. Jejich hydrofilní povahu doprovází snadný přístup vody a chemických látek, což usnadňuje biochemické procesy vedoucí k jejich rozkladu pomocí mikroorganismů či hub. Pro urychlení tohoto procesu se v technologické praxi využívá mechanické mletí materiálu na menší částice [4, 5]. Bylo prokázáno, že neupravená přírodní vlákna se rozkládají výrazně rychleji než vlákna syntetická (polyester, nylon), která mohou v životním prostředí přetrvávat stovky let [4, 6, 7]. Z hlediska chemické a nadmolekulární struktury se přírodní odpady dělí na dvě hlavní skupiny rostlinná a živočišná.

### 2.1 Struktura rostlinných (celulóзовých) vláken

Rostlinná vlákna, jako je bavlna a len, obsahují vysoký podíl celulózy, která poskytuje vhodné živné prostředí pro růst mycelia. Podle strukturních modelů se rostlinné celulózové vlákno skládá z vnitřní lumenové části a specifických vrstev buněčné stěny [8]:

- **Primární stěna:** Je tenká a pružná, obsahuje hemicelulózy, pektiny a neuspořádané mikrofibrily celulózy. Slouží jako prvotní opora při růstu buňky.
- **Sekundární stěna:** Zajišťuje hlavní mechanickou pevnost. Je výrazně silnější a tvoří ji tři vrstvy s vysokým obsahem celulózy. U lněných vláken je tato stěna navíc doprovázena určitým podílem ligninu, který plní funkci hydrofobního pojiva a bariéry chránící celulózu před enzymatickým rozkladem.

Klíčovým faktorem pro biodegradabilitu je krystalinita celulózy.

Celulóza ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> je lineární polysacharid, kde dlouhé řetězce glukózových jednotek tvoří mikrofibrily. Tyto řetězce jsou vzájemně propojeny vodíkovými vazbami, což vede ke vzniku dvou odlišných oblastí [8]:

- **Krystalické oblasti:** Vysoce uspořádané, husté struktury, které jsou pro vodu a enzymy (celulózy) těžko přístupné.
- **Amorfní oblasti:** Neuspořádané zóny s volnější strukturou, které jsou snadněji přístupné pro molekuly vody a enzymatickou hydrolýzu, a proto jsou odbourávány jako první.

### 2.2 Struktura živočišných (keratinového) vláken

Vlna, jako živočišné vlákno s komplexní strukturou a vysokým obsahem proteinu keratinu, byla do výzkumu zařazena jako kontrastní materiál k celulózovým vláknům. Její stavba vykazuje vysokou odolnost vůči biologickému rozkladu:

- **Kutikula:** Povrch vlněného vlákna je chráněn šupinatou vrstvou (kutikulou), která vykazuje silně hydrofobní charakter a účinně brání vstupu mikroorganismů do vnitřního kortexu vlákna [9].
- **Disulfidické vazby:** Vysoká stabilita a odolnost vlny v přírodním prostředí je dána především vysokým podílem disulfidických vazeb (můstků), které pevně síťují

proteinovou matici keratinu a výrazně omezují přístup běžných enzymů k substrátu [9]. Biodegradace keratinových materiálů je proto obecně velmi pomalá.

### 3 Biochemické vlastnosti mycelia a faktory ovlivňující růst

Mycelium představuje vegetativní část hub, která dokáže prorůst organickými substráty a vytvářet pevné trojrozměrné struktury. Buněčná stěna hyf se skládá z chitinu, beta-glukanů a proteinů. Chitin poskytuje hyfální síti nezbytnou mechanickou pevnost a tuhost; modul pružnosti buněčné stěny hyf se pohybuje v rozmezí 110–140 MPa.

Houby jsou heterotrofní organismy vyživující se z organických substrátů, především z lignocelulóзовé biomasy. K rozkladu komplexních polymerů produkují široké spektrum enzymů, které účinně rozkládají celulózu a lignin. Hyfy aktivně pronikají do vnitřního lumenu textilních vláken, větví se, mechanicky je propojují a fixují. Zároveň dokáže mycelium ze substrátů účinně odstraňovat nebo transformovat některé přítomné látky (např. reziduální barviva).

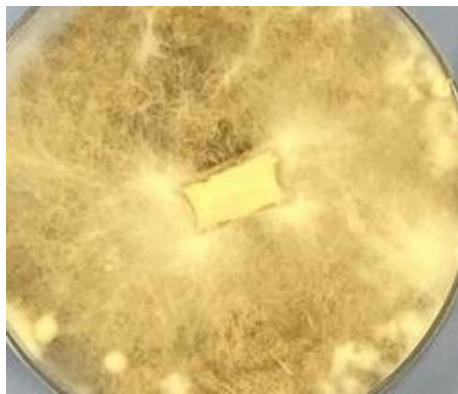
Růst mycelia a kvalita formování kompozitu jsou ovlivňovány řadou abiotických faktorů, přičemž výzkum potvrzuje, že zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> v pěsticím prostoru stimuluje vegetativní růst hyf na úkor tvorby plodnic [10]. Stupeň větvení a hustota hyf přímo ovlivňují výslednou porozitu a mechanickou integritu kompozitu [11].

Mezi hlavní druhy hub zkoumané pro tvorbu kompozitů patří:

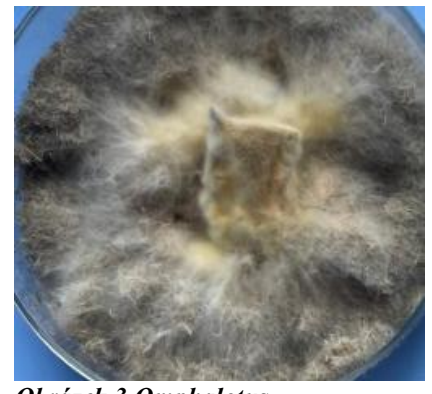
- **Hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus*):** široce využívaná dřevokazná houba, která vykazuje rychlý růst a dobrou kolonizaci celulóзовých substrátů [12]. Mycelium na textilu je na obrázku 1.
- **Klanolístka obecná (*Schizophyllum commune*):** používaná pro tvorbu specifických myceliálních filmů a materiálů imitujících kůži [13]. Mycelium je na obrázku 2.
- **Hlívovník (*Omphalotus guepiniformis*):** rod, který se v běžných komerčních biokompozitech nepoužívá, ale v experimentech vykazuje zajímavou schopnost adaptace na obtížně rozložitelný keratinový substrát [14, 15]. Mycelium je na obrázku 3.



Obrázek 1 Mycelium *Pleurotus Ostreatus*



Obrázek 2 Mycelium *Schizophyllum commune*



Obrázek 3 *Omphalotus guepiniformis*

### 4 Myceliální materiály (SMM a CMM) a metody jejich zpracování

V oblasti biotechnologických materiálů se rozlišují dvě základní kategorie:

- **Standardní myceliální materiály (SMM):** jsou tvořeny pokročilými čistými strukturami z houbového mycelia bez přítomnosti pevného objemového substrátu [16]. Mají porézní strukturu s nízkou objemovou hmotností.
- **Kompozitní myceliální materiály (CMM):** vznikají kombinací zbytkových organických substrátů (v tomto případě přírodního textilního odpadu) a mycelia, které funguje jako přirozené pojivo [3, 17]. CMM nacházejí uplatnění jako ekologické obaly [18], izolační materiály ve stavebnictví [19, 20] nebo dokonce biologicky rozložitelné

rakve [21]. Současný výzkum se intenzivně zaměřuje na integraci mycelia přímo do plošných textilních struktur [22, 23].

#### 4.1 Výrobní postup a metody stabilizace

Výrobní cyklus CMM zahrnuje přípravu a mechanické rozemletí textilního substrátu na univerzálních mlýnkách, inokulaci vybraným druhem houby a následnou kultivaci v kontrolovaných podmínkách (v temnotě, při stabilní teplotě a vlhkosti) [17]. Po dosažení požadované kolonizace se růst hub definitivně zastaví tepelným ošetřením, čímž se materiál stabilizuje a vysuší. Vlastnosti výsledného kompozitu lze dále modifikovat metodami následného zpracování (např. povrchovými nátěry či impregnací) [17].

#### 4.2 Technologie lisování a post-procesní úpravy

Lisování představuje klíčový krok pro úpravu finální hustoty, tloušťky a mechanických parametrů materiálu. Výzkum se zaměřuje na optimalizaci lisování za tepla i za studena [10, 24].

Z hlediska technologického postupu se jako efektivní jeví také metoda lisování za studena přímo v průběhu aktivní fáze růstu [17]:

1. **Předběžná kolonizace:** inokulovaný textilní substrát se nechá volně prorůst v sáčku či nádobě, kde mycelium vytvoří základní biomasu.
2. **Mechanické slisování:** částečně prorostlý materiál se slisuje do požadovaného tvaru, čímž se textilní vlákna přiblíží a mycelium se dostane do intenzivnějšího kontaktu s materiálem.
3. **Sekundární prorůstání:** slisovaný kompozit se vrátí do inkubátoru, kde mycelium pokračuje v růstu, znovu propojí strukturu a finálně ji zpevní.

Současné směry výzkumu CMM se orientují na integraci pokročilých textilních výztuží, automatizaci výroby ve velkém měřítku, matematické modelování parametrů a využití aditivních technologií, jako je 3D tisk CMM [17]. Na tyto poznatky navazuje experimentální část práce, která se zabývá váhovou, mikroskopickou a FTIR analýzou prorůstání *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune* a *Omphalotus guepiniformis* na bavlně, lnu a vlně s cílem realizovat finální produkt (oděvní visačku) a ověřit možnosti 3D formování s využitím distanční tkaniny.

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Níže je na obrázku 4 k ukázce schéma výroby CMM.

1. Všechny textilní materiály byly nejprve mechanicky rozmělněny na univerzálním řezacím mlýnku Fritsch přes síto o hrubosti 1,5 mm.
2. Tímto mletím se vytvořil homogenní substrát s vyšší povrchovou plochou, což usnadnilo následnou kolonizaci houbovými hyfami.
3. Čisté kultury hub získané od Akademie věd ČR byly předem namnoženy a kultivovány na čerstvém živném agaru v Petriho miskách.
4. Rozemletý textilní substrát byl pro nutriční podporu růstu mycelia navlhčen tekutou směsí síranu amonného a glukózy.
5. Aby se eliminovala mikrobiologická kontaminace, byl navlhčený substrát sterilizován v autoklávu vodní párou při 120 °C po dobu 10 minut.
6. Po vychladnutí byl substrát rozvážen po 1 g do Petriho misek a inokulován přiložením vyříznutých krychliček narostlého agaru s myceliem.
7. Současně byly připraveny kontrolní vzorky textilu bez hub pro sledování případných izolovaných váhových či biologických změn materiálu.
8. Inokulované misky byly umístěny do inkubátoru POL-EKO ST 2 Smart, kde kultivace probíhala při řízené teplotě  $27 \pm 1$  °C a relativní vlhkosti  $90 \pm 2$  %.



Obrázek 4 Schéma výroby CMM

Cílem experimentální části práce bylo vyvinout a charakterizovat kompozitní myceliální materiály (CMM) využívající jako růstový substrát vybrané druhy přírodního textilního odpadu.

### 5.1 Použité materiály (vlákna a mycelia)

Pro přípravu kulturačních substrátů byly v Petriho miskách testovány tyto materiály ve formě rozemleté odpadní tkaniny i surových rozemletých vláken:

- **Bavlna (BA):** surová bavlna a textilní odpadní bavlna.
- **Len (LI):** surový len a lněný textilní odpad.
- **Vlna (WO):** surová vlna a vlněný textilní odpad (reprezentující živočišná vlákna).

Jako biologická pojiva byly kultivovány tři specifické kmeny hub:

- Hlíva ústříčná (*Pleurotus ostreatus* – **OST**)
- Klanolístka obecná (*Schizophyllum commune* – **SCH**)
- Hlívovník (*Omphalotus gueriniformis* – **OMP**)

### 5.2 Použité metody k charakterizaci vzniklého kompozitu

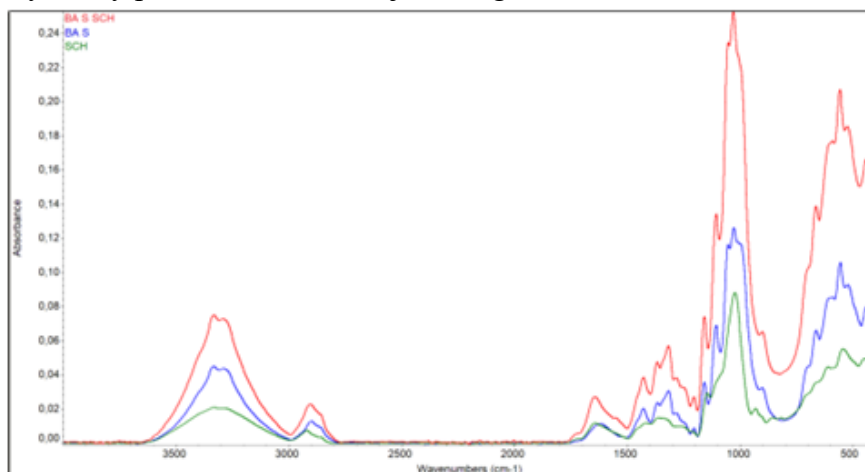
K hodnocení kvality růstu a interakce mycelia se substráty v rozsahu 68 dní byly použity tyto metody:

- **Mikroskopická analýza:** detailní studium vnitřního uspořádání, hustoty hyfální sítě a mechanické interakce mezi hyfami a textilním substrátem na mikroskopu Olympus IX73 s využitím metody skládání obrazu z více ohniskových rovin (Deep Focus). Ilustrační obrázek s Deep Focus metodou je na obrázku 5.



Obrázek 5 CMM mycelium *Schizophyllum commune* s bavlnou

- **Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR):** chemická charakterizace chemických změn a vazeb na přístroji Nicolet iZ 10 (metoda ATR). Výsledky pro surovou bavlnu jsou na grafu 1.

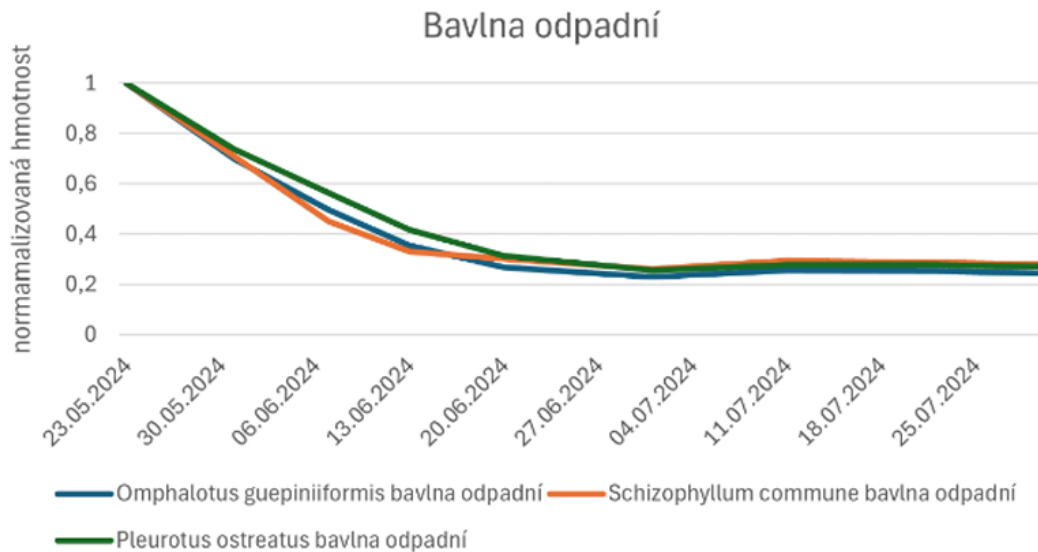


Graf 1 FTIR surová bavlna a *Schizophyllum commune*

- **Závěr:** Obě metody tak ve výsledku slouží spíše jako doplňkový, ilustrativní nástroj pro makroskopické ověření přítomnosti mycelia, nikoliv jako exaktní analytické metody schopné popsat hlubší fyzikálně-chemické zákonitosti vznikajícího kompozitu.
- **Váhová analýza (gravimetrie):** měření laboratorním analytickým přístrojem KERN EMB 200-2 v uzavřených Petriho miskách pro zjištění dynamiky úbytku hmotnosti v čase.

### 5.3 Vyhodnocení růstu a materiálová kompatibilita

Váhová analýza odhalila specifickou **třífázovou dynamiku** ( fáze degradace, fáze stabilizace a fáze nárůstu). Celulózová vlákna (bavlna a len) se ukázala jako ideální pro tvorbu pevných struktur CMM. Jak je vidět zde na grafu 2.



**Graf 2** Vyhodnocení růstu mycelií na odpadní bavlně

**Bavlna (BA) se projevila jako technologicky nejvhodnější základ pro výrobu finálního produktu z těchto důvodů:**

- Hustota hyfální sítě a soudržnost:** na rozdíl od lněného odpadu, který se ve výsledném CMM rozpadal a nebyl příliš vhodný pro výrobu prototypu, bavlna umožnila vytvoření dostatečně husté a propletené hyfální sítě, jež dokonale plnila funkci přirozeného polymerního pojiva.
- Mechanická integrita po lisování:** při hodnocení soudržnosti materiálu během ruční manipulace vykazovaly vzorky na bázi bavlny nejvyšší stabilitu, pevnost a kompaktnost bez tendence k drobení až po kompletním dokončení procesu – tedy po lisování za studena, 14 dnech prorůstání s obnovou kultur a následném sušení s finálním lisováním za tepla.
- Vliv vlněných vláken na soudržnost:** na rozdíl od bavlny neposkytla vlna dostatečnou mechanickou soudržnost CMM. Důvodem je vysoký obsah keratinu, který je pro studované kmeny hub obtížně degradovatelný, což bránilo správnému propojení materiálu.
- Vliv textilních barviv a úprav na růst hub:** běžná textilní barviva a povrchové úpravy na odpadních vláknech naopak nepředstavovaly pro růst hub žádnou bariéru. Přestože byla tato odpadní vlákna kolonizována v o něco menší míře, přítomnost neznámých zušlechťovacích přípravků neměla na proces zásadní vliv a houby byly schopny materiál úspěšně kolonizovat.

## 7. Vývoj produktu a výroba prototypu oděvní visačky

Praktickým výstupem práce byl vývoj a realizace **prototypu udržitelné ploché oděvní visačky** z CMM na bázi bavlny.

### 7.1 Technologický postup výroby ploché visačky:

- Příprava a inokulace:** textilní bavlněný substrát (7 g) byl inokulován, myceliem a kultivován v kontrolovaných podmínkách  $27 \pm 1$  °C a  $90 \pm 2$  %. Během této fáze došlo vlivem biologické degradace k úbytku hmotnosti o přibližně 47 %.
- Předběžné rozrůstání a lisování za studena:** materiál byl po inokulaci ponechán k rozrůstání a následovalo lisování za studena pro zhuštění struktury, následně byl

ponechán 14 dní k sekundárnímu prorůstání, aby mycelium vyplnilo mezivlákněné prostory a rovnoměrně propojilo celý objem.

3. **Sušení:** vzorky byly sušeny v horkovzdušné sušárně při 60 °C po dobu 18 hodin, což definitivně zastavilo aktivní růst mycelia a odstranilo volnou vlhkost (úbytek hmotnosti sušením byl pouze 4,47 %).
4. **Horké lisování (Finální stabilizace):** CMM materiál byl podroben horkému lisování při teplotě **120 °C po dobu 1 minuty** s nastavením distančních podložek na cílovou tloušťku **2 mm**. Tento zkrácený časový interval byl zvolen záměrně kvůli tenkostěnnému CMM, čímž se zamezilo tepelné degradaci organických vláken, ale dosáhlo se fixace tvaru a přeměny na plochý materiál připomínající karton.
5. **Vystřížení:** poslední úprava byla vystřížení visačky do konkrétního tvaru.

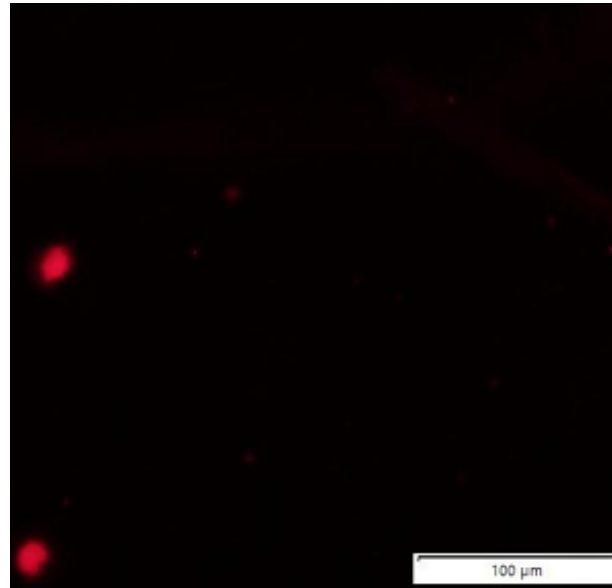
## 7.2 Hodnocení cytotoxicity CMM na kožních buňkách

Pro ověření biologické bezpečnosti visačky při potenciálním styku s lidskou kůží byl proveden *in vitro* test cytotoxicity.

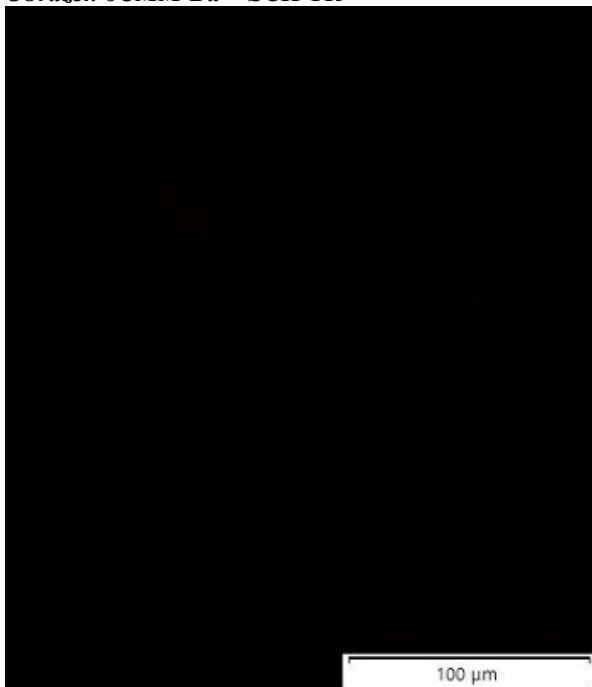
- **Metodika:** byl využit nepřímý kontakt skrze výluh (extrakt) z 10 mg CMM v kultivačním médiu DMEM. Jako testovací model byla zvolena **buněčná linie lidských keratinocytů HaCaT**.
- **Detekce:** k detekci úmrtnosti buněk bylo použito fluorescenční barvení **propidium jodidem (PI)**, který označuje mrtvé buňky emitující červené světlo pod fluorescenčním mikroskopem (excitace 488 nm).
- **Výsledek:** srovnání snímků s negativní a pozitivní kontrolou potvrdilo plnou biokompatibilitu a bezpečnost extraktů pro kmeny *Schizophyllum commune* i *Omphalotus gueriniformis*. Materiál nevykazuje cytotoxické účinky a je zcela bezpečný pro kožní kontakt.



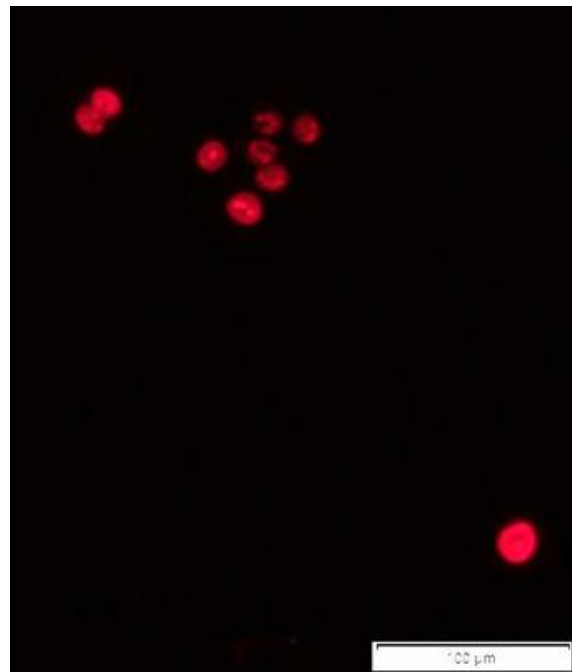
Obrázek 6 CMM Ba + SCH TR



Obrázek 7 CMM BA + SCH propidium



Obrázek 8 Negativní kontrola propidia



Obrázek 9 Pozitivní kontrola propidia

## 6 Přínos práce a uplatnění v praxi se orientuje na dvě klíčové úrovně:

- Průmyslové zpracování odpadu:** práce přináší experimentálně ověřený biotechnologický model pro textilní a oděvní podniky, jak efektivně nakládat s organickými odpady přímo v místě jejich vzniku. Tento typ biokompozitu (CMM) představuje udržitelnou alternativu k syntetickým materiálům a expandovanému polystyrenu, a po optimalizaci ve větším měřítku může nalézt uplatnění například v ekologickém stavebnictví (izolační a tlumicí panely) nebo v logistice jako biologicky odbouratelná obalová fixace.

- **Brandový příběh a marketing:** vyvinutý prototyp ploché myceliální oděvní visačky představuje ideální komunikační nástroj v duchu cirkulární ekonomiky. Pro oděvní firmy slouží jako „živá reklama“ a hmatatelný důkaz udržitelnosti, který zákazníkovi vizuálně i na dotek demonstruje, že značka svůj textilní odpad reálně transformuje do designových, plně rozložitelných produktů. Visačka tak pomáhá budovat silný ekologický příběh značky a zvyšuje povědomí spotřebitelů o inovativních biotechnologiích v textilním odvětví.



Obrázek 10 Prototyp visačky

## 7 Závěr

Tato práce úspěšně prokázala reálný potenciál materiálového zhodnocení přírodního textilního odpadu pomocí kultivace houbového mycelia v rámci cirkulární ekonomiky. Na základě gravimetrických, mikroskopických a spektroskopických analýz byla jako technologicky nejvhodnější matrice identifikována odpadní bavlna v kombinaci s kmenem *Schizophyllum commune*. Tento substrát umožnil vytvoření dostatečně husté a propletené hyfální sítě, která optimálně plnila funkci přirozeného biologického pojiva.

V rámci experimentu byla ověřena inovativní metoda lisování v průběhu aktivní fáze růstu, kdy materiál po mechanickém zhutnění za studena prošel 14denním sekundárním prorůstáním. Maximální stability, pevnosti a kompaktnosti bez tendence k drobení však bylo u bavlněných vzorků dosaženo až po kompletním dokončení celého cyklu, zakončeného horkým lisováním při 120 °C. Výsledný plochý kompozitní myceliální materiál (CMM) o stabilní tloušťce 2 mm svou texturou úspěšně simuloval měkký karton, což umožnilo jeho finální zpracování do podoby funkčního prototypu udržitelné oděvní visačky. Naopak lněný odpad se ukázal jako náchylný k rozpadavosti a živočišná vlna kvůli vysokému obsahu těžko degradovatelného keratinu neposkytla dostatečnou mechanickou soudržnost vůbec. Výzkum zároveň potvrdil, že běžná textilní barviva a chemické úpravy na odpadních vláknech nepředstavují pro myceliální růst zásadní bariéru.

Důležitým milníkem práce bylo in vitro ověření biologické bezpečnosti materiálu na lidských keratinocytech linie HaCaT. Fluorescenční barvení propidium jodidem (PI) exaktně potvrdilo sto procentní biokompatibilitu a netoxičnost výluhů z CMM, čímž byla deklarována plná nezávadnost výsledného produktu pro přímý kontakt s lidskou pokožkou. Vyvinutý prototyp oděvní visačky tak představuje nejen ekologickou alternativu k syntetickým materiálům, ale také silný marketingový a komunikační nástroj pro oděvní značky, který hmatatelně demonstruje reálnou transformaci textilního odpadu do designového, plně biodegradovatelného produktu. Navazující výzkum by se měl zaměřit na doporučenou optimalizaci procesu, zejména na zavedení kapalné inokulace, kultivaci v mikroperforovaných obalech a testování metody naplavování pro dosažení ještě vyšší homogenity tenkostěnných struktur.

## 8 Literatura

- [1] SCHUMACHER, Kelsea a Amanda L. FORSTER. *Facilitating a Circular Economy for Textiles Workshop Report* [online]. B.m.: National Institute of Standards and Technology. 2022. Dostupné z: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1500-207.pdf>
- [2] RUIZ, Arabella. *17 Most Worrying Textile Waste Statistics & Facts* [online]. 2024. Dostupné z: <https://theroundup.org/textile-waste-statistics/>
- [3] TANG, Kuok Ho Daniel. State of the Art in Textile Waste Management: A Review. *Textiles* [online]. 2023, 3(4), 454–467. ISSN 2673-7248. Dostupné z: doi:10.3390/textiles3040027
- [4] CHEN, Minghua, Ziyu YUE, Yixin WU, Yang WANG, Yu LI a Zhen CHEN. Thermal stable polymer-based solid electrolytes: Design strategies and corresponding stable mechanisms for solid-state Li metal batteries. *Sustainable Materials and Technologies* [online]. 2023, 36, e00587. ISSN 2214-9937. Dostupné z: doi:10.1016/j.susmat.2023.e00587
- [5] VERMA, Nikita, Eswari JUJJAVARAPU Satya a Chinmaya MAHAPATRA. *Green sustainable biocomposites: Substitute to plastics with innovative fungal mycelium based biomaterial*. B.m.: National Institute of Technology, India. 2023
- [6] RAHID, Ehsanur, Rubel KHAAN, Raihan HAQUE UI a HASANUZZAMAN. *Challenges of textile waste composite products and its prospects of recycling*. B.m.: Springer Nature Japan KK. 2022
- [7] HORÁKOVÁ, Dana. *Bioremediace* [online]. B.m.: Masarykova Univerzita Přírodovědecká fakulta Ústav experimentální biologie Brno. 2006. Dostupné z: [https://is.muni.cz/elportal/estud/prif/ps06/3062932/bioremediace\\_FRVS\\_2006-2.pdf?](https://is.muni.cz/elportal/estud/prif/ps06/3062932/bioremediace_FRVS_2006-2.pdf?)
- [8] SZOSTAK-KOTOWA, Joanna. Biodeterioration of textiles. nedatováno, 2004. ISSN 0964-8305.
- [9] WARD, Colin. Unravelling the structure of the wool fibre and other keratins. *CSIROpedia* [online]. 13. leden 2015 [vid. 2026-02-26]. Dostupné z: <https://csiropedia.csiro.au/wool-fibre-structure/>

- [10] APPELS, Freek V. W., Serena CAMERE, Maurizio MONTALTI, Elvin KARANA, Kaspar M. B. JANSEN, Jan DIJKSTERHUIS, Pauline KRIJGSHELD a Han A. B. WÖSTEN. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design* [online]. 2019, **161**, 64–71. ISSN 0264-1275. Dostupné z: doi:10.1016/j.matdes.2018.11.027
- [11] ELSACKER, Elise, Simon VANDELOOK, Aurélie VAN WYLICK, Joske RUYTINX, Lars DE LAET a Eveline PEETERS. A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment* [online]. 2020, **725**, 138431. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138431
- [12] SAINI, Rahul, Kaur ,Guneet a Satinder Kaur AND BRAR. Textile residue-based mycelium biocomposites from *Pleurotus ostreatus*. *Mycology* [online]. 2024, **15**(4), 683–689. ISSN 2150-1203. Dostupné z: doi:10.1080/21501203.2023.2278308
- [13] WHABI, Viraj a Jianping XU. Splitting the difference: Genetically-tunable mycelial films using natural genetic variations in *schizophyllum commune*. *Journal of Bioresources and Bioproducts* [online]. 2025, **10**(3), 336–359. ISSN 2369-9698. Dostupné z: doi:10.1016/j.jobab.2025.05.004
- [14] MACH, Lukáš. *Společenstvo hub v půdách kontaminovaných organickými polutanty* [online]. Praha, 2024. diplomová práce. ČZU. Dostupné z: <https://theses.cz/id/aq4fcf/53185914?>
- [15] KIM, Jaewook, Mi-Jeong PARK, Donghwan SHIM a Rhim RYOO. *De novo* sestavení genomu bioluminiscenční houby *Omphalotus guepiniiformis* odhaluje specifickou linii bloku genu luciferázy u *Omphalotus*. *Genomics* [online]. 2022, **114**(6), 110514. ISSN 0888-7543. Dostupné z: doi:10.1016/j.ygeno.2022.110514
- [16] HANEEF, Muhammad, Luca CESERACCIU, Claudio CANALE, Ilker S. BAYER, José A. HEREDIA-GUERRERO a Athanassia ATHANASSIOU. Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports* [online]. 2017, **7**(1), 41292. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/srep41292
- [17] CAMILLERI, Emma, Sumesh NARAYAN, Divnesh LINGAM a Renald BLUNDELL. Mycelium-based composites: An updated comprehensive overview. *Biotechnology Advances* [online]. 2025, **79**, 108517. ISSN 0734-9750. Dostupné z: doi:10.1016/j.biotechadv.2025.108517
- [18] TURRELL, Claire. Startups replace plastics with mushrooms in the seafood industry. *Mongabay Environmental News* [online]. 29. říjen 2024 [vid. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://news.mongabay.com/2024/10/startups-replace-plastics-with-mushrooms-in-the-seafood-industry/>
- [19] ALEMU, Digafe, Mesfin TAFESSE a Ajoy Kanti MONDAL. Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. *International Journal of Biomaterials* [online]. 2022, **2022**(1), 8401528. ISSN 1687-8795. Dostupné z: doi:10.1155/2022/8401528
- [20] NASIR, Osama. *From Fungi to Foundations: Mycelium in construction* [online]. 2. červenec 2024 [vid. 2025-05-13]. Dostupné z: <https://parametric-architecture.com/from-fungi-to-foundations-mycelium-in-construction/>

- [21] *Your Final Resting Place Could Be a Coffin Made of Mushrooms* | *WIRED* [online]. [vid. 2025-05-13]. Dostupné z: [https://www.wired.com/story/mycelium-coffins-loop/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.wired.com/story/mycelium-coffins-loop/?utm_source=chatgpt.com)
- [22] *Interview mit Carole Collet (EN)* [online]. [vid. 2025-06-16]. Dostupné z: <https://biotopia.net/en/biotopia-lab/popupexhibition/9-english/310-carole-collet-interview>
- [23] RATHINAMOORTHY, R., T. Sharmila BHARATHI, M. SNEHAA a C. SWETHA. Mycelium as sustainable textile material – review on recent research and future prospective. *International Journal of Clothing Science and Technology* [online]. 2023, **35**(3), 454–476. ISSN 0955-6222. Dostupné z: doi:10.1108/IJCST-01-2022-0003
- [24] CAMILLERI, Emma, Sumesh NARAYAN, Divnesh LINGAM a Renald BLUNDELL. Mycelium-based composites: An updated comprehensive overview. *Biotechnology Advances* [online]. 2025, **79**, 108517. ISSN 0734-9750. Dostupné z: doi:10.1016/j.biotechadv.2025.108517

Graf 1 FTIR surová bavlna a *Schizophyllum commune* ..... 6  
 Graf 2 Vyhodnocení růstu mycelií na odpadní bavlně ..... 7

Obrázek 1 *Mycelium Pleurotus Ostreatus* ..... 3  
 Obrázek 2 *Mycelium Schizophyllum commune* ..... 3  
 Obrázek 3 *Omphalotus guepiniformis* ..... 3  
 Obrázek 4 Schéma výroby CMM ..... 5  
 Obrázek 5 CMM mycelium *Schizophyllum commune* s bavlnou ..... 6  
 Obrázek 6 CMM Ba + SCH TR ..... 9  
 Obrázek 7 CMM BA + SCH *propidium* ..... 9  
 Obrázek 8 Negativní kontrola *propidia* ..... 9  
 Obrázek 9 Pozitivní kontrola *propidia* ..... 9  
 Obrázek 10 Prototyp visačky ..... 10