ISSN 1339-3189 6/2025

Mladá veda

Young Science

Špeciálne vydanie

www.mladaveda.sk

K KPS

STU SvF

ŠTUDENTSKÁ DOKTORANDSKÁ KONFERENCIA

2025

KATEDRY KONŠTRUKCIÍ POZEMNÝCH STAVIEB SVF STU V BRATISLAVE
ÚSTAVU KONŠTRUKCIÍ V ARCHITEKTÚRE A INŽINIERSKYCH STAVIEB FAD STU V BRATISLAVE
ÚSTAVU STAVITELSTVÍ FA ČVUT V PRAHE

PROGRAM

09:00 - ÚVOD
09:10 - 10:45 - PREZENTÁCIA VÝSKUMNEJ ČINNOSTI DOKTORANDOV (BLOK 1)
10:45 - 11:00 - COFFE BREAK
11:00 - 12:30 - PREZENTÁCIA VÝSKUMNEJ ČINNOSTI DOKTORANDOV (BLOK 2)
12:45 - 13:30 - OBED (ALŽBETKA)
14:00 - 15:00 - KOMENTOVANÁ PREHLIADKA MODERNIZOVANEJ SNG (VAJANSKÉHO NÁBREŽIE)

*program je predbežný, jeho zmena je vyhradená

ODBORNÍ GARANTI

prof. Ing. Boris Bielek, PhD.
doc. Ing. arch. Eva Vojteková, PhD.
doc. Ing. Lenka Prokopová, PhD.
doc. Ing. Stanislav Darula, PhD.
doc. Ing. arch. Henrich Pifko, PhD.
doc. Ing. Rastislav Ingeli, PhD.
Ing. Peter Hanuliak, PhD.
doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D.
doc. M.A. Jan Stolín

VÝSTUP

ŠPECIÁLNE VYDANIE MLADEJ VEDY - PREZENTUJÚCI ÚČASTNÍCI ODOVZDAJÚ ODBORNÉ ČLÁNKY NA RECENZIU V TERMÍNE DO 31.5.2025

24 Apríl, 2025

SEMINÁRNA MIESTNOSŤ KKPS
NA STAVEBNEJ FAKULTE STU V BRATISLAVE

Mladá veda
Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 6, ročník 13., vydané v decembri 2025
ISSN 1339-3189, EV 167/23/EPP
Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk
Fotografia na obálke: Slovenská národná galéria. © Peter Hanuliak

REDAKČNÁ RADA

prof. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)
prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)
Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)
PhDr. Veronika Kmetóny Gazdová, PhD. (Inštitút edukológie a sociálnej práce, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)
Mgr. Monika Šavelová, PhD. (Katedra translatológie, Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra)
prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)
prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)
doc. Mgr. Michal Garaj, PhD. (Katedra politických vied, Univerzita sv. Cyrila a Metoda, Trnava)

REDAKCIA

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)
Mgr. Martin Hajduk, PhD. (Banícke múzeum, Rožňava)
PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)
RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)
PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)
Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.
www.universum-eu.sk
Javorinská 26, 080 01 Prešov
Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 13 (6), pp. 70-82

VYUŽITIE KOMPOZITOV NA BÁZE MYCÉLIA V ARCHITEKTÚRE

USE OF MYCELIUM-BASED COMPOSITES IN ARCHITECTURE

Michal Križo[1]

Autor pôsobí ako interný doktorand na Fakulte architektúry a dizajnu Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Vo svojom výskume a v dizertačnej práci sa venuje problematike bio-kompozitov, konkrétne kompozitom na báze mycélia.

Michal Križo is an internal PhD student at the Faculty of Architecture and Design of the Slovak University of Technology in Bratislava. His research is focused on the topic of bio-composites, specifically Mycelium-Based Composites (MBCs).

Abstract
The article deals with the research, characteristics and possibilities of using mycelium as a bio-composite material in architecture and construction. Mycelium bio-composites (MBC) are created by the process of bio-fabrication, which instead of traditional industrial production uses material growth as a natural construction principle. The research focuses on the advantages and weaknesses of MBC, on the technological potential and challenges and risks associated with the cultivation, stabilization and application of MBC in construction practice. Attention is paid to the application of MBC in architecture, the typology of structures or the process of so-called bio-welding, which allows the creation of monolithic structures. The practical part of the research represents experimental material research and a sequence of material tests, as well as the development of the experimental software tool CELLIA, developed in the Rhino8 + Grasshopper environment, intended for the automation of design, optimization of block production and calculation of material quantities of mycelium structures. The research demonstrates the potential of mycelium as an ecologically sustainable building material, which, through its ability to grow, can fundamentally redefine the paradigm of contemporary construction, move towards carbon-neutral architecture and open new possibilities for the use of living materials in architecture.
Key words: mycelium, bio-composite, bio-fabrication, sustainable architecture, computational design

Abstrakt
Článok sa zaoberá výskumom, charakteristikou a možnosťami využitia mycélia ako bio-kompozitného materiálu v architektúre a stavebníctve. Mycéliové bio-kompozity (MBC)

[1] Adresa pracoviska: Ing. arch. Michal Križo, Ústav ekologickej a experimentálnej architektúry, Fakulta architektúry a dizajnu, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Námestie slobody 19, 812 45 Bratislava
E-mail: michal.krizo@stuba.sk

vznikajú procesom bio-fabrikácie, ktorý namiesto tradičnej priemyselnej výroby využíva rast materiálu ako prirodzený konštrukčný princíp. Výskum sa koncentruje na výhody aj slabé stránky MBC, na technologický potenciál aj výzvy i riziká spojené s kultiváciou, stabilizáciou a aplikáciou MBC v stavebnej praxi. Pozornosť je venovaná uplatneniu MBC v architektúre, typológii konštrukcií či procesu tzv. bio-zvárania, ktorý umožňuje tvorbu monolitických štruktúr. Praktická časť výskumu predstavuje experimentálny materiálový výskum a sled materiálových testov, rovnako ako vývoj experimentálneho softvérového nástroja CELLIA, vyvinutého v prostredí Rhino 8 + Grasshopper, určeného na automatizáciu návrhu, optimalizáciu produkcie tvárnic a výpočet materiálových výmer mycéliových konštrukcií. Výskum preukazuje potenciál mycélia ako ekologicky udržateľného stavebného materiálu, ktorý svojou schopnosťou rastu môže zásadne predefinovať paradigmu súčasného staviteľstva, smerovať k uhlíkovo neutrálnej architektúre a otvárať nové možnosti využitia živých materiálov v architektúre.
Kľúčové slová: mycélium, bio-kompozit, bio-fabrikácia, udržateľná architektúra, výpočtový dizajn

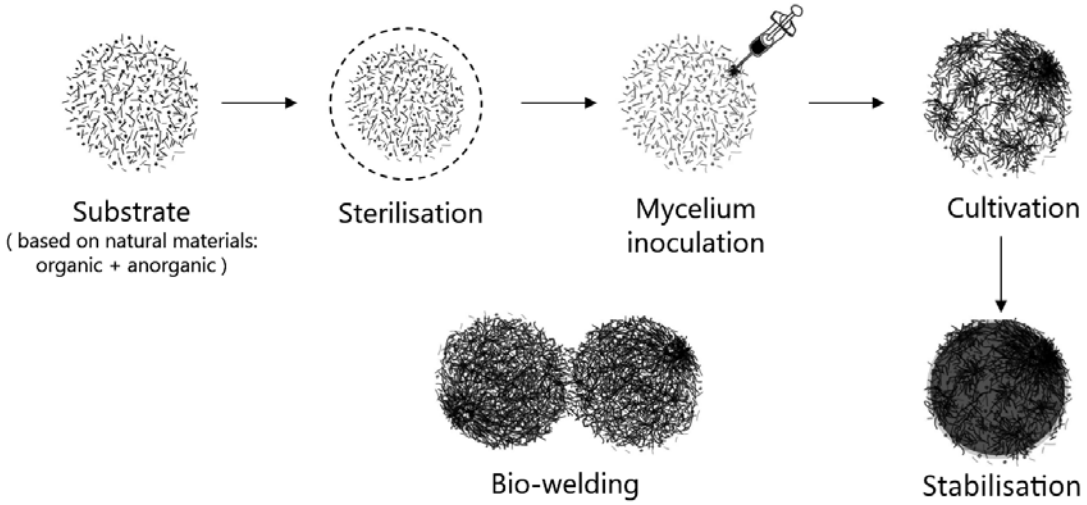
Úvod

Bio-kompozity predstavujú inovatívnu kategóriu materiálov, ktoré sa čoraz viac presadzujú v kontexte udržateľného rozvoja a environmentálne angažovanej architektúry. Tieto materiály sú štandardne tvorené prírodným spojivom a zosilňujúcou výplňou z prírodných vlákien, čo ich robí atraktívnou alternatívou ku kompozitom obsahujúcim umelé vlákna, ktorých výroba a použitie často vedie k problémom s likvidáciou odpadu po skončení životnosti. (Brandhof, Wösten, 2022) Proces výroby bio-kompozitov, nazývaný bio-fabrikácia, sa v poslednom desaťročí stal neoddeliteľnou súčasťou stratégií udržateľného rozvoja. Medzi najperspektívnejšie druhy bio-kompozitov súčasnosti patria materiály na báze mycélia, ktoré vytvárajú pevnú priestorovú sieť vlákien prostredníctvom rastu rozvetveného podhubia ligno-celulózovým substrátom. Po dosiahnutí požadovanej kvality a sily priestorovej štruktúry podhubia sa fáza rastu mycélia zastaví, čím vzniká stabilný materiál s výnimočnými vlastnosťami. Materiály na báze mycélia prinášajú potenciál zmeny paradigmy v produkcií kompozitov, založenej na raste materiálov namiesto ich tradičnej výroby (Sağlam, 2022).

Vlastnosti mycélia

Kompozity na báze mycélia (MBC) preukázateľne dokážu v stavebníctve nahrádzať penové, drevené a plastové izolácie, akustické panely, podlahy, jadrá dverných krídel aj prvky zariadenia budov (Sydor, 2021). Ich charakteristickými vlastnosťami sú nízka hustota (15–150 kg/m³) nízka tepelná vodivosť (0,05–0,07 W/mK) (Jones, 2020), vysoká akustická pohltivosť (až 0,8 pri frekvenciách 1000–4000 Hz) (Pelletier, 2013) a potenciálne aj požiarna odolnosť (dosahujúca triedu B podľa EN 13501-1) (Chulikavit, 2023). Obzvlášť vhodné sa ukazujú byť ako tepelné a akustické izolácie, kde ich výkonnosť často prevyšuje tradičné materiály. Vedľajším efektom ich kultivácie je recyklácia rastlinného odpadu z priemyselnej výroby (napr. drevených pilín, konopného pazderia a pod.), a do istej miery aj textilného odpadu.

Mycélium má v rámci bio-kompozitov univerzálny potenciál funkcie spojiva, keďže jeho koreňová štruktúra vykazuje silné adhézne vlastnosti. Môže byť využité ako spojivo nielen organických ale aj anorganických zmesí za predpokladu prítomnosti dostatku látok potrebných na jeho rast. (Lipińska, 2023)



Obr. 1 – Schéma procesu produkcie kompozitov na báze mycélia
Zdroj: Autor

Napriek uvedeným výhodám sú MBC v architektúre stále relatívne novým materiálom, ktorý vyžaduje dopĺňanie základného výskumu a testovania. V tomto smere bolo prezentovaných niekoľko výstupov, najčastejšie testov kombinácií rôznych substrátov a čeľadí mycélia. (Sağlam, 2022). Výskumy sa tiež zameriavali na mechanické vlastnosti (Jones, 2020), morfológiu a mechaniku (Islam, 2019), odolnosť v tlaku (Rigobello, Ayres, 2022), akustické vlastnosti (Pelletier, 2013), požiarnu odolnosť (Chulikavit, 2023), vplyv vlhkosti (Appels, 2019), rozložiteľnosť (Wylick, 2022) a tiež na estetiku vo vzťahu k architektúre a dizajnu (Sydor, 2021).

Kultivovanie mycélia

Mycélium je vegetatívna časť húb, ktorá pozostáva z rozvetveného podhubia - hýfy. Rast mycélia možno opísať ako hyfálny prienik substrátu, čo má za následok jeho zjednotenie do jedného celku podobné tuhnutiu betónu. (Sağlam, 2022) V procese kultivácie mycélia rozlišujeme tri fázy rastu: 1. Fáza stagnácie (nulový alebo veľmi malý rast, mycélium sa prispôsobuje novým podmienkam 2. Fáza exponenciálneho rastu (v prípade priaznivých podmienok) 3. Stabilizačná fáza (miera prírastku sa opäť blíži k nule a niektoré bunky môžu začať hynúť. (Vašatko, 2022)

Najdôležitejšími premennými v procese kultivácie je čas zrenia, typ huby, typ substrátu a charakter formy. Okruh druhov húb použiteľných na kultivovanie mycélia je veľmi široký a jeho výber môže závisieť od špecifických vlastností huby a želaných vlastností MBC. Širšie zoznamy testovaných druhov a ich vlastností opisujú vo svojich správach J. Brandhof a H. Wösten (Brandhof, Wösten, 2022) alebo tiež M. Sydor (Sydor, 2021) Základným všeobecne používaným druhom je Hliva ustricová, najmä kvôli jej dostupnosti,

vysokej odolnosti voči kontaminácii a schopnosti konzumovať a rásť v rozmanitých druhoch ligno-celulózových substrátov. (Vašatko, 2022)

Okruh substrátov, v ktorých je mycélium schopné rásť je tiež pomerne široký. Podhubie potrebuje pre svoj rast ligno-celulózový substrát. Ligno-celulóza označuje rastlinnú sušinu (inak biomasu), takzvanú ligno-celulózovú biomasu. Je to najhojnejšie dostupná surovina na Zemi používaná hlavne na výrobu biopalív. Skladá sa z dvoch druhov sacharidových polymérov - celulózy a hemicelulózy, a polyméru nazývaného lignín. Mycélium teda dokáže čerpať živiny z akéhokoľvek substrátu obsahujúceho ligno-celulózu. Je možné ho pestovať v drevených pilinách, drevnej štiepke, konopnom pazderí, kukuričných stonkách, slame, dokonca aj na textilnom odpade a na iných. Prímesami týchto substrátov môžu byť aj anorganické materiály typu piesok, zemina a kontexte vesmírneho výskumu aj regolit. Čím je substrát jemnejší, tým rýchlejšie ho mycélium prerastie a spevní. Počet kombinácií druhov húb a pomery jednotlivých častí substrátu sú spolu výslednými vlastnosťami MCB takmer bez limitné. (Madusanka, 2023)

Na výrobu produktov z MBC potrebujeme väčšine prípadov kultivačnú formu. Forma nemôže obsahovať ligno-celulózu, inak by huba metabolizovala aj na nej a pri vyberaní finálnej hmoty by prišlo k poškodeniu povrchu tvárnice. Termín forma môže označovať formu individuálnej tvárnice, ale aj debnenie monolitickej konštrukcie, viď. kapitola 2.4. Na tento účel sa najčastejšie používa plast, polystyrén, rôzne formy igelitu, prípadne geotextílie.

Stabilizácia mycélia

Zastavenie rastu mycélia nazývame stabilizáciou. Tento stav vo väčšine prípadov dosahujeme sušením. Teplota sušenia sa môže pohybovať na škále od izbovej teploty až po teplotu 100°C, pričom čas sušenia sa v závislosti od teploty pohybuje od niekoľkých hodín až po niekoľko dní. Sušenie MBC pri izbovej teplote hubu zvyčajne deaktivuje, ale nezabije. Napríklad vysušená huba typu Ganoderma dokáže vysušení pri izbovej teplote po roku opäť začať rásť. Oproti tomu sušenie pri teplote vyššej ako 60°C hubu zvyčajne usmrtí. Druhá možnosť zastavenia rastu mycélia je jeho vystavenie vplyvu ozónu.

Ak nastane úplná stabilizácia, MBC má nemenné vlastnosti. Ak nastane iba deaktivácia, teda neúplná stabilizácia, tak existuje možnosť, že si mycélium zachovalo životaschopnosť a za správnych podmienok by mohlo opäť začať rásť. Podmienkami sú správna vlhkosť, teplota a prítomnosť živín. Táto vlastnosť mycélia je pre aplikáciu v architektúre kľúčová. Označuje sa termínom „bio-zváranie“ (z angl. „bio-welding“). Výsledkom tohto procesu je skupina mycéliových tvárnic zrastená do jedného monolitického kusu. (Saporta, Clark, 2019)

Bio-zvárenie mycélia

Bio-zváranie odkazuje na jav, kedy mycélium prerastie hmotu oddelených kusov. materiálu, formujúc pevnú biologickú väzbu. Pevný spoj pôvodne oddelených kusov MBC teda nazývame bio-zváranie, alebo zmonolitnenie. Tento proces dokáže nastať iba pri biologicky aktívnom mycéliu a nenastáva pri MBC, ktorý prešiel procesom stabilizácie.

Aby proces bio-zvárania nastal, je nutné zabezpečiť nasledovné:

1. Adekvátnu úroveň vlhkosti na aktiváciu a udržanie rastu

2. Teplotu v rozmedzí 20-30°C
3. Kyslík pre aeróbny rast
4. Prítomnosť živín (lignínu alebo celulózy)

Táto vlastnosť mycélia môže byť využitá na:

- Opravy prasklín alebo poškodenia hmoty MBC substrátovou pastou so živým mycéliom
- Výrobu monolitických konštrukcii skladaním živých tvárnic alebo pridávaním aktívnej pasty z MBC medzi deaktivované tvárnice. Tento prístup umožňuje skladovanie tvárnic počas dlhšieho časového obdobia. (Brandhof, Wösten, 2022)
- Spájanie komplexnej priestorovej geometrie z prvkov ešte počas doby kultivácie a až následná stabilizácia celku.
- Previazanie mycélia s výstužou v prípade hybridných konštrukcii.

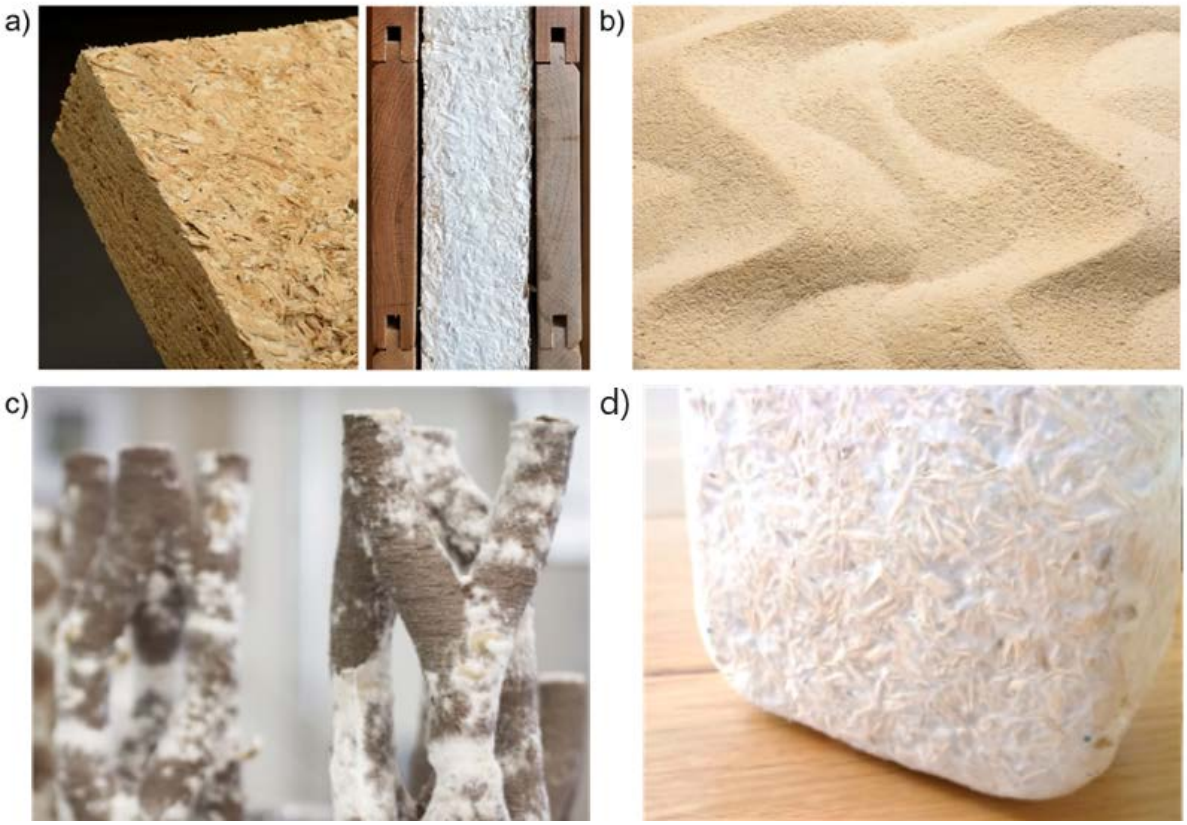
Kombináciou substrátu, druhu huby, spôsobu naplnenia formy, času zrenia a mierou stabilizácie dokážeme ovplyvňovať výsledné parametre tohto materiálu. Tento fakt umožňuje pestovať MBC líšiace sa vlastnosťami podľa výsledného zámeru a je tak možné štandardizovať postup produkcie konkrétnych typov výrobkov.

Produkty na báze mycélia

Výroba kompozitov na báze mycélia je uhlíkovo neutrálny proces s nízkou energetickou náročnosťou, ktorý už svojou podstatou zapadá a vhodne dopĺňa koncept cirkulárneho hospodárstva. Využiteľnosť kompozitov na báze mycélia je už teraz široká a nové možnosti aplikácie pribúdajú v nadväznosti na nové poznatky o konkrétnych typoch zloženia biokompozitu a o spôsoboch kultivácie. (Vašatko, 2022)

Trhovo dostupnými produktami na báze mycélia sú:

- obalový materiál (Ecovative)
- akustické, požiarne, výplňové izolácie a podlahy (MOGU)
- mycéliová koža a textil pre módu či automobilový priemysel (poťahy Ecovative)
- kolekcie odevov (Reishi™ Natural)
- obuv (topánky Adidas Stan Smith Mylo)
- interiérový nábytok (stolička MYCOsella)
- súčasť elektrotechnických produktov (reprodutory Mycoaudio)
- športové doplnky (helma na bicykel MOM, Monolithic Mycelium Canoe)



Obr. 2 – Ukážky produktov na báze MBC: a) Protipožiarna izolácia b) Dekoratívny akustický panel c) 3D tlačená štruktúra d) Tepelnoizolačný blok
Zdroj: a,b) Jones, 2020, c) MyCera - www.3dwasp.com, d) Archív autora

Architektúra na báze mycélia

Architektúra využívajúca mycéliové bio-kompozity sa v posledných rokoch formuje ako nová experimentálna disciplína na priesečníku biológie, experimentálneho dizajnu, logistiky produkčného rastu a parametrického projektovania konštrukcie. Veľký počet doteraz realizovaných projektov začínal formou čiastkových stavebných aplikácií, kde sa mycéliové materiály používali najmä ako izolačné, akustické či dekoratívne prvky v kombinácii s tradičnými stavebnými systémami. V súčasnosti sa objavuje čoraz viac realizácii, ktoré sa sústreďujú na komplexné mycéliové konštrukcie. Trend vývoja sa hýbe od stavieb dočasných pavilónov, umeleckých inštalácií či experimentálnych štruktúr prezentovaných v rámci medzinárodných výstav alebo vedeckých konferencií, smerom k mycéliovým materiálom plne integrovaným do architektúry trvalo slúžiacich objektov. (Vašatko, 2022; Dessi-Olive, 2022) Tieto experimenty odhaľujú potenciál mycélia ako materiálu, ktorý dokáže „rásť“ do preddefinovaných foriem, biologicky sa viazať s ostatnými komponentmi a vytvárať tak konštrukcie s vlastnými ekologickými a estetickými hodnotami. Architekti skúmajú, ako možno mycéliové materiály kombinovať s drevo-kompozitmi, textilnými nosnými štruktúrami či parametricky navrhovanými formami výpočtového dizajnu. Významnou témou je aj vplyv biologického materiálu na vnímanie priestoru, dizajn interiéru a umelecký výraz stavby, čo dokumentujú práce autorov ako Sydor (2021).

Z realizovaných projektov stoja za pozornosť Growing Pavilion (2019), ktorý predstavil mycéliový kompozit ako funkčný fasádny prvok, či Chart Art Fair Pavilion (2022), kde bolo mycélium kultivované priamo na hybridnej textilno-drevenej konštrukcii. Subtílnu drevo-mycéliovú hybridnú konštrukciu s čitateľnou tektonikou predstavil aj výstavný objekt Myco Tree (2017) a ikonický pavilón Hy-Fi (2014) zase ako jeden z prvých demonštroval priestorovo odvážnu škálu možností výstavby z mycéliových tehál. Na niektorých projektoch, napríklad Monolito Micelio (2018) vidno snahu prepojiť biologicky rastúci materiál s digitálnym návrhovým procesom a zase na iných, napr. na pavilóne od Myceen a EKA PAKK (2025) môžeme sledovať krok k štandardizácií využitia MBC ako alternatívy konvenčných tepelnoizolačných materiálov v obvodových sendvičových konštrukciach.

Ďalšie významné realizácie pochádzajú od autorov Yassin Arredia Design (2017), Studio Karenbeek (2019), Rensselaer Polytechnic (2019), Carlo Ratti (2019), David Benjamin (2019) či Anna Goidea (2020), ktorí svojimi projektmi prinášajú rôzne prístupy k aplikácii živého materiálu – od pavilónov a módnych inštalácií až po koncepty urbanistického pestovania konštrukcií.

Tieto prístupy poukazujú na rastúci záujem o mycélium ako o stavebný aj estetický fenomén, ktorý otvára otázky o tom, ako možno spojiť rast biologického organizmu s rastom architektonického objektu. V tomto smere je výskum interdisciplinárny a zahŕňa nielen architektov, dizajnérov a stavených inžinierov, ale aj bio-technológov či ekológov.

Obr. 3 – Príklady uplatnenia MBC v architektúre: 1. Growing Pavilion (2019), 2. Myco Tree (2017), 3. Pavilón Hy-fi (2014), 4. Chart Art Fair Pavilion (2022)
Zdroj: 1. Joakim Züger/Barks Projects, 2. Sustainable Construction, Karlsruhe Institute of Technology, 3. Cecil Barnes, 4. Joakim Züger/Barks Projects

Typológia mycéliových konštrukcií

Z analýzy výskumov, realizácii a príkladov vieme odvodiť nasledovné typologické delenie aplikácii MBC:

1) Z hľadiska typu konštrukcie:
   - T1. Zložená z komponentov;
   - T2. Zložená z komponentov dodatočne monolitnených,
   - T3. Monolitinená v jednom kuse vo forme
2) Z hľadiska prenosu síl v konštrukcii:
   - K1. Nosné (napr. samonosné konštrukcie z MBC tehál)
   - K2. Hybridné (kombinácie MBC a iných materiálov napr. na posilnenie odolnosti v ťahu)
   - K3. Nenosné obalové a výplňové (tepelnoizolačná obálka, nenosné priečky, podlahy, akustické izolácie a pod.)
3) Z hľadiska spôsobu kultivácie:
   - F1. Kultivácia monolitov v debnení
   - F2. Kultivácia tvárnic vo formách
   - F3. Aditívna výroba tvárnic (3D tlač)
   - F4. Substraktívna výroba tvárnic (Zrezávanie a frézovanie)
   - F5. Hybridná-aditívna výroba tvárnic (Aditívna výroba s dodatočnou úpravou povrchu)

Mycélium vo vzťahu ku zdraviu človeka

Zhodnoteniu vplyvu mycélia na ľudský organizmus sa venovali nasledovné štúdie:

- riziká materiálov z húb (Brandhof, Wösten, 2022)
- potenciál mycélia v medicínskych aplikáciách (Antinori, 2021)
- efekt biologicky aktívnych mycéliových zmesí na zdravie človeka (Rousta, 2023)

Vyššie uvedené štúdie spoločne naznačujú, že MBC sa vo všeobecnosti považujú za človeku bezpečné, s nízkou toxicitou, dokonca s potenciálnymi prínosmi pre ľudské zdravie. Predpokladom je správna voľba kultivačnej zmesi, druhu huby, spôsobu kultivácie a finálneho spracovania.

Riziká a nevýhody mycéliových konštrukcií

Materiály na báze mycéliových bio-kompozitov (MBC), hoci disponujú značným ekologickým a technologickým potenciálom, nesú so sebou aj viacero rizík, ktoré je potrebné starostlivo vyhodnocovať pri ich praktickej aplikácii. Jedným z najvýraznejších problémov je riziko kontaminácie a znehodnotenia substrátu počas fázy kultivácie, keďže rast mycélia vyžaduje špecifické mikrobiologické prostredie s presne nastavenými podmienkami vlhkosti, teploty a pH. Nedbalé zachádzanie, nečistoty alebo prítomnosť cudzích mikroorganizmov môžu spôsobiť narušenie rastu, degradáciu materiálu či úplnú nefunkčnosť výslednej kompozitnej štruktúry. Ďalším rizikom je znehodnotenie nestabilizovaných MBC pri vystavení externým vplyvom, akými sú vlhkosť, nevyrovnané teploty či priamy kontakt s vodou alebo biologicky aktívnou pôdou. Takéto prostredie môže u nedostatočne

stabilizovaných konštrukcií podporiť opätovný rast mycélia, čo vedie k deformáciám alebo k postupnému rozpadu materiálu.

Pri návrhu a výrobe treba počítať aj s možným rizikom mechanického poškodenia konštrukcie, najmä pri pôsobení veľkých vnútorných síl výstuže alebo pri manipulácii s monolitnými blokmi. Ďalšou nevýhodou sú nároky na množstvo manuálnej práce súvisiace s prípravou optimálneho substrátu a ďalšie manipulačné práce počas celého procesu kultivácie, ktoré môžu zahŕňať sekanie, mletie, sušenie či triedenie surovín, prípravu foriem, sterilizáciu, dezinfekciu, plnenie foriem, manipuláciu s formami, dohľad, vyklápanie, demontáž a čistenie. Dôležité je zohľadniť aj fakt, že sa pri formovaní tvárnic často používajú plastové formy, ktorých likvidácia či recyklácia znižuje environmentálny prínos MBC ako plne biologicky rozložiteľného materiálu.

Z technického hľadiska stojí za zmienku aj relatívna slabosť samotného materiálu, keďže jeho priemerná pevnosť v tlaku sa pohybuje v rozmedzí 0.1–0.2 MPa bez dodatočnej kompresnej úpravy. Takéto hodnoty sú nižšie než u tradičných stavebných materiálov, čo obmedzuje použitie MBC v staticky náročnejších aplikáciách. Na druhej strane sa tento limit vyvažuje extrémnou ľahkosťou materiálu, ktorá zlepšuje pomer medzi pevnosťou a hmotnosťou, čím vzniká zaujímavá alternatíva k betónovým konštrukciám. Z toho vyplýva, že aj veľko-rozmerové konštrukcie – hoci s obmedzením pevnosti – môžu byť pri správnom návrhu realizovateľné. Napriek vyššie uvedeným rizikám ostávajú mycéliové materiály perspektívne a väčšina uvedených nevýhod sa dá eliminovať prostredníctvom technického zdokonalenia procesu pestovania, precíznej stabilizácie a vývoja kompozitných hybridov, ktoré ich štruktúru mechanicky posilňujú. (Dessi-Olive, 2022)

Výskumné experimenty

V rámci výskumných experimentov budú realizované nasledovné pokusy zamerané na hodnotenie vlastností a správania MBC v rôznych podmienkach. Experimentálna produkcia MBC tvárnic bude doplnená testovaním ich mechanických i fyzikálnych vlastností, na čo budú nadväzovať testy odolnosti voči vplyvu prostredia s vysokou relatívnou vlhkosťou a po očkovaní mikroskopickými hubami. Uvedené umožní posúdiť dlhodobú stabilitu testovaných materiálov a schopnosť odolať mikrobiálnej degradácii, resp. pomôže stanoviť okrajové podmienky ich použitia. Súčasťou výskumu bude aj základné testovanie emisií prchavých organických zlúčenín (VOC) z MBC, pričom budú porovnávané emisné profily rôznych zložení materiálov. Tieto experimenty poskytnú detailnejší prehľad o správaní sa a potenciáli MBC pre aplikácie v architektúre či interiérovom dizajne.

A. <u>Experimentálna produkcia MBC tvárnic</u>

Testovacie vzorky MBC budú vyrobené lokálne s použitím bežne dostupných ligno-celulózových zdrojov na Slovensku. Výrobný proces bude pozostávať z nasledovných krokov: Príprava surovín - Sterilizácia - Inokulácia - Fáza kultivácie - Fáza rastu – Stabilizácia sušením. Ako zdroje ligno-celulózy budú použité dva základné substráty: 1) Konopné pazderie (poľnohospodársky vedľajší produkt spracovania konopných vlákien) 2) Drevené piliny (odpadový materiál vznikajúci v drevospracujúcom priemysle). Oba substráty boli vybrané kvôli ich lokálnemu výskytu na Slovensku a

ich potenciálu zhodnocovať sekundárne priemyselné vedľajšie produkty. Z týchto základných substrátov bude pripravených 20 rôznych materiálových zmesí pridaním: a) textilného odpadu b) Ílu (kaolínu) c) Jemného kameniva (malá frakcia (do max. 2 mm)) Z týchto prísad bude vytvorených 20 finálnych substrátových zmesí pre ďalšie materiálové experimenty.

Priebeh experimentu bude nasledovný: Všetky substrátové zmesi budú umiestnené do tepelne odolných vreciek a sterilizované v autokláve počas 12 hodín pri teplote 120 °C. Nasledovať bude inokulácia, ktorá sa uskutoční s použitím zrnového podhubia Ganoderma lucidum (huba Reishi), druhu známeho svojou rýchlou kolonizáciou a štrukturálnou robustnosťou pri tvorbe kompozitu. Po inokulácii budú substráty inkubované v polyetylénových vreckách s prístupom kyslíka počas doby 3 týždňov.

Plnenie foriem

Plnenie foriem nastane po dostatočnom prerastení substrátu mycéliom, približne 3 - 4 týždne po začiatku kultivačného procesu. Pred samotným plnením bude prerastený substrát manuálne rozdrobený, aby sa predišlo veľkým zhlukom, ktoré by mohli ohroziť štrukturálnu homogenitu vo výslednom kompozite. Substrát bude následne vložený do uzavretých plastových foriem, ktorá však nebudú hermeticky uzavreté. Toto opatrenie umožní výmenu kyslíka a vlhkosti cez malú medzeru medzi viečkom a telesom formy.

Fáza rastu

Fáza rastu sa uskutoční v plastových formách vyrobených z bežne dostupného potravinárskeho plastu. Počas inkubačnej fázy formy sa vzorky uschovajú v tme pri izbovej teplote približne 21 °C a budú chránené pred priamym aj difúznym svetlom.

Sušenie a stabilizácia

Celkové množstvo 90 vzoriek MBC sa bude postupne (podľa kapacity sušičky) sušiť v sušiacej a vyhrievacej peci BINDER FD056 s cirkulujúcim vzduchom v približne 24-hodinových cykloch pri stabilnej teplote 70 °C. Čas sušenia sa upresní a odhadne na základe prvých testovacích sušiacich postupov. Hmotnosť každej vzorky sa pred sušením odmeria a vzorka sa bude považovať za vysušenú, keď sa jej hmotnosť prestane znižovať.

B. Testovanie mechanických vlastností MBC tvárnic

Testovanie pevnosti MBC materiálov na pevnosť v tlaku a v ohybe.

C. Testovanie fyzikálnych vlastností MBC

Dokumentácia váhy, hustoty a koeficientu tepelnej vodivosti jednotlivých vzoriek MBC.

D. Testovanie správania MBC v prostredí s vysokou relatívnou vlhkosťou
Správanie sa vzoriek kompozitu na báze mycélia pri rôznych úrovniach relatívnej vlhkosti, porovnávajúc prostredie s vysokou vlhkosťou (95 %) so štandardnými vnútornými podmienkami (40 %). Toto skúmanie identifikuje extrémnu hranicu použiteľnosti MBC v interiéri budov a vyhodnotí ich potenciál pre systematickú integráciu do komplexných štrukturálnych systémov.

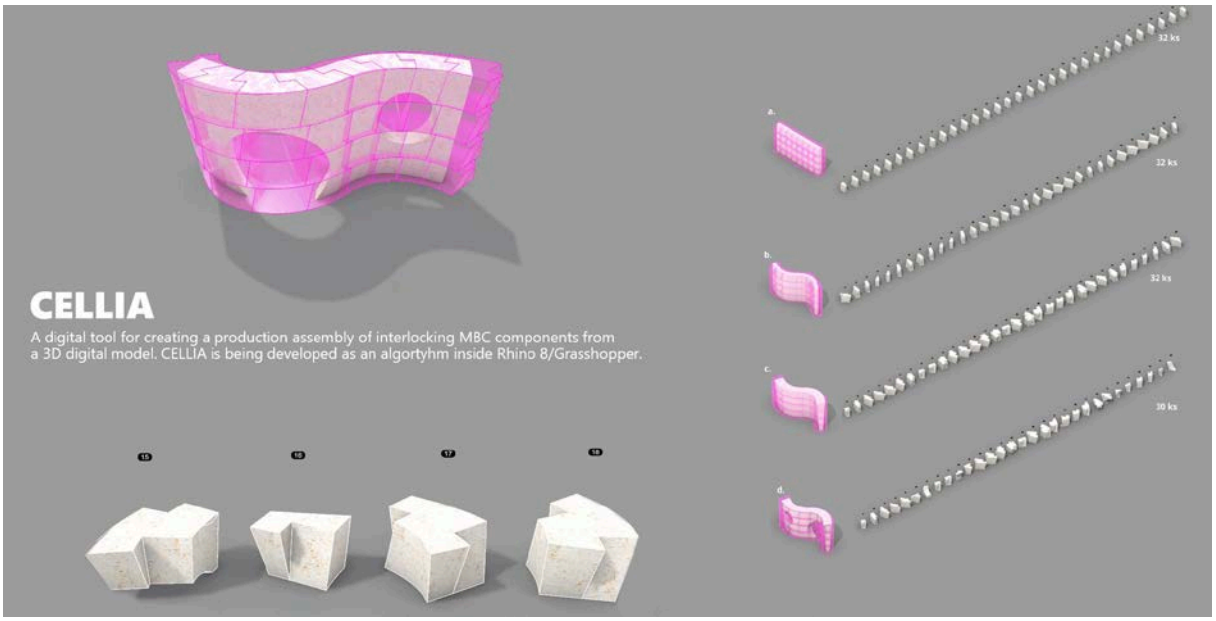
E. Testovanie správania MBC v prostredí s vysokou relatívnou vlhkosťou po zaočkovaní a inkubácii mikroskopických húb (tzv. plesní)
Experiment skúma rast a správanie hubových kultúr (Penicillium sp., Aspergillus niger a Cladosporium sp.) naočkovaných na rôznych testovacích vzorkách MBC. Plánované činnosti: príprava vzoriek, denné merania teploty a hodnôt relatívnej vlhkosti, kvantifikácia mikrobiálnych spór.

F. Testovanie emisií prchavých organických zlúčenín (VOC) z MBC
Predbežné testovanie emisií prchavých organických zlúčenín (VOC) z MBC pomocou mikrokomorového tepelného extraktora, po ktorom bude nasledovať analýza plynovou chromatografiou s hmotnostnou spektrometriou (GC-MS), porovnávajúca profily emisií VOC v rôznych zloženiach materiálov MBC.

Vývoj nástroja CELLIA

Nástroj CELLIA predstavuje experimentálny softvérový systém vyvíjaný v rámci dizertačného výskumu ako digitálna pomôcka určená pre architektov a dizajnérov, ktorí pracujú s konštrukciami z mycéliových bio-kompozitov. Ide o algoritmus vytvorený v rozhraní programov Rhino 8 a Grasshopper, ktorého cieľom je zásadne zjednodušiť a urýchliť proces návrhu, konštrukčnej optimalizácie a produkcie foriem pre pestovanie mycéliových tvárnic. CELLIA dokáže automaticky spracovať digitálny hmotový model architektúry a rozdeliť ho na jednotlivé komponenty podľa geometrických a výrobných parametrov, čím eliminuje prácne manuálne operácie typické pre prípravu formy či výpočet materiálovej spotreby.

Vývoj prebieha formou iterácií, počas ktorých sa do systému postupne integrujú nové funkcionality, napr. schopnosť algoritmu reflektovať priestorové zakrivenie objektov, generovať kalkulácie výmer v reálnom čase, . Finálna verzia môže byť vydaná ako rozšírenie programu Rhino s vlastným užívateľským rozhraním. V ďalšom kroku je možné vyvinúť prepojenie na BIM modely, LCA/LCC výpočty či priamy export modelov vo formáte potrebnom pre 3D tlač formových komponentov. CELLIA tak predstavuje spojenie biologicky inšpirovanej architektúry, stavebnej automatizácie a softvérovej inteligencie, otvárajúce cestu k navrhovaniu stavieb z mycéliových materiálov.



Obr. 4 – Náhľad na výstup algoritmu CELLIA v digitálnom 3D priestore rozhrania Rhino8
Zdroj: Autor

Záver

Mycélium ako bio-kompozitný materiál je živý organizmus so stavebným potenciálom. Dokáže rásť, spájať sa, replikovať a zároveň prináša nový pohľad na stratégiu produkcie materiálov. Výskum MBC a vývoj CELLIE dokazujú, že v budúcnosti môže byť architektúra nielen dizajnérsko-konštruktérsky, ale aj biologicky riadený proces, v ktorom sa rast stáva výrobnou metódou. Zavádzanie mycélia do stavebnej praxe predstavuje intelektuálny most medzi prírodou a technológiou, otvárajúci perspektívu udržateľnej a prispôsobivej architektúry.

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
doc. Ing. arch. Henrich Pifko, PhD.

Použitá literatúra

1. ANTINORI, M. et al. 2021. Advanced mycelium materials as potential self-growing biomedical scaffolds. In Scientific Reports. [online]. Volume 11, č. 12630 [cit. 10.10.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91572-x>. ISSN 2045-2322
2. APPELS, F. et al. 2019. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. In Materials & Design. [online]. Volume 161, Január [cit. 10.10.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>. ISSN: 1873-4197
3. BRANDHOF, J. - WÖSTEN, A. 2022. Risk assessment of fungal materials. In Fungal Biology and Biotechnology. [online]. Volume 9, č. 3 [cit. 5.8.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1186/s40694-022-00134-x>. ISSN: 2054-3085
4. CHULIKAVIT, N. et al. 2023. Fireproofing flammable composites using mycelium: Investigating the effect of deacetylation on the thermal stability and fire reaction properties of mycelium. In Polymer Degradation and Stability. [online]. 2023, Volume 215, September [cit. 10.9.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110419> . ISSN: 1873-2321

5. DESSI-OLIVE, J. 2022. Strategies for Growing Large-Scale Mycelium Structures. In Biomimetics. [online]. 2022, Volume 7, Issue 3 [cit. 03.07.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030129>. ISSN 2313-7673
6. ISLAM, M. et al. 2019. Morphology and mechanics of fungal mycelium. In Scientific Reports. [online]. Volume 7, č. 13070 [cit. 1.11.2025]. Dostupné na internete: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-13295-2>. ISSN 2045-2322
7. JONES, M. et al. 2020. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. In Materials & Design. [online]. Volume 187, February 2020 [cit. 25.10.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>. ISSN: 1873-4197
8. LIPIŃSKA, M. et al. 2023. Space Architecture, Biotechnology, and Parametric Processes. In Proceedings of the 43rd annual conference of the association for computer aided design in architecture. Volume II: proceedings book one [online]. Tenesee : IngramSpark [cit. 10.08.2025]. Dostupné na internete: <http://acadia.org/news/JP3CZZ> ISBN 979-8-9860805-9-8 , s. 104-115.
9. MADUSANKA, CH. et al. 2023. A review of recent advances in fungal mycelium based composites. In Discover Materials. [online]. Volume 4, č. 13 [cit. 1.11.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00084-8>. ISSN 2730-7727
10. PELLETIER, M. et al. 2013. An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown onagricultural by-product substrates. In Industrial Crops and Products. [online]. Volume 51, November [cit. 10.10.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.008>. ISSN: 1872-633X
11. RIGOBELLO, A. - AYRES, P. 2022. Compressive behaviour of anisotropic mycelium-based composites. In Scientific Reports. [online]. Volume 12, č. 6846 [cit. 9.9.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10930-5>. ISSN 2045-2322
12. ROUSTA, N. et al. 2023. Effects of fungal based bioactive compounds on human health: Review paper. In Critical Reviews in Food Science and Nutrition. [online]. Volume 64, Issue 20 [cit. 08.08.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2178379>. ISSN: 1549-7852
13. SAĞLAM, S. et al. 2022. An experimental study on production opportunities of biocomposite by using fungal mycelium. In Journal of design for resilience in architecture & planning. [online]. roč. 3, č. 2 [cit. 6.11.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.47818/DRArch.2022.v3i2056>. E-ISSN: 2757-6329
14. SAPORTA, S. – CLARK, M. (7 – 10 Október 2019). “Bio-Welding” of Mycelium-based Materials. [abstrakt z konferenčnej prezentácie]. IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019, Barcelona, Spain. Dostupné na internete: <https://congress.cimne.com/Formandforce2019/admin/files/fileabstract/a897.pdf>.
15. SYDOR, M. et al. 2021. Mycelium-Based Composites in Art, Architecture, and Interior Design: A Review. In Polymers. [online]. roč. 14, č. 1 [cit. 10.9.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/polym14010145Z089>. ISSN 2073-4360
16. VAŠATKO, H. et al. 2022. Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites. In Biomimetics. [online]. roč. 7, č. 51 [cit. 26.10.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020051>. E-ISSN 2313-7673
17. WYLICK, A. et al. 2022. Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil. In Construction Technologies and Architecture. [online]. roč. 1, č. 51 [cit. 06.11.2025]. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/CTA.1.652>. ISSN: 2674-1237

Mladá veda

Young Science

ISSN 1339-3189