

Marko STAVREV

Micelij kot prihodnost gradbeništva – trajnostni materiali v arhitekturnem oblikovanju

Zaradi današnje uporabe netrajnostnih materialov v gradbeništvo bo arhitekturna stroka v prihodnosti soočena z velikimi izzivi. Večina zdaj uporabljenih materialov v gradbeništvo ni primerna za reciklažo ali ponovno uporabo, kar vodi v onesnaževanje okolja in izčrpavanje naravnih virov. Naravni material, kot je podgobje (micelij), je obetavna rešitev, saj gre za obnovljivo, biorazgradljivo možnost z nizkim ogljičnim odtisom. Z izrabo dobrih lastnosti podgobja je mogoče ustvariti nove trajnostne izdelke in polizdelke za uporabo v gradbeništvo. Poleg raziskovanja procesa gojenja micelija kot gradbenega materiala ter proučevanja njegovih lastnosti in prednosti je v strokovnem članku predstavljeno tudi arhitekturno oblikovanje industrijskega obrata za izdelavo biokompozitov. Proces raziskovanja je vključeval tudi izdelavo maket in laboratorijsko testiranje, kar je omogočilo poglobljen vpogled v proizvodni proces izdelkov iz

micelija. Cilj članka je prikazati prednosti uporabe novih trajnostnih materialov in predstaviti primer zasnove industrijskega obrata, v katerem bi lahko proizvajali take materiale. Obrat bi vključeval tudi laboratorij in center za obiskovalce, namenjen raziskovanju procesa gojenja in proizvodnji gradbenih izdelkov in polizdelkov iz micelija. Arhitekturne odločitve so rezultat raziskovanja lastnosti micelija kot gradbenega materiala, kar se izraža v modularni zasnovi, pri kateri se kombinirata les in micelij. Ta premišljena zasnova omogoča prilagodljivo in trajnostno gradnjo, ki izkorišča prednosti micelija in odgovarja na potrebe proizvodnega procesa in umestitve v okolje.

Ključne besede: arhitektura, industrija, micelij, lesena gradnja, recikliranje

1 Uvod

Arhitekturna stroka se v hitro spreminjajočem se svetu sooča z velikimi izzivi, predvsem zaradi stalne uporabe netrajnostnih materialov v gradbeništvo. Samo v Evropi gradbeni sektor ustvari približno 40 % vseh odpadkov, ki večinoma končajo na odlagališčih, kar še dodatno poslabša okoljske probleme v regiji (Evropska komisija, 2024). Z naraščajočimi potrebami po gradnji postajajo pomanjkljivosti konvencionalnih materialov vse očitnejše. Številni od teh materialov niso primerni za reciklažo ali ponovno uporabo, kar vodi v izčrpavanje naravnih virov in onesnaževanje okolja. Vedno več pozornosti pridobivajo novi, okolju prijaznejši materiali. Med njimi je tudi micelij, iz katerega se lahko izdelujejo obnovljive, biorazgradljive možnosti z nizkim ogljičnim odtisom. Zaradi edinstvenih lastnosti micelija je ta material odličen za ustvarjanje trajnostnih izdelkov in polizdelkov v gradbeništvo.

Gradbeni odpadki so pogosto spregledan vir z velikim potencialom, saj ostanki rušenja in gradnje ponujajo priložnosti za inovacije. Namesto da bi te materiale obravnavali kot neuporaben odpadek, lahko postanejo ključni viri za trajnostno

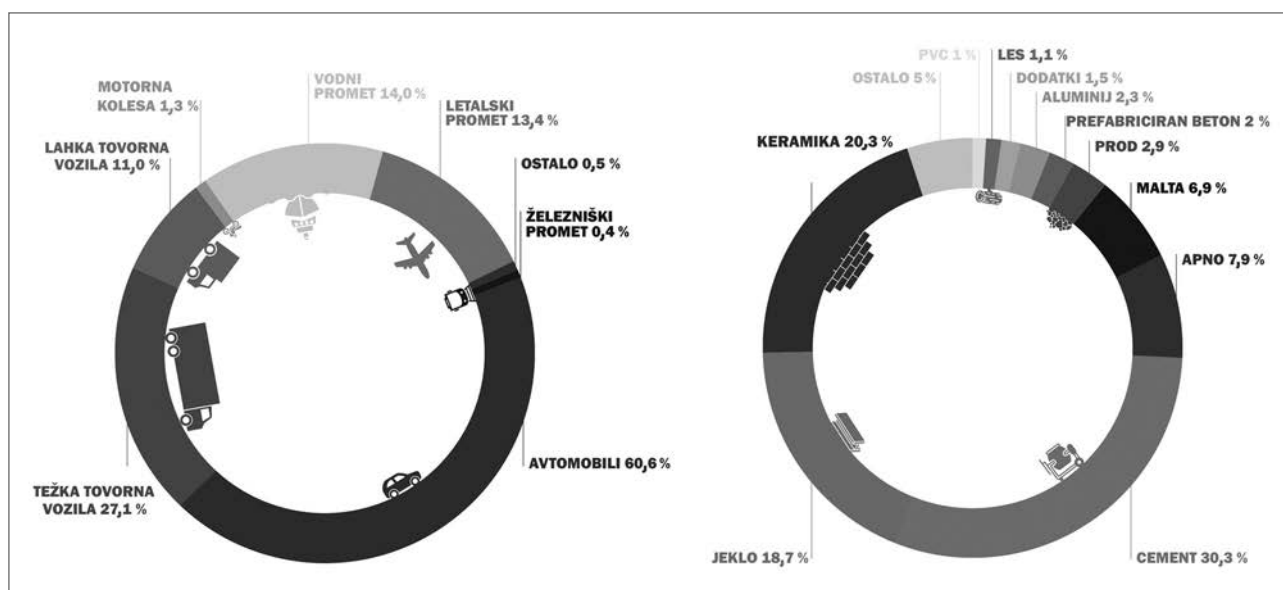
gradnjo. Beton, opeka, kovina in les iz ruševin se lahko ponovno uporabijo ali reciklirajo, kar zmanjšuje potrebo po novih surovinah in okoljski vpliv gradbeništva. Izziv je v spremembi našega dojemanja: na odpadke se ne sme gledati kot na konec, ampak kot na začetek. Odpadki niso stranski produkt, temveč so ključni element krožnega gospodarstva (Evropska komisija, 2024).

2 Sodobni problemi

V obdobju, ko tehnologija napreduje z neverjetno hitrostjo in vsakdanji predmeti postajajo vse naprednejši, naše grajeno okolje zaostaja. Arhitektura, nekoč znak napredka človeštva, je danes žal ujeta v stalnem ponavljanju vzorcev, ki so ostanki preteklega obdobja. Medtem ko so avtomobili že opremljeni z umetno inteligenco in obnovljivimi energetske sistemi, so zgradbe še vedno večinoma zgrajene ali se gradijo iz materialov, ki prispevajo k skoraj 11 % globalnih emisij ogljika (Maine Passive House, 2023). Ta resničnost nas sili, da se soočimo s kritičnim vprašanjem, zakaj sprejemamo gradnjo mest, ki izčrpavajo



Slika 1: Delež emisij CO₂ po sektorjih (levo) in delež odpadkov po sektorjih (desno) (vir: lastni vir)

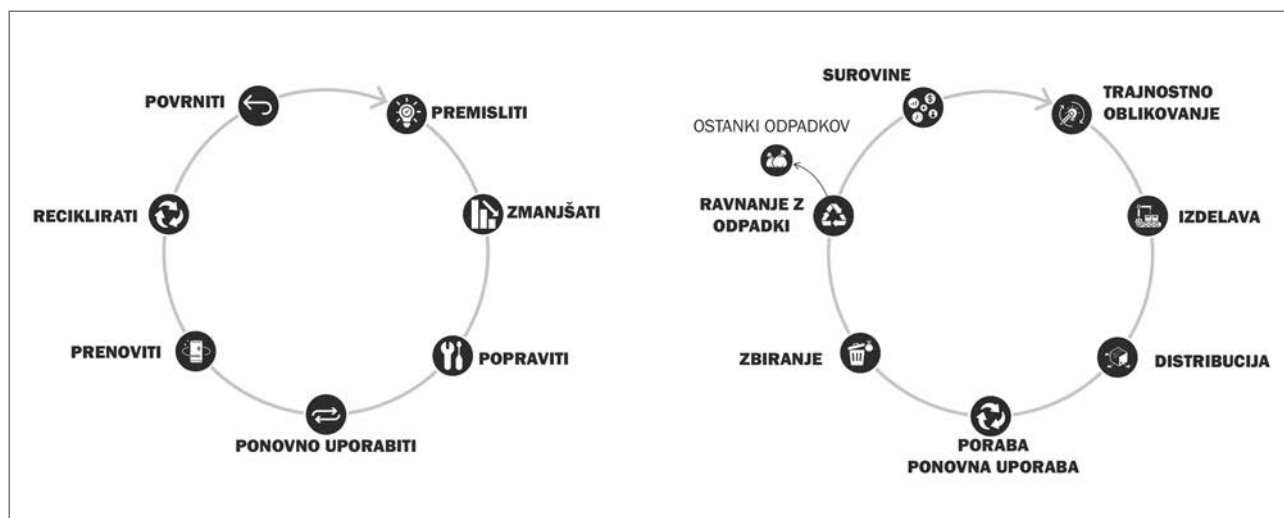


Slika 2: Delež emisij CO₂ v prometu po sektorjih (levo) in delež ustvarjenih odpadkov na material (desno) (vir: lastni vir)

neobnovljive vire, od katerih smo odvisni. S pospeševanjem urbanizacije postajajo razpoke v našem zdajšnjem pristopu vse očitnejše. Odpadki so ena najnujnejših težav našega časa, stranski produkt potrošništva in industrializacije. Po svetu vsako leto nastane več kot 2 milijardi ton komunalnih odpadkov (ang. *municipal solid waste* oziroma MSW), in če se bo zdajšnji trend nadaljeval, se bo ta številka do leta 2050 povečala na 3,4 milijarde ton. Obseg problema z odpadki je osupljiv, saj se odlagališča neprestano širijo, da bi sprejela vse večje količine smeti (Kaza idr., 2018). Rešitev lahko najdemo v uporabi organskih materialov, kot je micelij. To je podzemni del glive, sestavljen iz tankih nitastih struktur. Je obnovljiv, biorazgradljiv in z nizkim ogljičnim odtisom. V gradbeni stroki je zanimiv zaradi zmožnosti, da organske odpadke pretvori v uporabne gradbene

materiale. Ta naravni proces omogoča trajnostno izkoriščanje odpadkov in zmanjšuje vpliv gradbeništva na okolje.

Emisije CO₂ so razporejene med različne sektorje: transport prispeva 23 %, stavbe 28 %, industrija 30 %, gradbeni materiali 11 %, medtem ko drugi sektorji prispevajo 9 %. Zmanjšanje emisij v vsakem od teh sektorjev je ključno za celostno zmanjšanje ogljičnega odtisa in obvladovanje podnebnih sprememb. Skupna prizadevanja za povečanje energetske učinkovitosti, prehod na obnovljive vire energije in inovacije v industriji so ključni za uspešno zmanjšanje globalnih emisij CO₂ (Maine Passive House, 2023). Učinkovito upravljanje odpadkov v gradbeništvu zahteva izvajanje trajnostne prakse, uporabo materialov z manjšim okoljskim vplivom in spodbujanje recikli-



Slika 3: Načela 7 R (levo) in načela krožnega gospodarstva (desno) (vir: lastni vir)

ranja. Prav tako je ključno usmeriti prizadevanja v zmanjšanje negativnih vplivov odpadnih voda z ustreznim ravnanjem in čiščenjem industrijskih odtokov. V proizvodnji in gospodinjstvih je treba spodbujati uvajanje zelenih tehnologij za odgovornejše ravnanje z viri (Eurostat, 2023).

Transport je sektor, v katerem so se emisije toplogrednih plinov med letoma 1990 in 2019 povečale za 33,5 %. Največji delež izhaja iz cestnega prometa, predvsem osebnih in tovornih vozil, ki delujejo na fosilna goriva, kot sta bencin in dizel. Emisije se povečujejo z daljšimi razdaljami, težkim tovorom, neučinkovitimi motorji in uporabo neobnovljivih virov energije (Evropski parlament, 2019).

Gradbeništvo je sektor, ki porablja različne materiale, ki so iz več virov. Cement in jeklo (na primer armatura), ki sta del materialov, uporabljenih v gradbeništvu, se kombinirata in tvorita material, imenovan armirani beton. Na splošno je ta tesno povezan s strukturo stavbe, kar velja za nizke in visoke stavbe. Emisije CO₂ pri uporabi armiranega betona nastajajo zaradi porabe goriva v opremi za betoniranje, kot so stolpni žerjavi in betonske črpalke (Bock in Piroozfar, 2015).

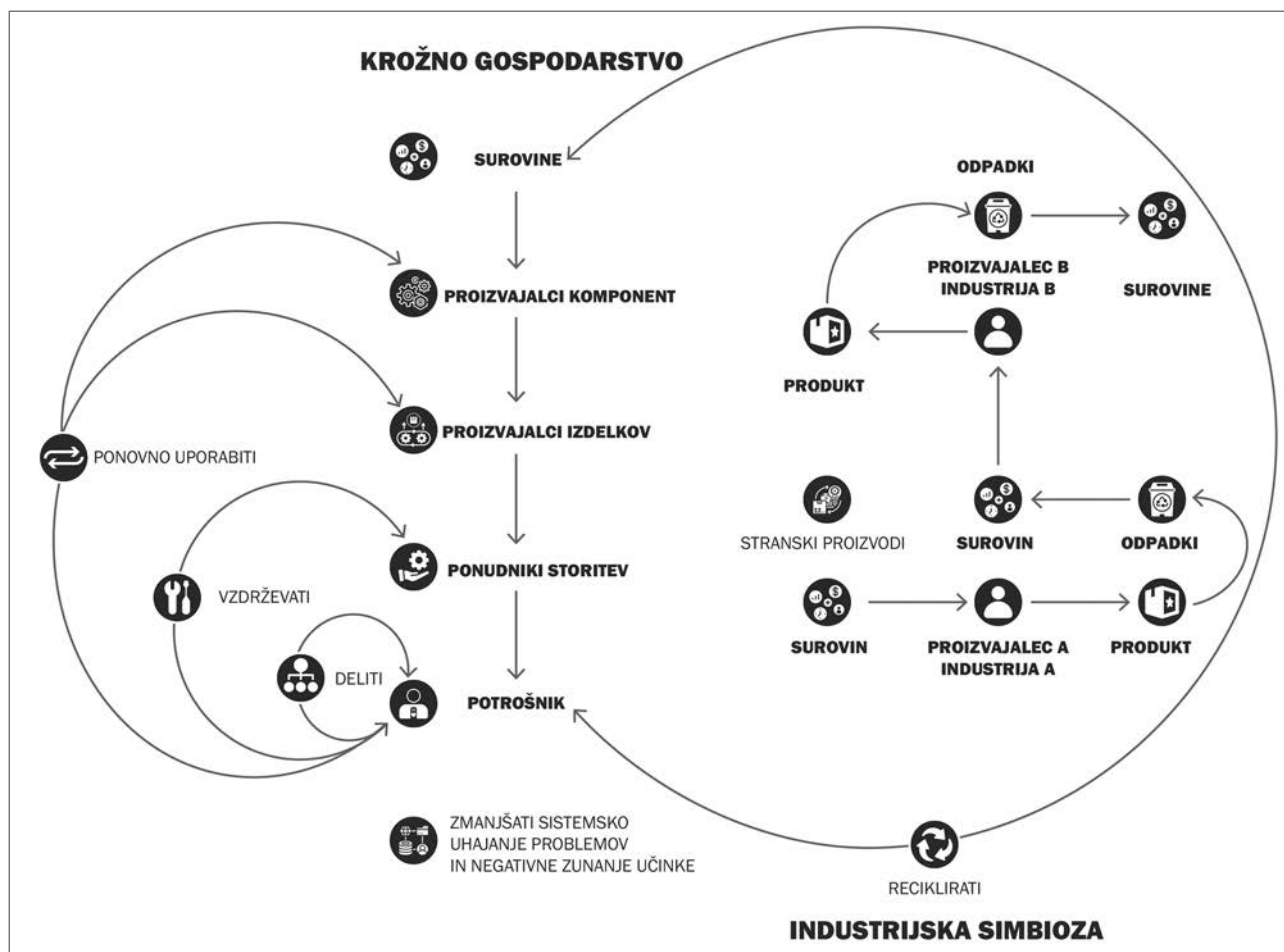
3 Sodobne rešitve

Sodobne rešitve, zasnovane na načelih trajnosti in krožnega gospodarstva, odpirajo nove poti ravnanja z viri in spodbujajo premislek o okoljskih praksah. Koncept 7 R je pristop k trajnosti in upravljanju z viri, ki poudarja sedem ključnih načel. Ta so zasnovana za zmanjšanje odpadkov, optimizacijo porabe virov in spodbujanje okoljske odgovornosti (Quality as Experience, 2021). Evropska unija (v nadaljevanju: EU) preha na krožno gospodarstvo, da bi zmanjšala količino odpadkov in spodbudila trajnostno rabo virov. Krožni model poudarja

ponovno uporabo, popravljanje, prenovo in reciklažo materialov, kar zmanjšuje izčrpavanje virov in emisije toplogrednih plinov. Pomemben vidik tega prehoda sta boj proti načrtovanemu zastaranju izdelkov in izboljšanje njihove zasnove za večjo trajnost in možnost popravila. EU si prizadeva tudi za zmanjšanje odpadne embalaže, saj vsak prebivalec Evrope letno ustvari povprečno 180 kilogramov embalažnih odpadkov (Hermawan idr., 2015).

4 Industrija

Industrijske procese je mogoče strniti v štiri glavne faze: pridobivanje virov, priprava virov, proizvodnja in skladiščenje ter distribucija. V prvem koraku se surovine zbirajo, nato se v drugem pripravijo za proizvodnjo. V tretji fazi se materiali pretvorijo v končne izdelke, medtem ko zadnja faza zajema skladiščenje in distribucijo izdelkov na trg. Za nemoteno delovanje sistema so ključni energija, ki poganja proizvodnjo, in transportni sistemi, ki omogočajo premikanje virov in končnih izdelkov. Učinkovitost in trajnost industrijskega procesa sta odvisni od optimizacije teh faz ter podpore z energijo in transportom (Ifko, 2021). Razvoj industrializacije je v štirih glavnih fazah bistveno preoblikoval proizvodne procese. Prva industrijska revolucija je uvedla mehanizacijo z uporabo parnih strojev, ki so povečali produktivnost in spodbudili rast tovarn. Druga faza je prinesla množično proizvodnjo na montažnih linah, kar je pocenilo izdelke in okrepilo potrošniško kulturo. Tretja faza je z avtomatizacijo uvedla računalnike in robotiko, kar je izboljšalo natančnost in zmanjšalo potrebo po ročnem delu. Četrta industrijska revolucija, industrija 4.0, pa združuje digitalne in fizične sisteme, ki omogočajo pametne tovarne in prilagajanje v realnem času, kar pomeni nov preboj v industrijski učinkovitosti in prilagodljivosti.



Slika 4: Osnove industrijske simbioze (vir: lastni vir)

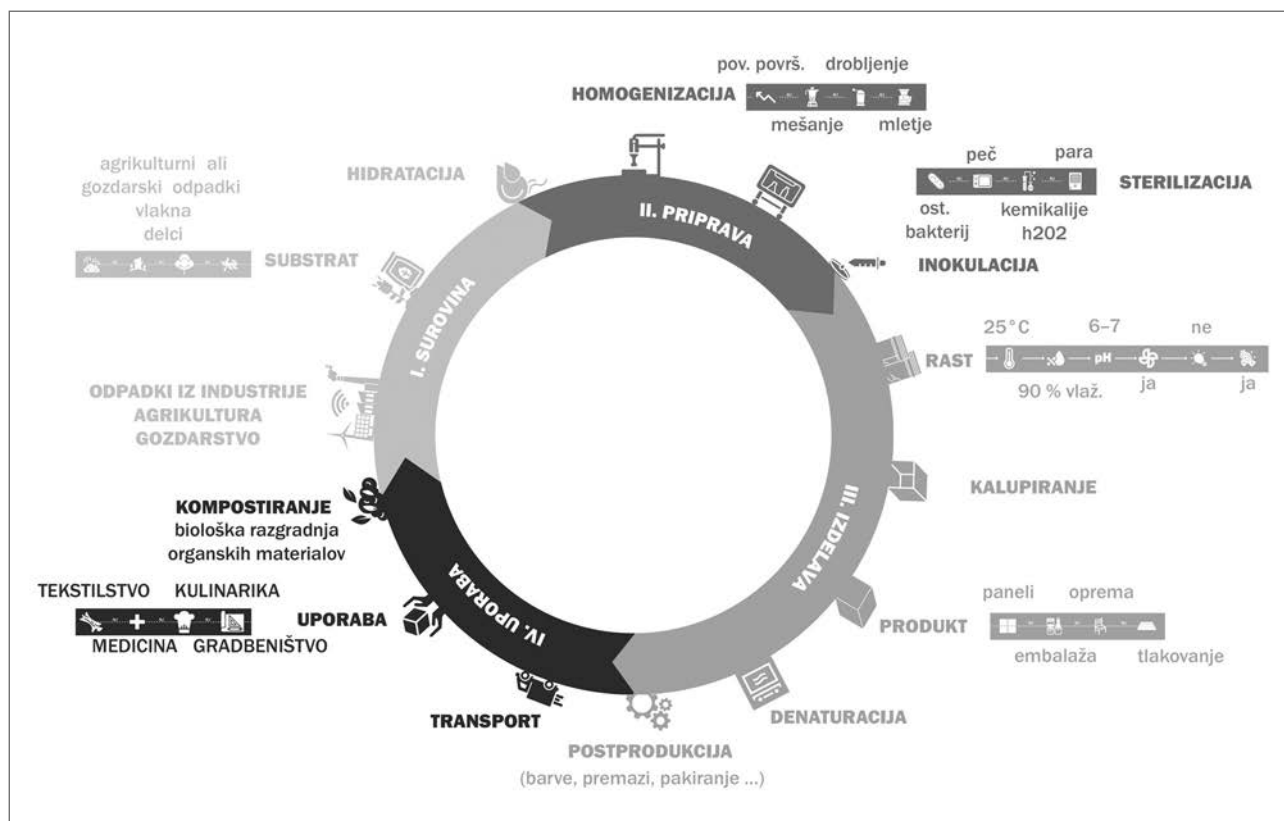
5 Industrijska simbioza

Industrijska simbioza je strategija, pri kateri različne industrije ali podjetja sodelujejo pri uporabi svojih stranskih proizvodov, odpadkov ali energije, kar ustvarja vzajemno koristno izmenjavo, ki zmanjšuje odpadke in izboljšuje učinkovitost virov. Opažen primer je Kalundborg Symbiosis na Danskem, kjer lokalna podjetja delijo vire, kot so para, voda in stranski proizvodi, kar vodi do pomembnih okoljskih in gospodarskih koristi (Kalundborg Symbiosis, 2022). Potencial industrijske simbioze je v njeni zmožnosti zmanjševanja odpadkov in povečanja trajnosti med različnimi industrijami z ustvarjanjem krožnih tokov virov. Z optimizacijo procesov in spodbujanjem inovativnih izmenjav lahko industrijska simbioza povečuje učinkovitost in zmanjšuje stroške za vse vpletene. V arhitekturi lahko industrijska simbioza vpliva na načrtovanje industrijskih parkov in objektov, saj spodbuja postavitev, ki omogočajo izmenjavo materialov in energije med povezanimi podjetji, kar izboljšuje skupno okoljsko uspešnost in učinkovitost virov (Ažman Momiški idr., 2021). Ali lahko integracija industrijske simbioze

v urbano načrtovanje in arhitekturo postane ključ za reševanje najnujnejših okoljskih izzivov? Potencial za preobrazbo industrijskih praks in urbanega okolja se skriva v sposobnosti povezovanja inovativnih pristopov, ki lahko spodbudijo trajnostno rabo virov in zmanjšanje odpadkov, kar nas vodi k boljši ekološki prihodnosti. Ta potencial ni le priložnost za izboljšanje okoljske učinkovitosti, temveč tudi za krepitev lokalnih skupnosti in spodbujanje gospodarskega razvoja, kar ustvarja sinergijo med trajnostjo, gospodarstvom in družbeno odgovornostjo.

6 Micelij

Glive ali gobe so posebna vrsta življenja, niso ne rastline ne živali in jih najdemo izključno na kopnem, saj jih v vodi, kjer naj bi nastalo življenje, ni. Za razvoj potrebujejo organske snovi in vodo. Organske snovi lahko izvirajo iz živali ali rastlin, v nekaterih primerih tudi iz drugih gliv (Arzenšek, 2024). Osnovna delitev je preprosta: nadzemni del, sadež (goba) in podzemni del oziroma podgobje (micelij). Micelij je mreža glivičnih niti



Slika 5: Proces izdelave produktov iz micelija (vir: lastni vir)

ali hif. Pogosto raste pod zemljo, lahko pa uspeva tudi na drugih mestih, kot je gnilo deblo dreves. Ena sama spora lahko preraste v micelij. Plodna telesa gliv, kot so gobe, vzniknejo iz micelija. Gobe so izjemno pomembne za tla. Razgrajujejo organski material in tako ponovno omogočajo uporabo njegovih surovin v ekosistemu. Poleg tega 92 % rastlin sodeluje z glivami. Ta vrsta simbioze se imenuje mikoriza. Hife so prav tako pomemben vir hrane za insekte in druge brezvretencarje (Arzenšek, 2024).

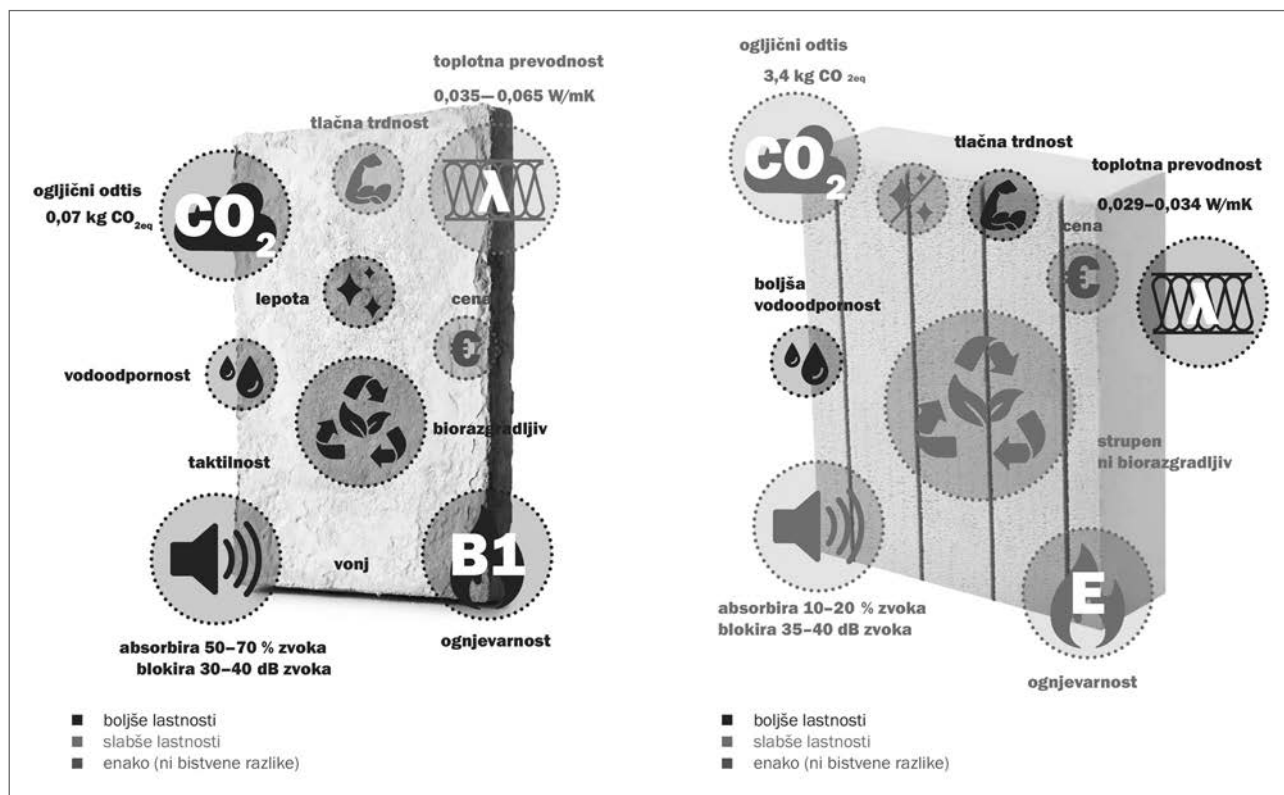
7 Proces

Pridelava gob je tehnični postopek, ki vključuje več natančnih korakov. Vsak zahteva natančen nadzor za zagotovitev optimalne rasti in kakovosti. Koraki so (PennState Extension, 2022):

- priprava substrata: substrat se sterilizira ali pasterizira, organski material (kot je slama) se zmeša z dodatki;
- inokulacija: izsek se vnese v pripravljeni substrat v sterilnem okolju;
- inkubacija: miceliju se omogoči, da raste skozi substrat v nadzorovanih pogojih;
- prekrivanje: na vrh koloniziranega substrata se nanese plast prekrivne zemlje, da se spodbudi tvorba gob;
- rast: okoljski pogoji se prilagodijo za spodbujanje rasti gob;

- žetev: gobe se pobirajo v ustreznem stadiju zrelosti;
- požetvena obdelava: gobe se očistijo, sortirajo in pakirajo za distribucijo;
- upravljanje odpadkov: izrabljen substrat se reciklira in prostori se očistijo.

Proces pridobivanja produktov iz micelija je razmeroma preprost in poteka v štirih fazah v krožnem procesu. V prvi fazi obdelamo surovino, kot so agrikulturni ali gozdarski odpadki, ki postanejo substrat (material, na katerem micelij raste in se hrani). Izbrani substrat najprej hidriramo (namočimo), kar je predpriprava za nadaljnjo obdelavo. Sledi druga faza, priprava substrata, v kateri je bistveno, da povečamo njegovo površino in dosežemo homogeno teksturo, kar pomeni, da ga mešamo, drobimo in meljemo, dokler nima ustrezne konsistence. Nato substrat steriliziramo, kar lahko izvedemo s kemikalijami, paro, kuhanjem ali pečenjem. Ko je substrat pripravljen, sledi inokulacija – vnos glivičnih spor ali micelija v hranilno bogat substrat, da spodbudimo rast gliv. Tretja faza je izdelava. Inokulirani substrat damo v sterilne vrečke za rast, da ustvarimo nadzorovano okolje za kolonizacijo, običajno pri konstantni temperaturi med 23 in 25 °C, vlažnosti okoli 90 % ter pH-vrednosti med 6 in 7. Naravne svetlobe ne potrebujemo. Po določenem času opazimo, da je substrat svetlejšje barve, prekrit z belim slojem, vrečka pa postane lažja in ima prijeten vonj – to



Slika 6: Primerjava XPS in micelija (vir: lastni vir)

so znaki uspešne kolonizacije. Nato substrat prenesemo v kalup poljubne oblike, saj micelij prevzame obliko kalupa. Po sedmih dneh ga odstranimo iz kalupa in pripravljen je za denaturacijo s pečenjem ali sušenjem, s čimer uničimo biološki organizem. V postprodukciji lahko sledi barvanje, premazovanje ali pakiranje. Produkti so zdaj pripravljeni za četrto fazo oziroma uporabo. Izdelek nato dostavimo do uporabnika, pri čemer je transport praktično edini večji vir CO_2 v procesu. Micelij je biorazgradljiv, kar pomeni, da se na koncu lahko kompostira, kompost pa se ponovno uporabi, na primer v agrikulturi, s čimer se konča krožni proces.

8 Lastnosti produktov iz micelija

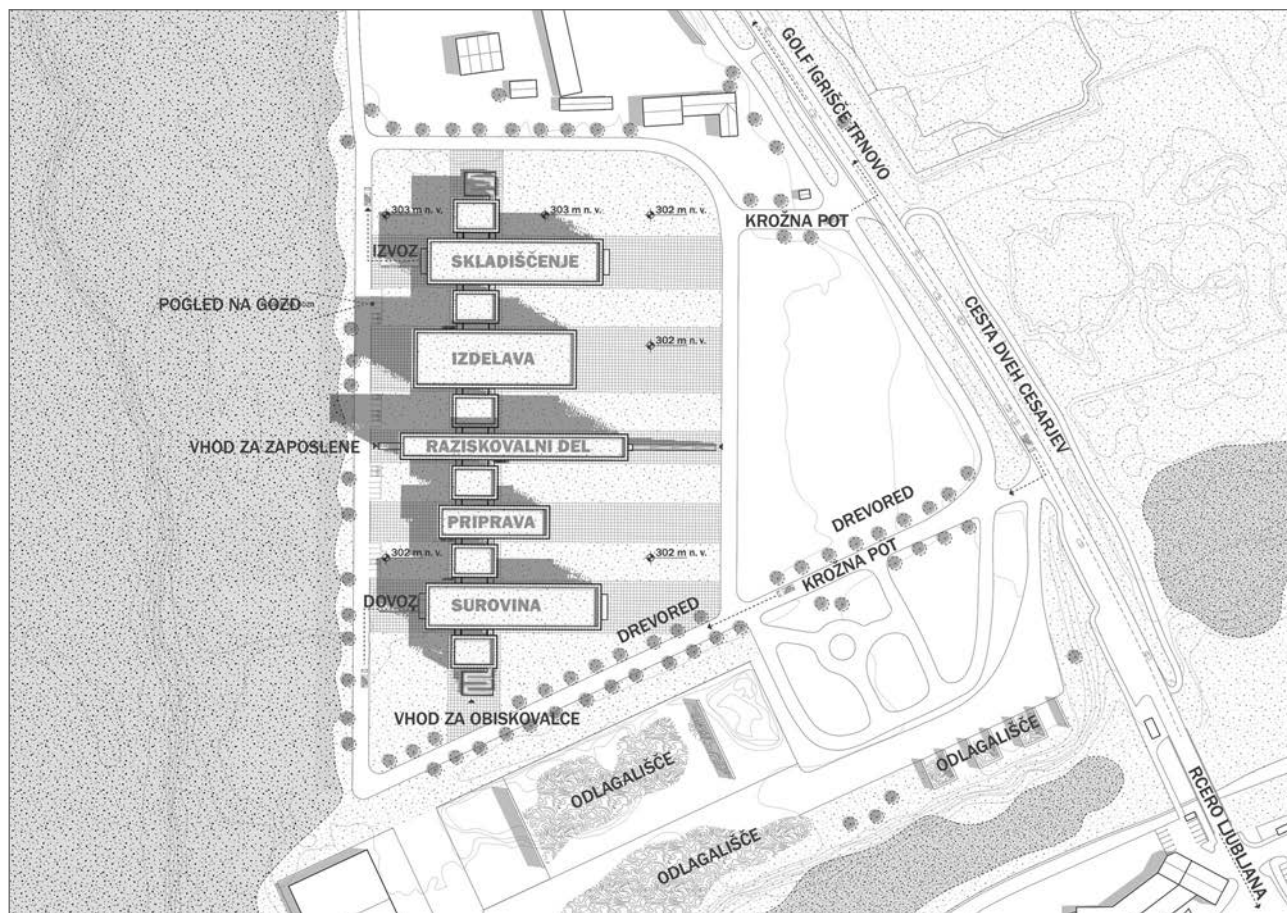
Članek z naslovom *Mehanske, fizične in kemične lastnosti kompozitov na osnovi micelija, proizvedenih iz različnih lignoceluloznih odpadkov in vrst gob* proučuje lastnosti kompozitov na osnovi micelija, ki so biorazgradljivi materiali, pridobljeni iz gob. Študija analizira, kako različne vrste gob (lat. *Ganoderma fornicatum*, *Ganoderma williamsianum*, *Lentinus sajor-caju* in *Schizophyllum commune*) in substrati (žagovina, koruzna slama in riževa slama) vplivajo na mehanske, fizične in kemične lastnosti teh kompozitov. Ključne ugotovitve so, da je gostota biokompozitov, izdelanih iz žagovine, najvišja. Če so izdelani

z riževo slamo, sta absorpcija vode in električna prevodnost najvišji. Termična degradacija teh biokompozitov je potekala med 200 in 325 °C, kar je bilo odvisno od substrata. Nekateri kompoziti so pokazali višjo kompresijsko, upogibno, udarno in natezno trdnost. Pri koruzni slami so bile najboljše upogibne, udarne in natezne trdnosti med substrati. Kemična analiza je razkrila vrednost pH med 4,67 in 6,12, vsebnost dušika je bila od 1,05 do 1,37 % in vsebnost organske snovi od 70,4 do 86,28-odstotna. Študija je pokazala, da so lastnosti biokompozitov iz micelija primerljive s tradicionalnimi materiali, kot je primer polistirenske pene, kar nakazuje njihov potencial kot trajnostne možnosti v različnih industrijskih aplikacijah (Aiduang idr., 2022).

Toplotna izolacija iz micelija in XPS se zelo razlikuje po izvoru in lastnostih. Micelij je biorazgradljiv naravni material z nizkim ogljičnim odtisom, medtem ko je XPS sintetični material iz fosilnih goriv z večjim ogljičnim vplivom. Ko se zavrže, ostane v okolju stoletja in ga je težko reciklirati. Zaradi večje gostote so zvočne izolacijske lastnosti micelija boljše in je naravno ognjevaren, vendar je občutljiv za vlago. XPS je nekoliko boljši pri toplotni izolaciji in vodoodpornosti, vendar je gorljiv in lahko sprošča strupene pline. Zaradi široke uporabe v gradbeništvu je XPS dostopnejši, medtem ko je micelij v začetni fazi razvoja, kar pomeni, da je za zdaj omejen na posebne trajnostne projek-



Slika 7: Vizualizacija zunanosti – leseni volumni, postavljeni nad pokrajino (vir: lastni vir)

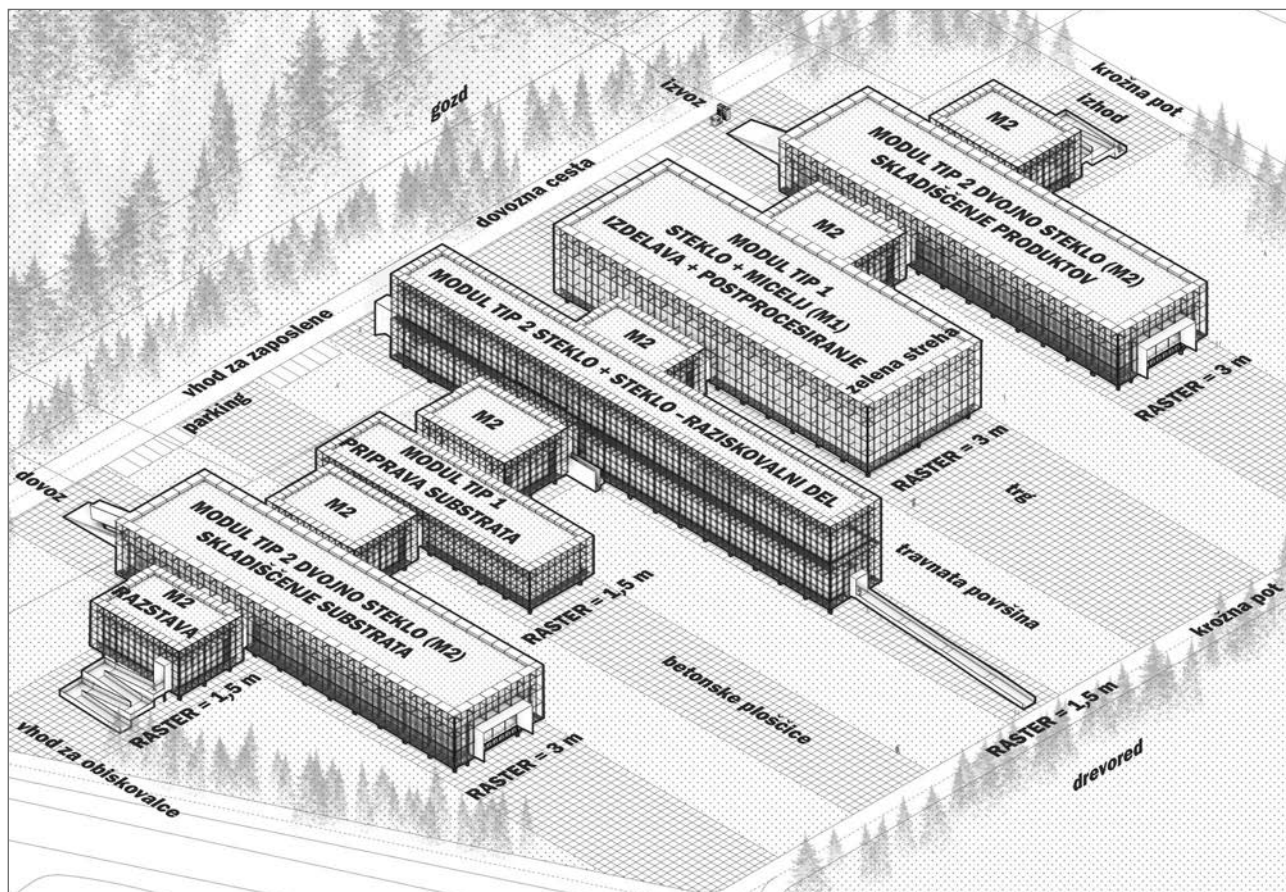


Slika 8: Situacija – stavba z okolico, dostopi, pogledi itd. (vir: lastni vir)

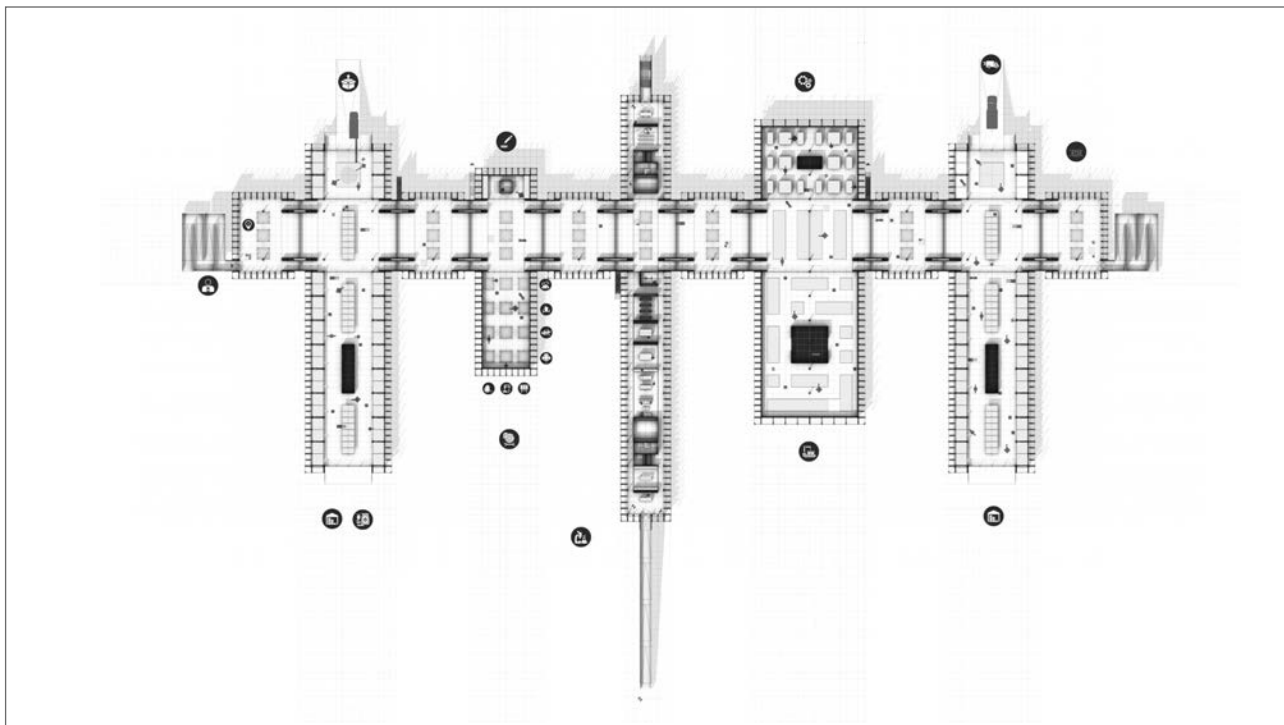
te. Spekter uporabe micelija je zelo širok, saj se lahko uporablja za izdelavo embalaže, tekstila, gradbenih materialov, pohištva in modnih izdelkov. Prav tako je našel svojo pot v kulinariki, umetnosti, arhitekturi, na primer v belgijskem paviljonu na bienalu 2023, na katerem je bil predstavljen kot gradbeni material (Jones idr., 2018).

9 Program in lokacija

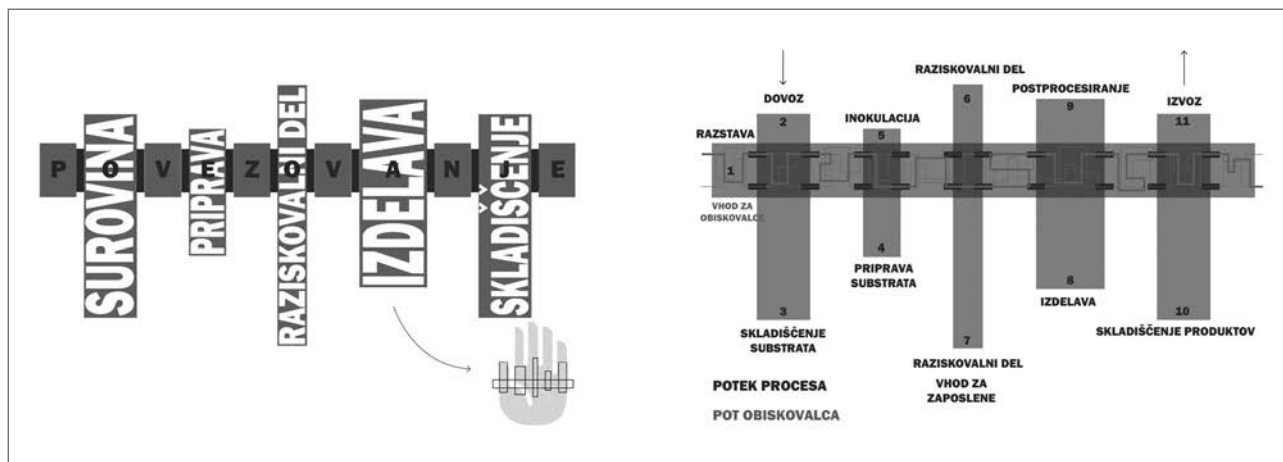
Industrijska stavba je umeščena na Ljubljansko barje v neposredno bližino Regijskega centra za ravnanje z odpadki (RCERO, Ljubljana). To lokacijo sem izbral zaradi nestrinjanja s predlagano širitvijo na tako neprimerno območje. Namesto tega



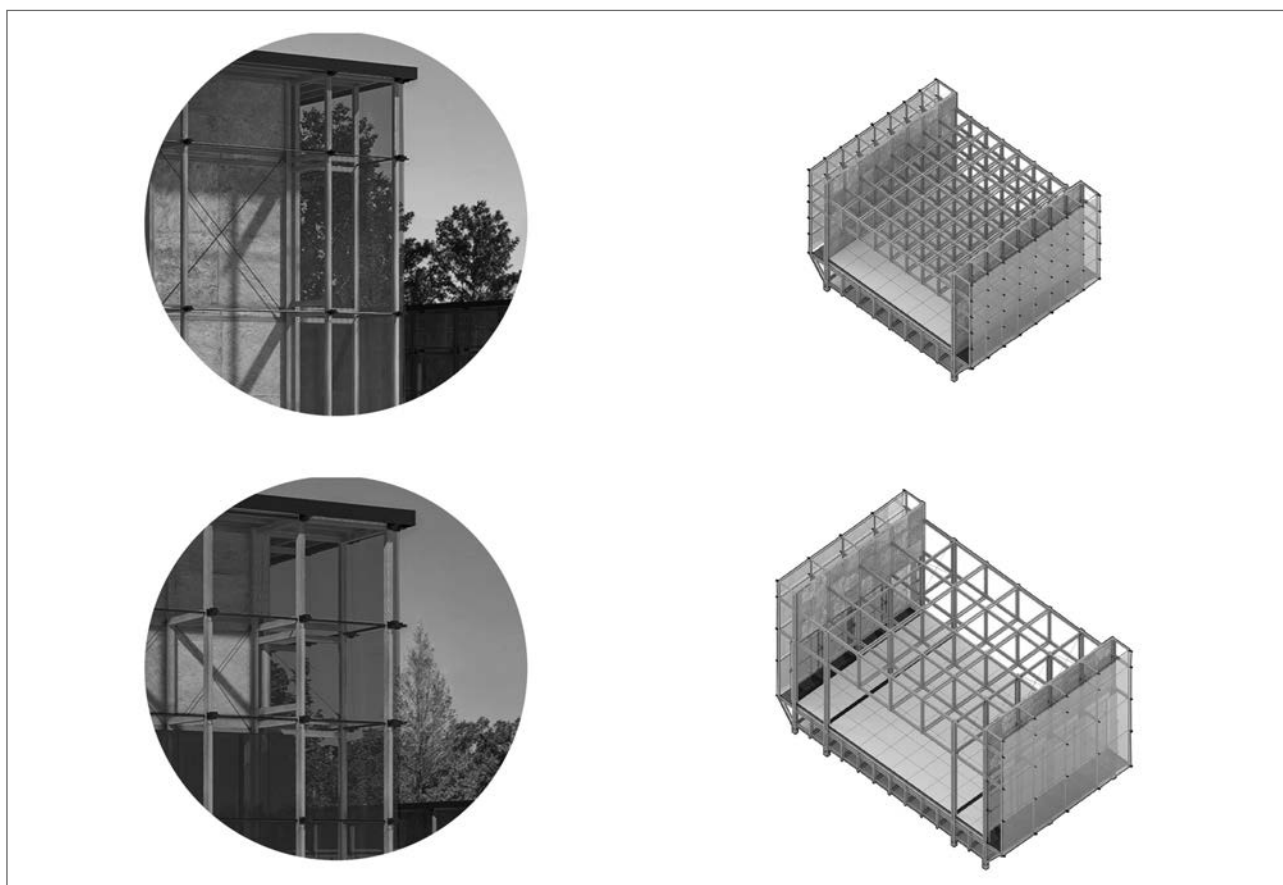
Slika 9: Aksonometrija zasnove – uporabljeni moduli in umestitev v prostor (vir: lastni vir)



Slika 10: Tloris pritličja (vir: lastni vir)



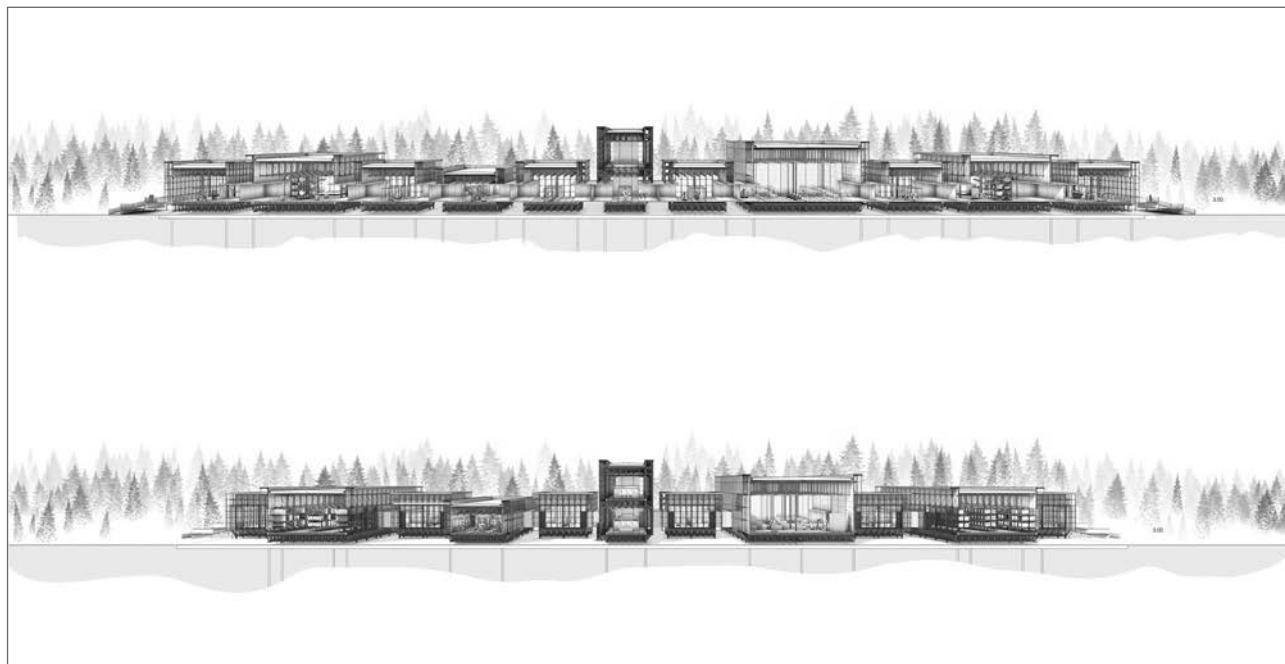
Slika 11: Diagrami prometnih tokov in programske zasnove prostora (vir: lastni vir)



Slika 12: Vizualizacija (levo) in prikaz modularne enote (desno) (vir: lastni vir)

zagovarjam nov projekt, bolj proti severu, proti območju, na katerem je zdaj poligon za vožnjo. Moj projekt bi bil v pomoč pri recikliranju določenih odpadkov, pri čemer tega industrijskega infrastrukturnega projekta ne bi bilo treba izvajati oziroma ne v tej velikosti. Izbrana lokacija je široka, asfaltirana površina je ravna, ni poplavno ogrožena in je idealno umeščena za razvoj.

Območje ponuja več prednosti: je neizkoriščeno, čeprav vsebuje več degradiranih površin, ki jih nameravam revitalizirati z novim projektom. Dostopnost iz več ulic je odlična, kar je ključno za industrijsko delovanje, območje pa je tudi dovolj veliko za mogoče širitve industrijskih in infrastrukturnih objektov. V projektu je predlagan industrijski kompleks, namenjen raziskovanju procesa gojenja ter proizvodnji gradbenih izdelkov in polizdelkov iz micelija. Micelij deluje kot naravni



Slika 13: Prečna prereza A in B (vir: lastni vir)

razgrajevalec, saj raste skozi odpadne materiale, kot so lesni sekanci, slama in drugi organski odpadki, in jih veže skupaj, kar omogoča nastajanje biokompozitov. Zasnova objekta temelji na linearni strukturi, sestavljeni iz ločenih volumnov z različnimi programskimi funkcijami. Spodbuja interakcijo med industrijskimi procesi in obiskovalci. Osrednji volumen, ki povezuje vse druge dele, je odprt za javnost in omogoča vpogled v vse korake proizvodnje. Linearna razporeditev objekta zagotavlja neprekinjen potek dela in raziskovalnih dejavnosti, modularna zasnova pa omogoča prilagodljivost in možnost širitve.

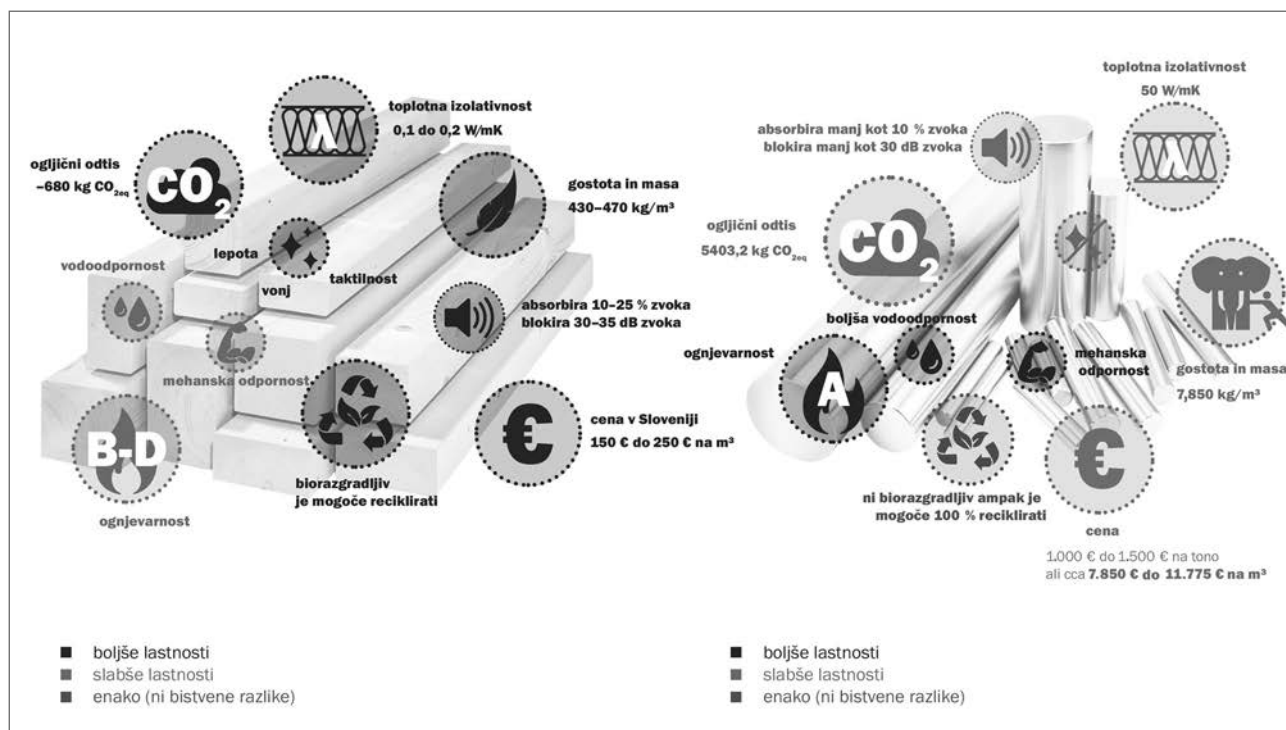
Micelij, ko se kombinira z različnimi odpadnimi materiali, kot so gradbeni, agrikulturni ali gozdarski stranski proizvodi, ustvari inovativne in trajnostne biokompozite. Te snovi izkoriščajo naravne lastnosti micelija kot veziva, ki se veže na odpadne surovine in oblikuje močne, lahke in izolativne izdelke, primerne za gradbeništvo in embalažo. Poleg tega raziskujejo možnosti, da bi micelij lahko biološko razgradil določene vrste plastike, kar bi omogočilo reševanje plastičnega onesnaževanja in okrepilo krožno gospodarstvo.

10 Koncept

Koncept tega projekta je ustvariti arhitekturno napreden in okolju prijazen industrijski obrat, laboratorij in center za obiskovalce, osredinjen na gojenje ter proizvodnjo gradbenih materialov in polizdelkov iz micelija. Objekt je zasnovan kot linearna struktura s petimi ločenimi volumni v obliki prstnega tlorisa, ki se zlije z okolico. Modularna lesena konstrukcija v

kombinaciji s paneli iz micelija poudarja trajnost in prilagodljivost ter omogoča hitro in preprosto sestavljanje in demontažo.

Za prihodnjo arhitekturo je ključno, da vsaka stavba, še posebej industrijska, upošteva inovativne koncepte, ki združujejo trajnost, modularnost in krožno gospodarstvo. Ti koncepti poudarjajo tako učinkovito rabo virov kot prilagodljivost v zasnovi, kar omogoča trajnostne rešitve na vseh ravneh. Za reševanje sodobnih izzivov je ključno ustvarjalno razmišljanje, ki presega konvencionalne pristope. Inovativne rešitve, kot so biokompoziti iz micelija, zahtevajo optimizacijo proizvodnih procesov, pri čemer napredne tehnologije, kot sta 3D-tiskanje in umetna inteligenca, omogočajo učinkovito proizvodnjo in zmanjšanje napak. Pomembna je tudi simbioza med tehnologijo in človeško ustvarjalnostjo, saj kombinacija naprednih orodij z izkušnjami strokovnjakov vodi do trajnostnih arhitekturnih rešitev. Da bi dosegli visoko učinkovitost, je treba industrijske procese centralizirati, celo spraviti pod eno streho oziroma v isto stavbo (ang. *in house*), kar vedno povečuje učinkovitost, možnosti nadzorovanja, znižuje stroške in spodbuja inovacije. Reševanje globalnih okoljskih izzivov zahteva lokalne pristope in prehod h krožnemu gospodarstvu. Arhitektura, ki se prilagaja specifičnemu okolju, s trajnostnimi materiali in lokalno identiteto prispeva k trajnostnim rešitvam. Gradbena industrija se sooča z rastočo vrednostjo in vplivom, zato je nujno preiti od linearne gospodarstva h krožnemu, da bi bile stavbe zasnovane za dolgo življenjsko dobo in preprosto obnovo. Ključen premik v miselnosti »recikliraj in ponovno uporabi« spodbuja odgovorno ravnanje z viri, zmanjšuje od-



Slika 14: Primerjava lesa in jekla (vir: lastni vir)

padke in podpira inovativne prakse, ki zagotavljajo trajnostne gradbene rešitve.

Modularnost omogoča preprosto sestavljanje, prilagajanje in nadgradnjo stavb, saj moduli, izdelani v tovarni, zagotavljajo kakovost in skrajšajo čas gradnje. Sestavljivost in razstavljivost modularnih komponent omogočata hitrejšo gradnjo in preprosto premikanje ali demontažo brez poškodb, kar zmanjšuje gradbene odpadke in spodbuja ponovno uporabo materialov. To ustvarja nove industrijske pokrajine, ki so dostopne javnosti ter postajajo simboli tehnološkega napredka in trajnostnega razvoja. Pozitivno javno mnenje, ki izhaja iz takih pristopov, prispeva k trajnostnemu urbanizmu in spodbuja širšo sprejetost inovativnih praks.

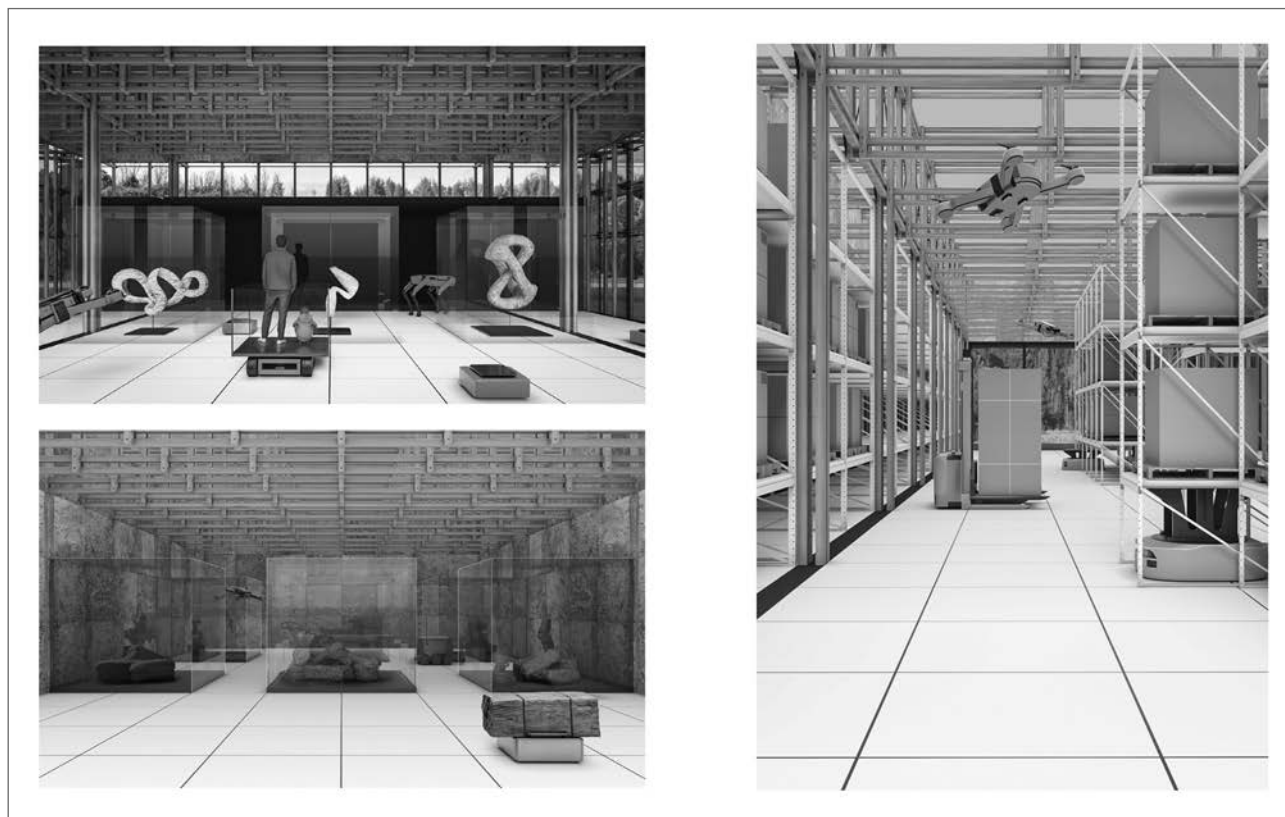
11 Podrobna obrazložitev

Gradnja objekta temelji na modularnem pristopu, ki uporablja vnaprej izdelane komponente iz lesa in micelija, kar omogoča hitro montažo in prilagodljivost pri morebitnih spremembah ali širitvah. Laboratorij v okviru objekta bo osredinjen na raziskave in razvoj za izboljšanje procesov gojenja in predelave micelija v trajnostne gradbene materiale. Center za obiskovalce bo namenjen izobraževanju javnosti o uporabi micelija v gradbeništvi, vključeval bo razstavne prostore in interaktivne prikaze. Poskušal sem tudi odgovoriti na vprašanje o prihodnji tovarni, ki sem si jo zamislil kot hiperučinkovit, visokotehnoški »organizem«, optimiziran za prilagodljivost in razširjivost.

Vsebuje modularne, lahke strukture, ki zabrisujejo meje med arhitekturo in infrastrukturo in omogočajo preprosto preoblikovanje. Ta prilagodljivi sistem bo izkoriščal pametne tehnologije, zmanjševal porabo materialov in hkrati povečeval učinkovitost. Učinkovitost postane preprostost: okvir oziroma škatla, zasnovana za razvoj skupaj s tehnologijami, ki jim služi.

12 Zakaj les

Slovenija je tretja najbolj gozdnata država v Evropi. Zaloga lesa v slovenskih gozdovih, ki so med največjimi v EU, znaša okoli 350 milijonov m^3 , kar je približno 300 m^3 na hektar površine gozda. Pri tem znaša prirastek lesne mase na letni ravni okoli $8,7$ milijona m^3 . Zaradi visokega deleža gozdnatosti je les strateška surovina. Te naravne danosti nam do zdaj ni uspelo dovolj izkoristiti, saj veliko lesa ostaja v gozdu ali pa se izvažata brez dodane vrednosti. Razlogov za to je več. Med pomembnejšimi sta povečana uporaba nelesnih materialov ter nepovezanost podjetij in udeležencev v lesarski verigi, v kateri je povezovanje vitalnega pomena za hitrejši razvoj panoge (Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport, 2023). Les je obnovljiv naravni vir, ki shranjuje CO_2 , medtem ko je za jeklo značilen velik ogljični odtis, saj njegova proizvodnja zahteva veliko energije in povzroča emisije CO_2 . Lesena gradnja lahko bistveno prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov, saj je uporaba lesa do 50% manj energijsko intenzivna kot uporaba jekla. Les je tudi naravni izolator, kar pomeni, da je energijsko učinkovitejši od jekla, ki zahteva dodatno izolacijo.



Slika 15: Vizualizacija notranjosti – stavba je odprta za javnost in omogoča vpogled v vse korake proizvodnje (vir: lastni vir).

Les je lažji od jekla, kar poenostavi transport in gradnjo. Zaradi prožnosti in lahкости se lesene konstrukcije bolje upirajo potresnim silam. Lažje se prenavljajo in obnavljajo, odpadni les pa je mogoče ponovno uporabiti ali reciklirati. Čeprav je jeklo stoodstotno obnovljivo, je recikliranje jekla energetsko zelo intenzivno. Prednosti jekla so visoka trdnost in odpornost proti koroziji, vendar se les zaradi svojih trajnostnih lastnosti vse bolj uporablja v arhitekturi, zlasti v projektih, osredinjenih na trajnost in okoljsko prijaznost.

13 Novodobno projektiranje

Vse odločitve v procesu oblikovanja so bile sprejete ob upoštevanju določenih parametrov. Vsak element je bil obravnavan z vidika nosilnosti, teže, emisij CO₂, cene itd. Volumni so oblikovani izključno zaradi potreb programa.

Različni volumni imajo različne višine, dolžine in širine, da omogočijo raznovrstne procese znotraj objekta. Stavba je zgrajena iz naravnih materialov z značilno fasado, ki sporoča o svojem namenu in značaju. Z zasnovo izraža svoje bistvo. Dvigljena in nežno dotikajoča se tal je metafora za nizki ogljični odtis in kaže, kako malo ogroža okolje. Vključuje tudi elemente klasične arhitekture ter sledi načelom proporcije, simetrije in

tradicionalne trodelne fasade: podstavku, telesu in kapici. Stavba je dejansko razvita struktura, je modularna, lahka in sestavljiva. Vsebuje standardizirane, dobro premišljene elemente, ki se prilegajo standardnim kontejnerjem, kar omogoča preprosto sestavljanje in razstavljanje. Vse komponente so razdeljene v skupine in so optimizirane za minimalno težo. Materiali in moduli so zasnovani tako, da se prilegajo štirim standardnim kontejnerjem. Emisije CO₂ za transport teh kontejnerjev znašajo na kilometer približno 0,1 do 0,3 kg na kontejner.

14 Sklep

Micelij kot naraven in obnovljiv material ponuja inovativne rešitve za trajnostno gradbeništvo. Njegova biorazgradljivost, nizki ogljični odtis in sposobnost vezanja organskih odpadkov v trdne kompozite kažejo velik potencial za zmanjšanje okoljske obremenitve gradbenega sektorja. S procesom gojenja micelija lahko ustvarimo gradbene materiale, ki prispevajo h krožnemu gospodarstvu, zmanjšujejo odpadke in omogočajo reciklažo, kar odgovarja na nujne izzive današnjega časa. Vključitev micelija v arhitekturno oblikovanje ne pomeni samo uporabe novega materiala, temveč odpira vrata radikalno drugačnemu razmišljanju o gradnji – takemu, ki združuje naravne procese z naprednimi tehnologijami. Industrijski objekti, kot

je predlagani obrat za proizvodnjo biokompozitov, so primer pristopa, ki združuje trajnost, inovativnost in odgovornost do okolja. V prihodnosti bo širša uporaba micelija v gradbeništvi ključna za doseganje ciljev zmanjšanja ogljičnega odtisa in prehoda v bolj trajnostno družbo.

Marko Stavrev, mag. inž. arh.

Magistrant Fakultete za arhitekturo Univerze v Ljubljani, Katedra za zgodovino, teorijo in prenovu, Ljubljana

E-pošta: markostavrev15@gmail.com

Opombe

^[1] Članek je nastal na podlagi magistrske naloge *Uporaba micelija v arhitekturnem oblikovanju*: Idejna zasnova industrijskega obrata za izdelavo biokompozitov v Ljubljani pod mentorstvom izr. prof. dr. Lucije Ažman Momirski ter somentorstvom doc. dr. Tomaža Berčiča in asist. dr. Andreja Mahoviča.

Viri in literatura

Aiduang, W., Kumla, J., Srinuanpan, S., Thamjaree, W., Lumyong, S., in Suwannarach, N. (2022): Mechanical, physical, and chemical properties of mycelium-based composites produced from various lignocellulosic residues and fungal species. *Journal of Fungi*, 8(11), 1125, str. 1–21.

Arzenšek, B. (2024): *Svet gob: Osnove*. Dostopno na: <https://svetgob.aza-ms.si/osnove/00osnove.htm> (sneto 12. 8. 2024).

Ažman Momirski, L., Mušič, B., in Cotič, B. (2021): Urban strategies enabling industrial and urban symbiosis: The case of Slovenia. *Sustainability*, 13(9), 4616 str. 1–17 (sneto 16. 10. 2023).

Evropski parlament (2019): *CO₂ emissions from cars: Facts and figures (infographics)*. Dostopno na: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics> (sneto 14. 8. 2024).

Evropska komisija (2022): *Nova evropska pravila o embalaži*. Dostopno na: https://slovenia.representation.ec.europa.eu/novice-dogodki/novice-0/nova-evropska-pravila-o-embalazi-2022-11-30_sl. (sneto 19. 11. 2024).

Evropska komisija (2024): *Zgradbe in gradbeništvo*. Dostopno na: https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market_en (sneto 12. 2. 2024).

Eurostat (2023): *Waste generation by economic activities and households, EU, 2020 (% share of total waste)*. Dostopno na: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households_EU_2020_\(%25_share_of_total_waste\)_25-05-2023.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households_EU_2020_(%25_share_of_total_waste)_25-05-2023.png) (sneto 8. 7. 2024).

Hermawan, P., Marzuki, P. F., Abduh, M., in Driejana, R. (2015): Identification of source factors of carbon dioxide (CO₂) emissions in concreting of reinforced concrete. *Procedia Engineering*, 125, str. 692–698.

Ifko, S. (2021): *Industrijska arhitektura*. Zapiski predavanj. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo.

Jones, M., Bhat, T., Kandare, E., Thomas, A., Joseph, P., Dekiwadia, C., idr. (2018): Thermal degradation and fire properties of fungal mycelium and mycelium-biomass composite materials. *Scientific Reports*, 8, 17583, str. 1–10.

Kalundborg Symbiosis (2022): *Surplus from circular production*. Dostopno na: <https://www.symbiosis.dk/en> (sneto 5. 6. 2023).

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., in Van Woerden, F. (2018): *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington DC, Svetovna banka.

Kovács, G., Benotsmane, R., in Dudás, L. (2019): The concept of autonomous systems in Industry 4.0. *Advanced Logistic Systems – Theory and Practice*, 12(1), str. 77–87.

Maine Passive House (2023): *Cost and carbon: Material selection*. Dostopno na: <https://www.mainepassivehouse.com/buildforthefutureblog/2023/5/8/cost-and-carbon-material-selection> (sneto 11. 8. 2024).

Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport (2023): *Pomen lesa*. Dostopno na: <https://www.gov.si/teme/pomen-lesa> (sneto 12. 6. 2024).

PennState Extension (2022): *Six steps to mushroom farming*. Dostopno na: <https://extension.psu.edu/six-steps-to-mushroom-farming> (sneto 15. 8. 2024).

Quality as Experience (2021): *Circular economy as a model*. Dostopno na: <https://medium.com/quality-as-experience/circular-economy-as-a-model-c6dd6646054f> (sneto 16. 10. 2023).