

asist.  
Tamara Lašič Jurković

asist.  
Žan Kobal

# **Analiza zgodovinskega konteksta, trenutnega stanja in priložnosti za razvoj inovativnih praks na področju svilogojstva, svilarstva in hibridnih svilarskih praks**

<b>4</b>	<b>00</b>	<b>Uvod</b>
<b>5</b>	<b>01</b>	<b>Zgodovinski pregled</b>
5	01.01	Azijski izvor in prihod v Evropo
5	01.02	16.–17. stoletje
5	01.03	18. stoletje
6	01.04	19. stoletje
6	01.05	20. stoletje
7	01.06	Vernakularne prakse
8	01.07	Sodobni konteksts
<b>9</b>	<b>02</b>	<b>Pregled obstoječih aplikacij svile v različnih industrijah</b>
9	02.01	Sodobna tekstilna industrija
10	02.02	Medicina in biotehnilogija
11	02.03	Elektronika, optika in akustika
12	02.04	Okoljske aplikacije, trajnostni in etični vidik
14	02.05	Izzivi in omejitve proizvodnje svile
<b>16</b>	<b>03</b>	<b>Primeri inovativnih praks</b>
16	03.01	Julian Melchiorri: Silk Leaf
16	03.02	Mediated Matter: Silk Pavilion
18	03.03	Vivian Xu: 'Projekt: Sviloprejka'
18	03.04	Paloma Cañizares: Silk Pavilion
20	03.05	Ilaria La Manna: Bombix Bricks
20	03.06	Podjetje Cosetex: T.Silk®, Silk Dust in Silk Paper
<b>22</b>	<b>04</b>	<b>Celostno vrednotenje okoljskih vplivov – LCA</b>
23	04.01	Life Cycle Assessment of Indian Silk
24	04.01.01	Procesi v ozadju
25	04.01.02	Vzgoja murv
25	04.01.03	Sušenje, prekuhavanje in razpredanje kokonov
25	04.01.04	Investicijsko blago
26	04.01.05	Stranski produkti
26	04.01.06	Zaključki
27	04.02	Basis for Conducting Life Cycle Assessment of Brazilian Silk Yarn Manufacturing
28	04.02.01	Predvideni procesi
28	04.02.02	Ključni problemi izvajanja raziskave
28	04.03	Sinteza
<b>05</b>	<b>05</b>	<b>Projekcije in analiza priložnosti</b>
32	05.01	Projekcije
32	05.02	Analiza priložnosti
32	05.02.01	Ekonomsko-družbene priložnosti
32	05.02.02	Trajnostne priložnosti
32	05.02.03	Priložnosti na področju etične proizvodnje

<b>32</b>	<b>05.02.04</b>	<b>Priložnosti za nove oblikovalske prakse</b>
<b>33</b>	<b>05.03</b>	<b>Pregled potencialnih zunanjih sodelujočih partnerjev s področja znanosti in industrije</b>
<b>35</b>	<b>06</b>	<b>Pregled potencialnih inovativnih učnih okolij in prostorov nadaljnjega raziskovanja</b>
<b>37</b>	<b>07</b>	<b>Reference</b>
<b>42</b>	<b>08</b>	<b>Viri slikovnega gradiva</b>

Svila, kot eden izmed najpomembnejših naravnih materialov v človeški zgodovini, v sodobnem času ponovno pridobiva na pomenu na stičišču med tradicionalnimi praksami in naprednimi tehnološkimi inovacijami. Čeprav ima svilogojstvo na Slovenskem dolgo tradicijo, ki sega v 16. stoletje, je v 20. stoletju skoraj povsem zamrlo. V zadnjih desetletjih pa se odpirajo nove možnosti za njegovo revitalizacijo v okviru trajnostnega razvoja in raziskav naprednih materialov.

Aktualne znanstvene študije kažejo, da svila že dolgo presega svojo konvencionalno vlogo tekstilnega materiala ter se vse bolj uveljavlja kot visokotehnološki biopolimer z izjemnimi mehanskimi, biološkimi in optičnimi lastnostmi. Zaradi kombinacije biokompatibilnosti, biorazgradljivosti, mehanske trdnosti in lahкости se svila umešča med ključne materiale prihodnosti, s potencialom za inovativne aplikacije v medicini, elektroniki, optiki ter pri razvoju trajnostnih okoljskih rešitev.

Pričujoča raziskava preučuje potencial obuditve svilogojstva in svilarstva v Sloveniji z interdisciplinarnim pristopom, ki povezuje zgodovinsko dediščino, sodobne tehnološke zmožnosti in trajnostne prakse. Namen raziskave je opredeliti ključne priložnosti za razvoj inovativnih aplikacij svile, ki lahko prispevajo tako k lokalnemu gospodarskemu razvoju kot k naslovitvi globalnih izzivov trajnosti in etične proizvodnje materialov.

## 01 Zgodovinski pregled

Svilogojstvo in svilarstvo imata na Slovenskem dolgo in razgibano tradicijo, ki sega od prvih poskusov v 16. stoletju do skoraj popolnega zatona v 20. stoletju. Čeprav panoga danes nima več gospodarskega pomena, je bila v določenih obdobjih ena ključnih kmetijskih in tekstilnih dejavnosti. Njena zgodovina ponuja vpogled v povezave med lokalnim gospodarstvom, evropskimi trgovskimi tokovi in globalnimi krizami, ki so večkrat odločilno vplivale na razvoj in propad te dejavnosti (Žontar 1957; Ipavec 2008).

### 01.01 Azijski izvor in prihod v Evropo

Izvor svilogojstva sega v Azijo, kjer se je razvilo že v najzgodnejših obdobjih kitajske civilizacije, nekateri raziskovalci pa omenjajo tudi Indijo (Ipavec 2008). Iz Kitajske se je znanje širilo proti zahodu prek svilne poti in se v Sredozemlju utrdilo v srednjem veku. V Sredozemlju so sprva za prehrano sviloprejk uporabljali črno murvo (*Morus nigra*), ki je po izvoru kavkaška, a počasi raste in slabo prenaša vsakoletno obrezovanje. Postopoma jo je zamenjala bela murva (*Morus alba*), ki je azijskega izvora. Bela murva raste hitro, se dobro prilagaja različnim tipom tal in omogoča lažje obnavljanje nasadov, kar je prineslo velik napredek v svilogojški panogi (Ipavec 2008). Prvi poskusi gojenja bele murve in sviloprejk so se v beneški republiki začeli v 14. stoletju. V 14. in 15. stoletju so bele murve sadili na območju Beneške republike in Južne Tirolske, svilogojstvo pa se je širilo tudi v Furlanijo (Žontar 1957).

### 01.02 16.–17. stoletje

Sredi 16. stoletja se je svilogojstvo in gojenje murve razširilo na Goriško iz beneškega zaledja, kjer so že od 15. stoletja uvajali nove kmetijske kulture in tehnologije. To obdobje sovпада z uvajanjem monokulturnega gospodarstva v Evropi (Ipavec 2008). Za Koprsko in beneško Istro se zanimanje za svilogojstvo pojavi šele v drugi polovici 17. stoletja.

V 17. stoletju je cesar Ferdinand III. uvedel prve državne spodbude za širitev panoge, kar je pospešilo sajenje murv (Antolič 2004). Leta 1674 je v Ljubljani ceh pletilcev vrvic in svilenih tkanin pridobil potrjena pravila; člani so bili tudi obrtniki iz Benečije in Furlanije, kar kaže na regionalno povezanost svilarske obrti (Murve.um).

Čeprav je ob koncu 17. stoletja dejavnost na Goriškem začasno zamrla, se je zanimanje zanjo ohranilo v Koprskem in beneški Istri, kjer so se pojavili prvi poskusi gojenja bele murve in sviloprejk (Žontar 1957).

### 01.03 18. stoletje

Začetek 18. stoletja pomeni pomembno prelomnico. Cesar Karel VI. je leta 1716 predelovalcem in izdelovalcem svile podelil posebne privilegije, kar je omogočilo ustanavljanje predilnic v Gorici in Krminu; v regiji je delovalo približno trideset tkalcev svilenih tkanin. Presežke zapredkov in surovo svilo so izvažali v Benetke, Bassano, Verono, Padovo in Viden (Ipavec 2008).

Leta 1726 je bila v Fari zgrajena predilnica na vodni pogon, kar je predstavljalo izjemen tehnični napredek v primerjavi z ročnimi predilnicami.

V Ljubljani je leta 1728 francoski podjetnik Pierre Toussaint Tabouret pridobil dovoljenje za prvo manufakturo svilenih izdelkov (Murve.um). Leta 1749 so oblasti začele sistematično razmnoževati murve po vseh kronskih deželah, gojitelje sviloprejk pa so subvencionirali, število ročnih predilnic na Goriškem se je povečalo na 21, svilo pa so predelovale tudi ljubljanska predilnica trgovca Jerneja Čebula in nova dunajska predilnica.

Svilogojstvo je skupaj z vinogradništvom postalo ena najpomembnejših kmetijskih panog v ravninskem in gričevnatem delu Goriške, primernost vzgoje murve pa je postala ena glavnih tem kmetijske literature in akademskih razprav (Ipavec 2008).

#### **01.04 19. stoletje**

Tržišče 19. stoletja je zahtevalo kakovosten preskok v proizvodnji svile, ki ga goriški svilarji niso uspeli izvesti. Prevladovala je francoska in konkurenčna azijska svila, kakovost izdelkov se je slabšala, propadlo je več podjetij (Ipavec 2008).

Ponovno zanimanje za svilogojstvo se je pojavilo med letoma 1820 in 1840, ko so cene surove svile nenadoma poskočile, medtem ko so cene žita, živine in vina upadale. Kmetijske družbe so urejale drevesnice z murvami, poleg bele murve so gojili tudi posebne sorte, kot sta *Morettiana* in filipinska murva (*Morus multicaulis*). V alpskih slovenskih deželah se je v 30. letih 19. stoletja začelo širše zanimanje za svilogojstvo, predvsem na Dolenjskem, v okolici Ljubljane in delno na Gorenjskem.

Leta 1843 je bilo na Štajerskem ustanovljeno svilogojsko društvo, ki je upravljalo drevesnico pri Gradcu, naročalo jajčeca iz Italije in izvajalo tečaje o svilogojstvu. V drugi polovici 19. stoletja so se z izboljšanjem cestnih povezav hitreje širile tudi bolezni, vključno z epidemijami bolezni sviloprejk, ki so imele katastrofalne posledice za evropsko svilogojstvo in svilarstvo. Na Goriškem so se te bolezni razširile v šestdesetih letih, na Kranjskem, Koroškem in Štajerskem pa so prizadele večino nasadov (Ipavec 2008).

Svilogojci so skušali rešiti tradicionalno rumeno vrsto sviloprejke z izborom zdravih gosenic in najlepših zapredkov za pridobivanje jajčec. Leta 1869 je v Gorici ustanovljen Inštitut za raziskavo sviloprejk – prva ustanova te vrste na svetu in osrednja v Avstro-Ogrski. Uvedli so pridobivanje zdravih jajčec po metodi Louisa Pasteurja, izvajali tritedenska poletna predavanja in mikroskopske raziskave, kar je pripomoglo k obnovi panoge na Primorskem in širše v Evropi. Leta 1881 je inštitut razširil dejavnost in se preimenoval v Inštitut za svilogojstvo in vinarstvo, deset let kasneje pa v Inštitut za kmetijstvo (Ipavec 2008).

Po letu 1870 se na Primorskem že niso čutile tako močne posledice bolezni sviloprejk, konec stoletja pa se je proizvodnja kokonov strmo dvignila – leta 1868 okrog 700 kvintalov, višek pa leta 1894 s 15.000 kvintali. Stražce ob Soči so bile sedež največje predilnice svilenih odpadkov v Avstriji, ustanovljene 1853, ki je končne izdelke izvažala v Francijo. Predilnica iz odpadkov je delovala tudi v Solkanu, 1870 pa v Zdravščini (Ipavec 2008).

#### **01.05 20. stoletje**

Vrhu pridelave in proizvodnje svile ob koncu 19. stoletja je sledil strm padec, saj so se ljudje raje odločali za vinogradništvo, ki je sezonsko sovpadalo s

spomladanskim delom pri sviloprejkah, povpraševanje po vinu je bilo večje kot ponudba. Po 1. svetovni vojni je Italija začela intenzivno spodbujati svilarsko panogo zaradi visoke svetovne cene svile. Sledila je svetovna gospodarska kriza, ki je do leta 1935 povzročila velik upad cen svile in krizo panoge. V tridesetih letih je prevzela vodstvo na svetovnem trgu Japonska, ki je s križanjem sviloprejk dosegla izjemne dolžine svilene niti (Ipavec 2008).

V Beneški pokrajini in Furlaniji je tradicionalno svilogojstvo množično ponehalo v 70. letih 20. stoletja; posamezni specializirani rejci so delovali še v začetku 21. stoletja, zadnje letine so izvozili v Turčijo. Na Goriškem po drugi svetovni vojni panoga ni imela večjega gospodarskega pomena, vendar je omogočala obstoj tekstilne industrije v Jugoslaviji kot del posvojenne obnovne politike. Evgen Mayer je kritiziral predvojni kapitalizem, ki je dopuščal špekulacije pri odkupih svilenih zapredkov; socialistični sistem je uvedel enotne prodajne pogoje. Po 60. letih 20. stoletja so se kmetje preusmerili k donosnejšim kulturam, predvsem vinogradništvu in sadjarstvu, ter izsekavali murvine nasade, saj svilogojstvo kot postranska panoga ni bilo več finančno zanimivo (Ipavec 2008).

V 90. letih 20. stoletja je kitajska proizvodnja svile postala okoljsko nevdržna, ob tem pa je zaradi družbenih sprememb upadala tudi kmečka delovna sila. Svetovna proizvodnja svile je začela drastično padati, kar je v Evropi ponovno odprlo vprašanje gospodarske smiselnosti lokalne proizvodnje, predvsem kot dopolnilne kmetijske dejavnosti v okviru trajnostnih in zelenih praks povezanih z lokalno proizvodnjo.

## **01.06 Vernakularne prakse**

Svilogojstvo ni bilo le del tekstilne industrije in trgovskih mrež, temveč je globoko zaznamovalo tudi vsakdanjik podeželskega prebivalstva. Njegova zgodovina odraža dinamiko med globalnimi gospodarskimi tokovi, lokalnim znanjem in prilagoditvijo prebivalstva na spreminjajoče se razmere.

Svilogojstvo je vzpostavilo sezonske ritme, ob katerih so se ljudje ravnali podobno kot pri drugih kmetijskih opravilih. Svilogojska sezona je trajala od sredine maja do konca junija, približno šest tednov. V tem času so rejci skrbeli za sviloprejke, ki so v razvoju prešle skozi pet faz, ločenih s štirimi obdobji mirovanja. Zadnja stopnja se je končala z zapredanjem, po katerem je bilo treba zapredke pobrati v osmih dneh, da ne bi metulji uničili svilenih niti (Ipavec 2008; Žontar 1957).

Največjo skrb je predstavljala priprava krme, saj je bila kakovost in količina murvinih listov odločilna za pridelek. V deževnih obdobjih so kmetje listje pobirali z vejami vred ter ga sušili na skednjih in podstrešjih, da bi preprečili gnitje in zagotovili ustrezno hrano za gosenice. Kot oporo pri zapredanju so uporabljali raznolike materiale, pogosto tiste, ki so jih imeli pri roki: neomlateno pšenično slamo, veje grmovja ali dreves, praprot, pa tudi posušena ohrovtova stebela in stebela oljne repice. Ta improvizirana raba kaže na iznajdljivost rejcev in vpetost svilogojstva v kmečko okolje (Antolič 2004).

Ko so gosenice zapredle, so lastniki kokonov skrbeli, da se pridelek čim prej proda ali predela. Zapredke so morali pogosto konzervirati, saj so starejši postajali neuporabni, če se je iz njih razvil metulj. To so preprečevali s postopki

»zamorjenja«, najpogosteje z žveplovimi hlapi ali paro. Do sredine 19. stoletja pa je bilo običajno, da so kmetje del kokonov pustili za nadaljnjo rejo – iz njih so se izlegli metulji, ki so znesli jajčeca. Ta so hranili na hladnem in jih ob pravem času segrevali, celo v nedrih, da bi se izvalila sočasno z olistanjem murv (Ipavec 2008).

Svilogojstvo je poleg surove svile ustvarjalo številne stranske produkte, ki so našli pot v obrt in gospodinjstvo. Ti t. i. svileni odpadki ali *falope* so predstavljali material, ki ga je bilo mogoče ponovno vključiti v proizvodne procese, bodisi v obrtništvu bodisi v svilarski industriji. Mednje so sodili različni ostanki: kosmata svila (*strusa*), svila poškodovanih kokonov (*bavela*), notranji svileni ostanki po odvijanju niti (*bigati*), pomanjkljivi in zamazani kokoni (*valope*) ter zapredki, ki so jih stkale dve gosenici hkrati (*dvojčki* oziroma *doplani*). Čeprav so ti izdelki veljali za manj kakovostne, so jih pogosto uporabljali za izdelavo grobih tkanin, polnil ter preje za vsakdanjo rabo.

Iz t. i. svilenega omota oziroma odpadkov, ki so ostali po odvijanju niti, so izdelovali polnila za vzglavnike, žimnice in prešite odeje. Ženske so te odpadke pogosto predelale v debelejšo prejo, iz katerih so pletle trpežne nogavice, cenjene zaradi svoje mehkoobe in toplote (Ipavec 2008). Tako se je svilogojstvo vpelo tudi v domačo tekstilno kulturo, ki je presegala luksuzne izdelke namenjene tržišču. Tako odpadki v pravem pomenu besede pravzaprav ni obstajal – vsaka stopnja svilogojstva je ustvarjala materiale, ki so našli svojo funkcijo, kar kaže na trajnostno naravnost te dejavnosti že v preteklosti.

Pomembno vlogo je imel tudi murvin les, ki se je cenil zaradi svoje trdnosti in posebnih lastnosti. Iz njega so sodarji izdelovali čebre in sode, ki so se uporabljali pri vinarstvu. Murvin les je vinu dajal posebno aromo, zato je bil zelo priljubljen med vinogradniki (Žontar 1957).

Vse te prakse kažejo, da svilogojstvo ni bilo le gospodarska panoga vezana na mednarodno trgovino, temveč celovit življenjski sistem, ki je sooblikoval kulturno krajino, delovne navade in materialno kulturo podeželskega prebivalstva.

## **01.07 Sodobni kontekst**

Danes so največje proizvajalke svile Kitajska, Indija, Uzbekistan, Brazilija, Japonska, Južna Koreja, Tajska, Vietnam, Severna Koreja in Iran. Kljub temu, da svilogojstvo zahteva sorazmerno velik vložek dela, panoga pomembno prispeva k ohranjanju zaposlenosti podeželskega prebivalstva, preprečuje beg s podeželja, zahteva sorazmerno nizke naložbe in se dobro obnese kot dopolnilna kmetijska dejavnost. Največji porabniki svilenih proizvodov so ZDA, Italija, Japonska, Indija, Francija, Kitajska, Velika Britanija, Švica, Nemčija, Arabski Emirati, Koreja in Vietnam (Barcelos, Oiko in Salvador 2022).

## 02 Pregled obstoječih aplikacij svile v različnih industrijah

Svila je naravno vlakno, ki je sestavljeno iz proteina fibroina in se uporablja v tekstilijah že najmanj 5000 let. Več kot 90% komercialno proizvedene svile izloča udomačena sviloprejka *Bombyx mori*, ki se prehranjuje izključno z listi murve (Astudillo et al, 2014). Je eden najstarejših znanih naravnih materialov, ki se že tisočletja uporablja predvsem v tekstilni industriji, v aplikacijah, kot so moda, oblazinjeno pohištvo, preproge, trakovi, za mešanje z drugimi vlakni v tekstilni industriji, za šivanje, pletenje, vezenje in podobno (Barcelos, Oiko in Salvador 2022).

V zadnjih desetletjih pa postaja vse bolj prepoznana kot visokotehnološki biopolimer z izjemnimi mehanskimi, biološkimi in optičnimi lastnostmi, zaradi katerih se odpirajo nove možnosti njene uporabe v medicini, elektroniki, senzoriki in trajnostnih okoljskih rešitvah (Guidetti et al. 2022; Zhou et al. 2018).

Osrednja prednost svile je kombinacija lastnosti, ki jih drugi naravni ali sintetični materiali le redko združujejo: mehanska trdnost in lahkost (Wen et al. 2021), optična prosojnost (Bowen et al. 2016), biokompatibilnost in biorazgradljivost (Guidetti et al. 2022), pa tudi naravna odpornost, nizka toplotna prevodnost in sposobnost vezave barvil, naravna svetlost, visoka absorpcija, nizka statičnost ter dobra vzdržljivost (Barcelos, Oiko in Salvador 2022). Takšen nabor lastnosti svilo pozicionira kot material, ki lahko podpira razvoj različnih materialnih konfiguracij, od tekstilnih vlaken do medicinskih implantatov in bio-optičnih naprav. Poleg tega jo odlikuje mehanska in kemična prilagodljivost, kar omogoča razvoj različnih funkcionalnih oblik, kot so filmi, vlakna, hidrogeli in trdne oblike (Guidetti et al. 2022).

Kljub številnim prednostim pa ima svila tudi pomembne tehnične omejitve. Pri množični proizvodnji s tradicionalno rejo obstajajo težave s konsistentnostjo kvalitete vlaken (Guidetti et al. 2022; Ribul et al. 2021), prav tako pa je pridobivanje večjih količin zamudno, drago in zahteva veliko virov (Ribul et al. 2021). Nadaljnji izzivi vključujejo težavnost pri doseganju mehanskih optimumov in aktivne biofunkcionalnosti, kar omejuje popoln izkoristek potenciala svile v zahtevnejših tehnoloških aplikacijah (Guidetti et al. 2022). A tudi na tem področju se razvijajo biotehnološke in procesne inovacije, ki omogočajo prehod od tradicionalnega gojenja sviloprejk k sodobnim, okolju prijaznejšim metodam, ki lahko zagotovijo obsežno in konsistentno proizvodnjo svilenih proteinov (Ribul et al. 2021).

### 02.01 Sodobna tekstilna industrija

Digitalizacija in avtomatizacija sta močno preoblikovali sodobno svilogojstvo. Uvedba avtomatskih strojev za navijanje svile (*Automatic Reeling Machines – ARMs*) omogoča povsem avtomatizirano obdelavo kokonov, natančen nadzor temperature med prekuhavanjem kokonov in več-filamentno navijanje z visoko konsistenco *denierja*<sup>1</sup>. Z uporabo senzorjev in nadzora v realnem času je mogoče natančno spremljati hitrost navijanja, napetost, temperaturo in debelino filamentov; eliptični detektorji denierjev pa omogočajo avtomatske korekcije za ohranjanje uniformnosti niti. Ti stroji zagotavljajo višjo kakovost, manj odpadkov ter omogočajo tudi manjše,

<sup>1</sup> Denier (D) je merilna enota za linearno maso gostote vlaken.

energetsko učinkovite proizvodne obrate (Thamizharasu et al. 2025).

Na področju tkanja se uporabljajo statve brez čolničkov, predvsem papir in statve na zračni curek, ki omogočajo visoko hitrost in natančnost ob minimalni poškodbi niti. Integracija CAD in CAM sistemov omogoča programiranje kompleksnih vzorcev neposredno v statve, kar omogoča masovno produkcijo brez izgube naravnega leska in teksture svile. Sodobni zaključni postopki vključujejo zaščitne in funkcionalne nanose proti mečkanju, krčenju ter antibakterijske premaze, pri čemer se kakovost izdelkov zagotavlja tudi z uporabo AI sistemov za zaznavanje napak v realnem času (Thamizharasu et al. 2025).

Na področju tekstilne proizvodnje so se pojavile biotehnološke rešitve, ki omogočajo obsežno in nadzorovano izdelavo svilenih beljakovin brez reje živali. Med ključnimi primeri sta podjetji AMSilk in Bolt Threads, ki svilene fibroine proizvajata s pomočjo fermentacije sladkorja z gensko spremenjenimi kvasovkami in bakterijo *E. coli* (Ribul et al. 2021). Takšni postopki ponujajo obnovljivo alternativo konvencionalni proizvodnji svile. Poleg tega se razvijajo inovativne metode, kot je ploskovno zapredanje na vrečevini iz jute, pri katerem so sviloprejke sinhronizirane s hormonom  $\beta$ -ecdysone. Tehnika izboljša čistost svile, zmanjša stroške ekstrakcije, ohranja življenjski cikel sviloprejk ter je primerna za komercialno proizvodnjo (Garay et al. 2014).

Pomemben poudarek industrije so trajnostni procesi. Digitalni tisk v primerjavi s tradicionalnimi metodami barvanja svile, bistveno zmanjša porabo vode in energije. Nove metode, kot so barvanje s superkritičnim ogljikovim dioksidom, plazemska in ultrazvočna obdelava, tehnike s pomočjo mikrovalov zmanjšujejo onesnaževanje okolja (Thamizharasu et al. 2025). Prav tako se uveljavljajo naravna barvila, kot sta indigo in kurkuma (Thamizharasu et al. 2025).

Naštete inovacije kažejo, da sodobna svilena tekstilna industrija prehaja od tradicionalne proizvodnje k trajnostnim, biotehnološkim in avtomatiziranim procesom, ki zmanjšujejo okoljski odtis in hkrati ohranjajo vrhunske funkcionalne in estetske lastnosti materiala.

## **02.02 Medicina in biotehnologija**

Biomedicinska uporaba svile temelji na njeni biokompatibilnosti, biorazgradljivosti in sposobnosti integracije v človeško tkivo brez sprožanja močnih imunskih odzivov. V primerjavi s sintetičnimi polimeri in kolagenom svila povzroča zgolj blag in kratkotrajen vnetni odziv, hkrati pa ne sproži adaptivnega imunskega sistema, kar omogoča varno integracijo in postopno zamenjavo z lastnim tkivom (Thurber, Omenetto in Kaplan 2015). Zaradi teh lastnosti je svila že uveljavljena v klinični rabi – kot šivalni materiali (Ethicon Inc.), pletene kirurške mreže (Sofregan Inc.) in terapevtska oblačila za bolnike z dermatološkimi boleznimi (DermaSilk) (Holland et al. 2018).

Raziskave in klinična testiranja potrjujejo svilene biomateriale kot posebej obetavne na področju celjenja ran, saj združujejo hemostatske lastnosti, nizko vnetno odzivnost, visoko prepustnost kisika in vode ter funkcijo bariere proti bakterijam (Holland et al. 2018). Postopki priprave za tovrstne biomedicinske aplikacije vključujejo razpredanje in razgumiranje kokonov za odstranitev sericina – z encimskimi ali drugimi kemičnimi metodami – ter obdelavo razgumiranih vlaken v stabilne svilene raztopine. Iz teh je mogoče razviti

filmov, hidrogelov in oblog, primerne za različne medicinske aplikacije (Holland et al. 2018).

Ponovno zanimanje za svilo v medicini, ki je od leta 2007 privedlo do številnih novih kliničnih preizkusov, registriranih pri uradu za prehrano in zdravila ZDA (FDA), odpira nove priložnosti na področjih zdravljenja ran, kroničnih bolezni in regeneracije tkiv. Svilene raztopine sviloprejk so se izkazale za učinkovite tudi pri zdravljenju sladkorne bolezni, kroničnih ran, vnetij in očesnih obolenj. V oftalmologiji svilene obloge dokazano spodbujajo solzenje, zmanjšujejo nepravilnosti roženice in pospešujejo celjenje poškodb roženice. Zaradi prosojnosti in sposobnosti ohranjanja celične vitalnosti so posebej primerne za zdravljenje sindroma suhega očesa in poškodb roženice, kjer spodbujajo rast celic in ohranjajo tkivno celovitost brez stranskih učinkov (Holland et al. 2018).

Poleg tega svileni biomateriali izkazujejo potencial pri obnavljanju kostnega tkiva: 3D porozne svilene obloge in ogrodja združujejo mehansko trdnost z biokompatibilnostjo, kar omogoča uporabo pri zamenjavi kosti. Tudi pri fiksaciji zlomov svileni materiali kažejo prednosti pred kovinskimi zlitinami, saj zagotavljajo ustrezno trdnost ob hkrati nižjih vnetnih odzivih in brez ustvarjanja kislega mikroklima v okolici implantata (Holland et al. 2018).

Svila se kaže kot obetaven biomaterial tudi za rekonstrukcijo bobniča pri zdravljenju kroničnih perforacij. Svilene membrane namreč zagotavljajo ustrezno mehansko podporo, hkrati pa omogočajo boljši prenos akustične energije v primerjavi s hrustancem ali papirjem, ki se tradicionalno uporabljata pri kirurških presaditvah. Resonanca svilenih membran se nahaja v območju človeškega sluha (3–8 kHz), njihova vibracijska amplituda pa presega tisto pri hrustancu, kar nakazuje potencial za izboljšane slušne rezultate ob ohranjeni strukturni stabilnosti. Čeprav trenutni *in vitro* modeli še ne morejo v celoti reproducirati naravne napetosti bobniča in njegove povezave z ušesnimi koščicami, rezultati potrjujejo potencial svile za inovativne aplikacije na področju otologije (Allardyce et al. 2016).

Inovativne priložnosti se kažejo tudi v uporabi odpadne svile za medicinske namene. Iz odpadne svile je mogoče izdelati biološka lepila, katera odlikuje prosojnost, raztegljivost, biokompatibilnost in močne adhezijske lastnosti, pri čemer učinkovito tesnijo rane tudi v mokrih in dinamičnih okoljih (Yang et al. 2021). Prav tako so bili razviti anizotropni kriogeli in ogrodja iz svilenih fibroinov, ki zaradi visoke poroznosti in sposobnosti hitre povrnitve oblike po stiskanju predstavljajo obetavne rešitve za področje tkivnega inženiringa (Yetiskin in Okay 2017).

Svila torej v kontekstu biomedicine kaže širok razpon aplikacij – od šivov in oblog, do biolepil, tkivnih ogrodij ter rešitev za regeneracijo očesnih in kostnih tkiv – ter priložnosti za nadaljnji razvoj.

## **02.03 Elektronika, optika in akustika**

Edinstvena kombinacija lastnosti svile – prosojnosti, mehanske trdnosti, biokompatibilnosti, biorazgradljivosti – jo poleg že opisanih polj uporabe, uvršča tudi med materiale z veliko potenciala na področju bio-optičnih, akustičnih in elektronskih tehnologij. Svila je enostavna za obdelavo in

hkrati izkazuje lastnosti, ki so posebej pomembne pri razvoju nosljivih in implantabilnih naprav (Wen et al. 2021). Zaradi teh značilnosti je že uporabljena pri izdelavi popolnoma svilenih upogljivih elektronskih naprav (Bowen et al. 2016; Wen et al. 2021) ter bio-optičnih senzorjev, ki so biorazgradljivi in celo užitni, kar omogoča njihovo uporabo v medicini in prehranski varnosti – na primer za odkrivanje kontaminantov v hrani, spremljanje glukoze ali pH v krvi, pa tudi pri izdelavi sončnih panelov (SPIE Professional 2009).

V polju naprednih materialov so posebej obetavni nanokompoziti iz svilenega fibroina in grafena, ki združujejo elastičnost, mehansko moč, biokompatibilnost in elektronsko prevodnost. Takšni homogeni kompoziti se lahko oblikujejo v filme, vlakna ali premaze, njihova multifunkcionalnost pa odpira možnosti za razvoj pametnih tekstilij, nosljive elektronike in elektronskih kož (Ling et al. 2018). Druge inovativne tehnike, kot je mezoskopsko sestavljanje materialov (*mesoscopic material assembly – MMA*), omogočajo oblikovanje biokompatibilnih, večnamenskih materialov, pri čemer se ohranjajo mehanske lastnosti svile, kar predstavlja dodaten potencial za razvoj bio-integriranih naprav (Lin et al. 2016).

Nedavne raziskave so pokazale, da ima svila zaradi svoje tankosti, elastičnosti in akustične odzivnosti velik potencial tudi pri razvoju akustičnih naprav. V študiji, kjer so tradicionalne svilene tkanine integrirali s piezoelektričnim vlakenskim aktuatorjem, se je izkazalo, da takšna struktura lahko deluje kot membrana zvočnika, sposobna oddajanja zvoka do 70 dB, kar je primerljivo s klasičnimi avdio napravami. Poleg oddajanja zvoka omogočajo svilene membrane tudi učinkovito dušenje hrupa, kar omogoča prostorsko dinamično kontrolo akustike do 68 %, kar presega omejitve običajnih tehnologij za nadzor hrupa. S tem svila odpira možnosti za razvoj tankih, lahkih in estetskih akustičnih rešitev z uporabo v arhitekturi, nosljivi tehnologiji in naprednih zvočnih sistemih (Yang et al. 2024).

Zaradi svoje vsestranskosti raziskovalci svilo označujejo kot dobro platformo za vrsto visokotehnoloških aplikacij – od tkivnega inženiringa, doziranja zdravil in implantantskih medicinskih naprav do bio-optičnih komponent in začasnih elektronskih naprav (Zhou et al. 2018). Kot poudarjajo Guidetti et al. (2022), se potencial svile razteza čez več področij – optiko, elektroniko, senzoriko, biomedicino, akustiko in prehransko tehnologijo – kar jo pozicionira kot izredno zanimiv biomaterial za tehnološke inovacije.

## **02.04 Okoljske aplikacije, trajnostni in etični vidik**

Trajnost svile presega zgolj njeno biorazgradljivost. Nanaša se na celoten življenjski cikel – od pridelave do recikliranja. Svilena vlakna in odpadki svilne industrije lahko predstavljajo pomemben vir za razvoj krožnega gospodarstva. Letno nastane približno 11 milijonov ton svilenih odpadkov, ki jih je mogoče predelati nove tekstilne materiale, v kozmetične izdelke in gnojila (Hassan et al. 2025). Odpadna svila se uspešno uporablja tudi za izdelavo fibroinskih filmov (Jaramillo-Quiceno et al. 2017), regeneriranih fibroinskih vlaken s tehniko mokrega predenja (Mollahosseini et al. 2019), kot tudi za pridobivanje sericina v kozmetični in farmacevtski industriji (Orlandi et al. 2020). Poleg tega se raziskuje možnost pridobivanja bioplina iz odpadkov sviloprejk in njihovih

iztrebkov, ki imajo višji energetski potencial od konvencionalnih kmetijskih gnojil, kar ponuja priložnost za dodatni dohodek malih kmetov (Łochyńska in Frankowski 2018).

Svileni materiali imajo pomemben trajnostni potencial tudi na področju okoljskega inženirstva: netkane taftane tekstilije iz odpadnega materiala kokonov so se izkazale kot učinkovite za čiščenje oljnih razlitij, saj material izkazuje hidrofobne in oleofilne lastnosti ter izjemne sposobnosti absorpcije olja. Material je mogoče učinkovito uporabljati vsaj pet ciklov, z znižano absorpcijsko kapaciteto, hkrati pa ima sposobnost popolne biorazgradljivosti v tleh v 100 dneh, kar predstavlja trajnostno alternativo sintetičnim absorpcijskim sredstvom (Viju et al. 2022). Superhidrofobni svileni nanokompoziti razviti iz degumirane svile obdelane z oksidno plazmo in obloženi z reduciranim grafenom (rGO) izkazujejo izjemne sposobnosti adsorpcije oljnih onesnaževal v vodi (Abd-Elbaki et al. 2022). Dodatno raziskave kažejo možnost uporabe svilnega fibroina kot naprednega materiala za pridobivanje energije in okoljsko sanacijo (Reizabal et al. 2023) ter za razvoj trajnostnih elektronskih naprav (Bowen et al. 2016).

Kot obnovljiv material z dolgo življenjsko dobo se svila dobro vključuje v nove paradigme trajnostne mode in tekstilne industrije, kjer je poudarek na recikliranju, obnovi in zmanjšanju odpadkov. Vključitev trajnostnih praks lahko okrepi lokalne ekonomije, poveča odpornost na podnebne spremembe in zagotovi pravičnejšo porazdelitev vrednosti (Hassan et al. 2025). S tem svila ni le visokotehnološki material, temveč tudi nosilec družbeno in okoljsko odgovornih praks, ki prispevajo k trajnostni transformaciji industrij.

A kadar govorimo o okoljski odgovornosti, ne moremo zanemariti etičnega vidika, ki je pri svilogojstvu še kako relevanten. Konvencionalno svilogojstvo namreč temelji na postopku, pri katerem so sviloprejkine bube ubite s paro ali vročim zrakom, še preden se preobrazijo v metulja, saj preboj skozi kokon pretrga svileno nit in zmanjša njeno kakovost (Lee 1999). Ocenjuje se, da je za pridobitev 450 gramov svile potrebnih okoli 3000 življenj sviloprejk (Planthoin 2016), kar ob globalnem obsegu industrije pomeni vsakoletno smrt milijonov živali. Čeprav je bila etična razsežnost v modni in tekstilni industriji dolgo časa potisnjena na rob in pogosto obravnavana kot radikalno aktivistična (Planthoin 2016), pa se zadnja desetletja vedno bolj uveljavlja razprava o vplivu tekstilne industrije na okolje, zdravje in dobrobit živali (Lee 2007; Davies, Lee in Ahonkhai 2012). To spremlja tudi sprememba v potrošniških navadah – vse več ljudi se odloča za trajnostne in etične izdelke, pri čemer se pričakuje, da se bo delež etične mode v prihodnjih letih še povečal (Accenture 2020; thredUp 2020).

Alternativni pristopi, kot je t. i. nenasilna svila (ang. *peace silk*, tudi *ahimsa silk*), ponujajo bolj etične pristope. Metoda, ki jo je v zadnjem desetletju 20. stoletja na komercialni ravni vzpostavil Kusuma Rajaiiah v Indiji, temelji na tem, da se sviloprejkam omogoči naravna metamorfoza – šele po izletu metuljev se uporabljajo preluknjani kokoni, iz katerih se nato pridobi vlakna (Khanna 2019; Sannapapamma in Naik 2008). Čeprav med pridelovalci velja prepričanje, da metulji pri izletu vlakna močno poškodujejo, so mikroskopske analize pokazale, da jih v večji meri le odrinejo, kar omogoča nadaljnje spredanje (Ozkavruk Adanir et al. 2024). V zgodovinskem kontekstu ima nenasilno pridobivanje svile

sicer korenine že v budističnih praksah med 6. in 10. stoletjem v kitajski regiji Hotan, kjer je bilo spoštovanje vseh živih bitij vključeno v tekstilno tradicijo (Feng 2012).

Čeprav je nenasilna svila zaradi deloma prekinjenih vlaken bolj primerna za ročne statve ali kot votek v kombinaciji z lanom in bombažem, pa predstavlja pomemben premik v smeri etičnih praks (Ozkavruk Adanir et al. 2024). K podobnim etičnim inovacijam sodi tudi metoda ploskega zapredanja, pri kateri se sviloprejke z obliko konstrukcije podlage spodbudi, da svoje niti zapredejo v ploskovite, mrežaste strukture, iz katerih je mogoče izdelati tekstil brez ubijanja živali (Garay et al. 2014; Oxman et al. 2014).

Čeprav etična moda še ne dosega enake rasti kot trajnostna prehrana ali turizem (Whitfield 2019), so potrošniški trendi po pandemiji COVID-19 naklonjeni večjemu povpraševanju po etičnih in trajnostnih tekstilnih materialih, kar lahko v prihodnosti okrepi pomen svile, pridelane v skladu s trajnostnimi in etičnimi načeli (Robinson and Charm 2020).

## **02.05 Izzivi in omejitve proizvodnje svile**

Tradicionalna proizvodnja svile ostaja energetsko, prostorsko in delovno intenzivna, hkrati pa proizvaja vlakna nekonsistentne kakovosti (Guidetti et al. 2022; Ribul et al. 2021; Thamizharasu et al. 2025). Procesi, ki temeljijo na serikulturi, zahtevajo veliko časa, virov in specializiranih znanj, kar otežuje prehod iz ročnih metod v avtomatizirane procese. Poleg tega je kmetijska pridelava sviloprejk močno odvisna od podnebnih pogojev, letnih sezonskih razlik in občutljiva na bolezni ter pesticide, kar povzroča visoko tveganje v dobavnih verigah (Holland et al. 2018).

Dodatno težavo predstavljajo postopki obdelave. Konvencionalne metode razgumljevanja (npr. z milom ali sodo) pogosto močno poškodujejo fibroin, kar vodi do nižje molekulske mase, zmanjšane viskoznosti in slabših mehanskih lastnosti (Kim et al. 2017). Čeprav okolju prijaznejši postopki razgumiranja, ki uporabljajo vrelo vodo, visokotlačne sisteme ali kalcijev hidroksid, zmanjšujejo vpliv na okolje, ostajajo dragi in neučinkoviti (Zhao in Zhang 2020). Poleg tega je barvanje svile še vedno odvisno od agresivnih kemikalij, kar dodatno zmanjšuje njeno trajnostno vrednost (Hassan et al. 2025).

Industrija se sooča tudi z izzivi pri ponovni uporabi in recikliranju svile. Odpadna svila sicer ponuja priložnost za sekundarne tokove, na primer v medicinskih aplikacijah, vendar je konsistentnost mehanskih lastnosti odpadnih vlaken težko zagotoviti, dobavne verige med tekstilnimi in zdravstvenimi sektorji pa so slabo razvite (Yang et al. 2021). Vse to omejuje učinkovit prehod v krožne modele rabe materialov.

Na sistemski ravni se proizvodnja sooča z visokimi stroški razogljčenja, tehnološkimi omejitvami recikliranja ter negotovimi naložbenimi donosi (Chen et al. 2024). Razdrobljenost vrednostnih verig, pomanjkanje standardiziranih ekoloških procesov in šibka potrošniška ozaveščenost (Hassan et al. 2025) dodatno zmanjšujejo konkurenčnost svile v primerjavi z množično proizvedenimi sintetičnimi polimeri (Holland et al. 2018).

Za izpolnitev polnega potenciala svile kot visokotehnološkega biopolimera bi bilo torej nujno razviti standardizirane, trajnostne in cenovno dostopne

processe, izboljšati učinkovitost biotehnoške proizvodnje, izkoristiti vse odpadne tokove, hkrati pa oblikovati regulativne okvire, ki bodo omogočili transparentno, varno in široko uporabo svile v medicini, naprednih tehnologijah in krožnem gospodarstvu.

## 03 Primeri inovativnih praks

### 03.01 Julian Melchiorri: Silk Leaf (Hobson 2014)

Projekt *Silk Leaf* oblikovalca Juliana Melchiorrija, diplomanta Royal College of Art, raziskuje možnosti uporabe svile kot osnove za prvo umetno biološko listje. V so-delovanju z laboratorijem za svilo na univerzi TUFTS je Melchiorri razvil material, v katerem so kloroplasti iz rastlinskih celic vpeti v proteinsko matrico svile. Ta posebna kombinacija stabilizira molekule in omogoča fotosintezo podobno kot pri naravnih listih – za proizvodnjo kisika potrebuje le svetlobo in majhno količino vode.

Takšno umetno listje, ki je izjemno lahko, biološko razgradljivo in energijsko učinkovito, ima potencial za različne aplikacije: od notranjih prostorov, kjer bi lahko hkrati osvetljevalo in proizvajalo kisik, do velikih zunanjih sistemov, kot so fasade ali prezračevalni sistemi, ki bi filtrirali zrak in ga bogatili s kisikom. Posebno zanimiv je potencial za vesoljske misije, kjer naravne rastline zaradi breztežnosti ne morejo rasti – tehnologija *Silk Leaf* bi lahko omogočila dolgotrajnejša potovanja in bivanje v vesolju.

### 03.02 Mediated Matter: Silk Pavilion (MIT Media Lab)

Oxman, N., Laucks, J., Kayser, M., Duro-Royo, J., Gonzales-Uribe, C. 2014. FABRICATE Conference Proceedings, Fabio Gramazio, Matthias Kohler, Silke Lanenber (eds.) ta Verla, Pp. 248-255

Projekt *Silk Pavilion* je zasnovala raziskovalna skupina Mediated Matter na MIT Media Lab v sodelovanju s prof. Fiorenzom Omenettom (Univerza TUFTS) in dr. Jamesom Weaverjem (Inštitut WYSS, Harvard). Projekt raziskuje povezave med digitalno in biološko fabrikacijo na produktni in arhitekturni ravni. Primarno strukturo sestavlja 26 poligonalnih panelov iz svilenih niti, ki jih je izdelal CNC-stroj. Navdih za proces izvira iz sposobnosti sviloprejk, da iz ene same, večnamenske svilene niti v dolžini približno 1 km ustvari tridimenzionalni kokon. S pomočjo algoritma je bila oblikovana prostorska geometrija, pri kateri je bila nit razporejena v različno gostih plasteh.

V drugem koraku so vlogo “bioloških tiskalnikov” prevzele sviloprejke: 6.500 sviloprejk je bilo nameščenih ob dnu ogrodja, kjer so s ploskovnim zapredanjem zapolnjevale vrzeli in dodatno ojačevale primarno strukturo. Po fazi bube so bile sviloprejke odstranjene, metulji pa bi lahko proizvedli do 1,5 milijona jajčec, kar zadostuje za izdelavo približno 250 novih paviljonov. Opazovanja so pokazala, da se sviloprejke odzivajo na prostorske in okoljske pogoje ter se premikajo proti temnejšim in gostejšim območjem. Variacije v razporeditvi niti so bile zato uporabljene tudi za oblikovanje svetlobnih učinkov, pri čemer je pot sonca določila velikost, gostoto in lokacijo odprtih v strukturi.

Poleg same prostorske aplikacije je projekt odprl tudi raziskovalno vprašanje, ali je mogoče sviloprejke obravnavati kot “računske entitete”, ki s svojim vedenjem oblikujejo materialne strukture glede na zunanje pogoje. S tem so raziskovalci preizkušali nove pristope k optimizaciji oblik in materialne razporeditve v vlaknastih površinskih strukturah.

Foto 1 – “Silk Leaf” prototip



Foto 2 – Silk I v Media Lab



Foto 3 – Silk II v MoMA



### 03.03

#### **Vivian Xu: 'Projekt: Sviloprejka' (Kersnikova 2019)**

*Projekt: Sviloprejka* umetnice Vivian Xu združuje umetnost, biologijo in tehnologijo v raziskovanju vedênja sviloprejk (*Bombyx mori*) ter možnosti njihove integracije v hibridne stroje. Sedemletno opazovanje življenjskega cikla, bioritmov in genetskih variacij teh žuželk je umetnici omogočilo zasnovo serije bio-strojev, ki ustvarjajo samoorganizirane 2D in 3D svilene strukture. Stroji delujejo v zaprtem povratnem sistemu, kjer se prepletata biološki material (sviloprejke) in računalniško nadzorovano okolje, kar odpira pot avtonomni, deloma avtomatizirani proizvodnji svilenih niti.

Projekt, ki je prvi del serije *Trilogija žuželk*, raziskuje ustvarjalni potencial in prostorsko inteligenco žuželk, hkrati pa preizprašuje možnosti kibernetskih sistemov in srečanj med nepredvidljivim vedenjem živih organizmov ter mehanskimi strukturami. V prvem prototipu (*Stroj I: Horizontalno predenje*) je Vivian uporabila električne impulze za subtilno usmerjanje gibanja sviloprejk, kar je privedlo do nastanka neenakomerno goste dvodimenzionalne strukture. Drugi prototip (*Stroj II: Prostorsko predenje*), navdihnjen z raziskavami MIT Media Lab, je sviloprejke izpostavil destabilizirajočim prostorskim pogojem – vrtljiva steklena čaša brez vogalov je spodbudila nove načine zapredanja, kjer se je struktura oblikovala pod vplivom spreminjajoče se gravitacije. Tretji prototip (*Stroj III: Levitacija*) pa predvideva razvoj kapsule, ki bi v magnetnem polju lebdela in se gibala tridimenzionalno, s čimer bi povsem spremenila logiko zapredanja.

Xu pri svojem delu povezuje tisočletno tradicijo svilgojstva z aktualnimi raziskavami iz vedenjske biologije, materialne znanosti in digitalne fabrikacije. S tem ustvarja vizionarska hibridna okolja, kjer se živi organizmi in stroji povezujejo v kompleksne, nepredvidljive in potencialno nove oblike proizvodnje ter sobivanja.

### 03.04

#### **Paloma Cañizares: Silk Pavilion (Corredera 2023)**

*Silk Pavilion* španske arhitektke Palome Cañizares je rezultat večletnega raziskovanja strukturnih možnosti različnih vrst utrjenega tekstila, pri čemer je osrednji material svila. Prvič je bil predstavljen na 9. ediciji mednarodnega festivala arhitekture in oblikovanja Concéntrico v Logroñu, nato pa prestavljen v vrtove Nuevos Ministerios v Madridu.

Paviljon raziskuje dva ključna cilja: preizpraševanje uporabe svile kot gradbenega materiala ter iskanje nove povezave med obiskovalci in mestnim prostorom. Zunanost paviljona sestavljajo pozlačene plošče iz utrjene svile, notranjost pa prekrivajo črna svilena vlakna, ki v kombinaciji z geometrijsko zasnovo ustvarjajo dramatičen preplet svetlobe in senc. Svetloba v prostor vstopa skozi dvanajstkotni okulus in ozke trikotne odprtine, kar daje vtis nenehno spreminjajoče se zvezdaste strukture.

Projekt dokazuje, da utrjena svila ponuja izjemne konstrukcijske možnosti – štirikrat večjo trdnost od jekla ob enaki presečni površini – ob hkratni lahкости materiala. Modularna zasnova omogoča enostavno sestavljanje, visoko prilagodljivost ter odpira pot novim, trajnostnim in interdisciplinarnim pristopom v arhitekturi. Silk Pavilion tako predstavlja vizionarski poskus uporabe tradicionalnega tekstila kot inovativnega gradbenega elementa, ki povezuje trdnost, lahkotnost in prostorsko poetičnost.

Foto 4 – Projekt Sviloprejka v  
Galeriji Kapelica



Foto 5 – “The Silk Pavilion”  
v Logroñu



### 03.05

#### **Ilaria La Manna: Bombix Bricks (Smith 2016)**

Projekt *Bombix Bricks* italijanske oblikovalke Ilarie La Manna raziskuje svilo kot gradbeni in konstrukcijski material v arhitekturi. Cilj je ustvariti rastoče,časne prostorske instalacije, katerih morfologija se lahko sčasoma razgradi nazaj v tekoče stanje, kar omogoča ponoven razvoj in gradnjo na novi lokaciji.

La Manna arhitekturo razume kot živo tkanino, ki jo je mogoče nadzorovati in usmerjati. Vizija prihodnosti, kot jo opiše, je arhitekt, ki na gradbišče pride zgolj s strojem in epruveto, iz katerih lahko ustvari nove prostore. Takšen pristop zmanjšuje potrebo po številnih materialih in težkih gradbenih strojih, saj samo naravni material – svila – postane osnova za rast konstrukcije.

Metoda Bombix Bricks temelji na procesu gojenja svile v javnem prostoru znotraj steklene kocke dimenzij 2 x 2 x 2 m. S pomočjo vakuumske črpalke se iz kocke izsesa zrak, tla prekrije tekoča svila, ki ob reakciji ustvari velike mehurje z voronoijevo geometrijo. Ko liofilizator doseže ustrezno točko, se mehurji zamrznejo v določeni obliki in začnejo sušiti. Po odstranitvi steklene kocke in vakuumske naprave nastane začasen paviljon – prostor, ki ga javnost lahko raziskuje, otipa in doživi. Projekt tako ponuja radikalen eksperiment, ki svilo preoblikuje v rastoč gradbeni material ter odpira razpravo o prihodnosti arhitekture kot časne, prilagodljive in biološko osnovane prakse.

### 03.06

#### **Podjetje Cosetex: T.Silk®, Silk Dust in Silk Paper (Cosetex)**

Podjetje Cosetex razvija različne inovativne aplikacije svile, ki segajo od tekstila do medicinskih in trajnostnih rešitev. Njihov izdelek T.Silk® je 100-odstotno svileno polnilo za oblačila, ki deluje kot naravni termoregulator – ohranja prijetno telesno temperaturo, hkrati pa preprečuje zadrževanje vlage in neprijetno hlajenje, zato je idealen za modo, tehnična in zunanja oblačila.

Z inovativnim postopkom predelave svilenih vlaken v prah podjetje proizvaja Silk Dust, svileni prah iz fibroina, namenjen medicinskim, biomedicinskim in kozmetičnim aplikacijam ter zaključnim obdelavam tkanin in usnja. Tak prah omogoča nove površinske teksture in učinke, hkrati pa podpira načela ponovne uporabe in recikliranja prekomernih proizvodov.

Poleg tega Cosetex razvija tudi Silk Paper, sodobno različico tradicionalnega japonskega papirja washi, pri čemer kot osnovni material uporablja ostanke svile. Tak papir lahko nadomesti celulozo, zmanjša sečnjo gozdov in emisije CO<sub>2</sub> ter poveča krožno rabo svilenih vlaken. Zaradi svoje posebne strukture in otipa je primeren za ekskluzivno embalažo, unikatne tiskovine ter ultralahke papirje za posebne namene.

Cosetex svilo uveljavlja kot vsestranski material – naraven, trajnosten in uporaben na številnih področjih.

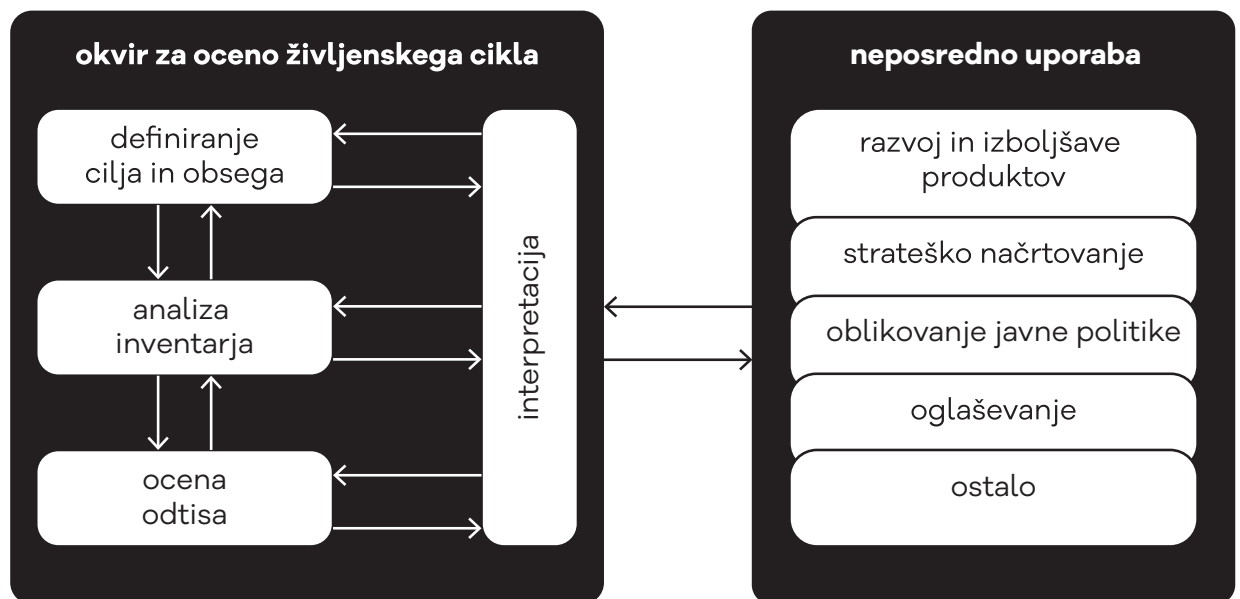
Foto 6 – Bombix Bricks prototip



Foto 7 – T.Silk® polnilo iz 100% svile



Okoljski vpliv kmetijstva v proizvodnji tekstilij je področje naraščajočega zanimanja zakonodajalcev in potrošnikov, ki zahtevajo okoljsko odgovornost izdelkov in storitev. Celostno vrednotenje okoljskih vplivov (ang. *Life Cycle Assessment – LCA*) je najbolj razširjeno in pogosto uporabljeno orodje za pomoč pri kvantifikaciji okoljskih vplivov in razumevanju najboljših načinov izboljševanja proizvodnih sistemov. Je najbolj celovito in robustno orodje za okoljsko profiliranje ter primerjavo proizvodnih procesov in analizo kompromisov med njimi (npr. konvencionalno vs. ekološko kmetijstvo).



Shema 1 – Faze LCA študije in njihova razmerja.

Cilji LCA študij so izgradnje kvalitativnih inventarjev v proizvodnih procesih, opredelitev mej celotnega sistema, znotraj katerega so raziskovalni proizvodni procesi, ter izračunave okoljskega odtisa raziskovalnega procesa v specifičnem kontekstu. Pri izvajanju se raziskovalci opirajo na znanstveno in tehnično literaturo, državne direktive, vprašalnike in baze podatkov (npr. Ecoinvent), rezultati pa so predstavljeni v razmerju na funkcionalno enoto procesa. To omogoča primerjavo med različnimi študijami, pri čemer moramo biti pazljivi, saj različne študije operirajo z različnimi metodologijami in nimajo istih raziskovalnih okvirjev (Astudillo et al. 2014).

Poleg analize že obstoječih sistemov pa lahko LCA študije služijo kot orodje pri izgradnji novih sistemov. Pregled že obstoječih študij nudi vpogled v različne proizvodne procese, stranske produkte in največje priložnosti za

izboljšavo, kar lahko pripomore k bolj premišljenemu načrtovanju novega sistema, če so ugotovitve pravilno prilagojene na lokalni kontekst. S tem namenom sta v tem poglavju predstavljeni dve študiji LCA:

- Life Cycle Assessment of Indian Silk
  - avtorjev Miguel F. Astudillo, Gunnar Thalwitz in Fritz Vollrath
- Basis for Conducting Life Cycle Assessment of Brazilian Silk Yarn Manufacturing
  - avtorjev Silvia Barcelos, Olívia Oiko in Rodrigo Salvador

Na podlagi teh so nato sintetizirane ugotovitve obeh študij v obliki sheme celotnega procesa sviloprejstva, od vzreje murv do pridelave svilene niti. Poudarjeni so tudi glavni problemi, ki se pojavljajo v obstoječih sistemih, in na katere moramo biti posebej pozorni pri načrtovanju trajnostnega sistema.

#### **04.01 Life Cycle Assessment of Indian Silk**

Študija na podlagi pregleda znanstvene in strokovne literature proizvodnje svile sestavi inventar prvega življenjskega cikla proizvodnje visokokakovostne svile v tropskih razmerah v južni Indiji. Analizo so omejili na proces od vzgoje murv do proizvodnje surove svile. Funkcionalno enoto opredeli kot 1 kilogram surove svile pri tovarniških vratih, za katero so avtorji preračunali vrednosti za naslednje kazalnike okoljskih vplivov:

- potencial globalnega segrevanja v 100 letih (GWP100)
  - merilo, ki se uporablja za oceno vpliva toplogrednih plinov na segrevanje ozračja
- ekotoksičnost po modelu USEtox
  - potencial kemične, fizične ali biološke snovi za povzročanje škodljivih vplivov na organizem, populacijo, skupnost ali ekosistem
- evtrofikacija sladke vode
  - proces nasičenja vode z dušikovimi spojinami, kar pospeši rast alg in višjih rastlin
- urbana in kmetijska obremenitev zemljišč
  - koliko zemlje je namenjene proizvodnemu procesu
- kumulativna poraba elektrike (CED)
  - skupna količina energije porabljene v celotnem življenjskem ciklu produkta
- odtis modre vode
  - izračun porabe površinske vode in podtalnice v proizvodnem sistemu

Raziskovalci so za analizo uporabljali metodologijo v skladu s standardom ISO 14040/44, mednarodno prizanim standardom za izvajanje LCA analiz, ki

ocenjuje okoljski odtis produkta ali dejavnosti” od zibelke do groba”. Za potrebe analize so konstruirali modele gojenja murve, reje sviloprejk in predenja svile, tipične za lokalni kontekst. Te so vzpostavili na podlagi podatkov pridobljenih iz znanstvene in strokovne literature, priporočene prakse so povzemali po vladnih smernicah, kmetijske prakse pa na podlagi ankete o vzreji kokonov sviloprejk v okrožju Dharmapuri. Manjkajoče podatke so avtorji dopolnjevali s približki na podlagi strokovnih virov in mednarodnih standardov, za določene kmetijske prakse (namakalne prakse, vzrejne dezinfekcijske prakse) pa so predpostavljali da so potekale po predpisih.

Raziskava predstavi dva sklopa rezultatov – proizvodnjo svile po državnih smernicah in opazovane kmetijske prakse. Primerjava obeh je bila izračunana za sklope:

- procesi v ozadju (ang. *background processes*)
- vzgoja murv
- gojenje sviloprejk
- sušenje, prekuhanje in predenje kokonov
- investicijsko blago
- razporeditev stranskih proizvodov

Poleg preračunov v naštetih kategorijah so raziskovalci opravili še analizo na področjih:

- vrzeli v podatkih
- analiza občutljivosti
- primerjava s kitajsko svilo
- priložnosti za izboljšavo

#### **04.01.01    *Procesi v ozadju (ang. background processes)***

Informacije o okoljskih obremenitvah dela na kmetiji in transporta so raziskovalci pridobili iz datoteke Ecoinvent v2.3. Kot glavna vira energije so identificirali elektriko in komercialno pridobljena drva za kurjavo. Za preračun okoljske obremenitve uporabe komercialno pridobljenih drv so se sklicevali na podatke o kurjavi evkaliptusa, katerega so identificirali kot najpogosteje uporabljen tip lesa za kurjavo v raziskovalnem kontekstu. Analizirali so:

- okoljske obremenitve dela na kmetiji
- energetske vire

Pri preračunih okoljskega odtisa kurilnega lesa so bili pozorni na:

- kurilno vrednost
- vlažnost pri sečnji
- kraj izvora
- spremembe v stopnji gozdnatosti kraja izvora lesa v zadnje 10 letih

#### 04.01.02 Vzgoja murv

Zgodovinsko gledano so murve sorta, ki potrebuje izdatno gnojenje. Stopnjo gnojenja in donosa listja so raziskovalci povzemali po znanstvenih študijah za sorto murve V-1, najpogosteje gojeno sorto murve z visokim donosom listja. Pri primerjavi državnih smernic in dejanske prakse so se osredotočili predvsem na odstopanja v razmerju med uporabo kmetijskega gnoja in sintetičnih gnojil. Analizirali so:

- |  |   |
|--|---|
| 2 predvidena na količini pridelka, razmerju veje/listje in relativni vlažnosti                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• vrste in količino gnojil</li><li>• dobavne poti gnojil</li><li>• razmerje med gnojenjem in količino pridobljenega listja</li><li>• utelešeno energijo pridobljene biomase<sup>2</sup></li></ul> |
| 3 predvidena glede na sistem zalivanja, tip zemlje, količino padavin in porabo elektrike za črpanje vode | <ul style="list-style-type: none"><li>• poraba vode<sup>3</sup></li><li>• oranje</li><li>• uporabo pesticidov</li><li>• izguba naravnih zemljišč</li></ul>  |

#### 04.01.03 Vzreja sviloprejk

Ključna informacija za analizo okoljskega odtisa vzreje sviloprejk je količina pridelka. Ta je odvisna od sorte sviloprejk, kvalitete listja in okoljskih pogojev v času zapredanja, in se navadno navaja v kilogramih sveže zapredenih kokonov na 100 legel brez bolezni<sup>4</sup> – kar predstavlja okoli 40.000 jajčec.

4 leglo brez bolezni – količina jajčec, ki jih izleže ena večča

Eden izmed glavnih virov okoljskega onesnaženja pri večini vrst vzreje živali so emisije plinov črevesne fermentacije, predvsem metan in natrijev oksid. Za razliko od nekaterih insektov ki proizvajajo oba, sviloprejke proizvajajo le natrijev oksid. Dnevni proizvod natrijevega oksida so raziskovalci predpostavili na podlagi raziskav izločanja plina drugih žuželk podobne velikosti. Poleg emisij plinov črevesne fermentacije so raziskovalci posebno pozornost namenili razkužilom uporabljenim za čiščenje rejnih miz in razkuževanje sviloprejk, z namenom preprečevanja širjenja bolezni. Analizirali so:

- količino pridelka
- emisije plinov črevesne fermentacije
- uporabo razkužil

Pri analizi uporabe razkužil so bili pozorni na:

- identifikacijo najpogosteje uporabljenih razkužil
- kemijsko sestavo
- dobavne poti

#### 04.01.04 Sušenje, prekuhavanje in razpredanje kokonov

Raziskovalci so identificirali da je večina indijske svile predelane v nizkocenovnih obratih imenovanih *chakra*, v katerih kot primaren vir energije za prekuhavanje kokonov uporabljajo lokalni les ali druge biomase. Zaradi nizke kvalitete proizvedene surove svile v teh obratih indijske oblasti podpirajo investicije v več-končnične navijalne stroje (ang. *multi-end reeling machine*),

katere ravno tako napaja para iz kotlov na drva. Raziskovalci so ugotovili podobne približke uporabe lesa pri obeh vrstah predelave. Analizirali so:

- porabo lesa za prekuhanje
- porabo vode za prekuhanje
- porabo elektrike za sušenje kokonov

#### **04.01.05 Investicijsko blago**

Vzreja in predelava sviloprejk zahteva namenske prostore in opremo. Glede na identifikacijo tipov obratov za vzrejo in predelavo sviloprejk so raziskovalci analizirali:

- materiale za tipsko gradnjo
- lesene strukture za vzrejo sviloprejk
- materialno sestavo strojev za predelavo kokonov v predivo

#### **04.01.06 Stranski produkti**

Skupni delež pretvorbe suhe snovi iz listov murv v surovo svilo je le 5% (Dai-gang, 2013). Zaradi tega je vzpostavljanje celovitega sistema serikulture, takšnega ki vkomponira tudi porabo stranskih produktov, poglobitnega pomena. V raziskavi so identificirali dve glavni kategoriji stranskih produktov:

- stranski produkti vgoje murv
  - listi neprimerni za krmo sviloprejk
  - stebila murv
  - odpadki vzreje sviloprejk primerni za kompostiranje
- stranski produkti predelave kokonov
  - odpadna svila neprimerna za predenje
  - larve sviloprejk
  - sericin

Stranske produkte iz prve kategorije kmetje najpogosteje uporabljajo za krmo, gorivo ali kompost. Iz druge kategorije največjo okoljsko obremenitev predstavljajo larve sviloprejk in sericin, za katere raziskovalci niso identificirali nobene tržne vrednosti v Indiji.

#### **04.01.07 Zaključki**

Rezultati raziskave kažejo, da je proizvodnja svile po priporočenih praksah intenzivna panoga glede na razmerje med vložkom dela in količino proizvedenega produkta. Prav tako ima pridobivanje živalskih vlaken in živinoreja na splošno veliko višje zahteve po surovinah in energiji kot vzgoja rastlin, z večjim številom stranskih produktov. A primerjava rezultatov raziskave, s podatki Ecoinvent baze podatkov, razkrije, da ima Indijska svila večji okoljski odtis v večini kategorij kot večina drugih živalskih vlaken. Za to je najbolj zaslužen proces vzreje kokonov znotraj neučinkovite kmetijske infrastrukture, specifično dobave električne energije in slabih namakalnih

sistemov. Za izrazito problematične se izkažejo stranski produkti proizvodnje surove svile. Z izjemo lesa za kurjavo in odpadne svile imajo te nizko tržno vrednost, pri čemer larve in sericin predstavljata preko 50% suhe teže končnega rezultata pridelave svile, ki v času študije v Indiji niso bili v uporabi. Raziskovalci so opazili tudi odstopanja med kmetijskimi praksami od državni priporočil, zaradi česar je okoljski vpliv na funkcionalno enoto še večji.

#### **04.02 Basis for Conducting Life Cycle Assessment of Brazilian Silk Yarn Manufacturing**

Študija predstavi LCA proizvodnje surove svile v Braziliji v obliki kvalitativnega inventarja proizvodnih procesov. Ponuja pregled med najbolj relevantnimi vhodnimi in izhodnimi elementi v okviru predelave preje – od pridobivanja kokonov do prodaje surove svile v obliki pramenov. Parametri študije so oblikovani za kontekst kmetijske industrije v zvezni državi Prana v Braziliji.

Cilj študije ni izvedba LCA ampak izgradnja kvalitativnega inventarja za proizvodnjo svilene niti v Braziliji, pri čemer se avtorji naslanjajo na analizo znanstvene in tehnične literaturo. S pomočjo tega opredeljujejo meje celostnega sistema, znotraj katerega se nahaja opredeljen proizvodni sistem. Zaradi tega se študij osredotoča samo na proizvodnjo surove svile in ne izključuje vzgoje murve in reje sviloprejk, kot tudi ne kasnejših faz, kot je uporaba preje in konec življenjske dobe.

Ključne kategorije analize:

- ekotoksifikacija vode
  - negativni učinki kemikalij, težkih kovin, plastik in drugih onesnaževalcev na vodne organizme in ekosisteme
- toksičnost za ljudi
  - potencial snovi za negativne učinke na človekovo zdravje skozi različne oblike izpostavljenosti (zauživanje, vdihavanje, kožni kontakt)
- ekotoksičnost
  - potencial kemične, fizične ali biološke snovi za povzročanje škodljivih vplivov na organizem, populacijo, skupnost ali ekosistem
- potencial globalnega segrevanja (GWP)
  - merilo, ki se uporablja za oceno vpliva toplogrednih plinov na segrevanje ozračja
- evtrofikacija sladke vode
  - proces nasičenja vode z dušikovimi spojinami, kar pospeši rast alg in višjih rastlin
- kmetijska obremenitev zemljišč
  - koliko zemlje je namenjene proizvodnemu procesu

- zameljsko zakisljevanje
  - nižanje pH zemlje zaradi atmosferskega odlaganja zakisljevalnih spojin, kot so žveplov oksid, dušikov dioksid in amonijak
- odtis modre vode
  - izračun porabe površinske vode in podtalnice v proizvodnem sistemu

#### **04.02.01 Predvideni procesi**

Študija predpostavi osem raziskovalnih sklopov procesa pridelave surove svile in jih dopolni z vhodnimi in izhodnimi elementi z vsak proces (Shema 2)

#### **04.02.02 Ključni problemi izvajanja raziskave**

Raziskovalci so v študiji identificirali ključne težave, ki bi se porodile pri izvajanju študije LCA proizvodnje svilene preje v Braziliji:

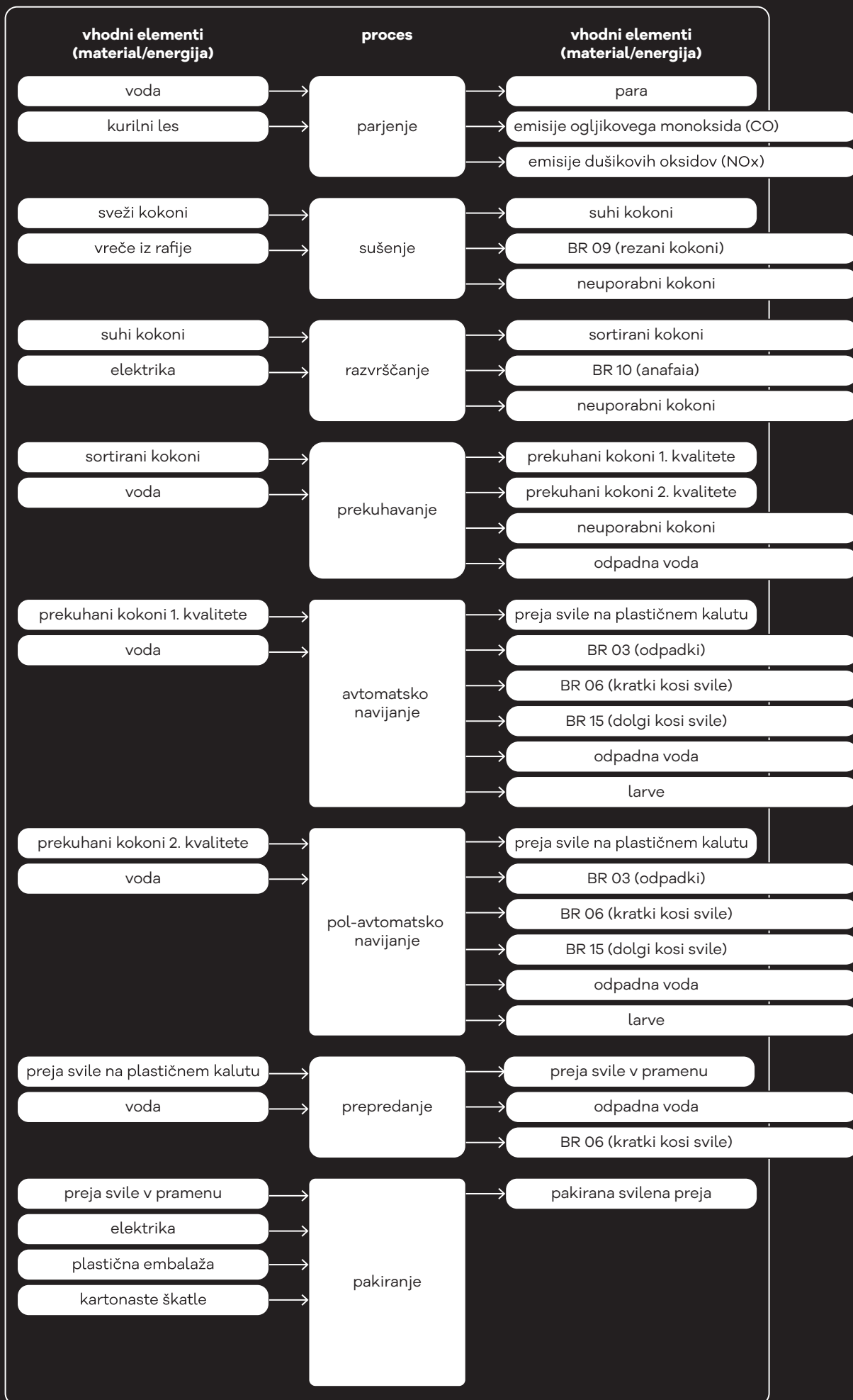
- pomanjkanje podatkov
  - zelo malo obstoječih inventarjev podatkov relevantnih za regionalne pogoje, zaradi česar bi bilo treba opravljati obsežne raziskave za pridobivanje primarnih podatkov
- pridobivanje reprezentativnih podatkov
  - za nekatere procese se podatki ne merijo ločeno
- odprtost podjetja
  - proizvodnja surove svile je v Braziliji povsem centralizirana, proizvodnjo nadzira eno podjetje, zato je odločilno, ali bi bilo podjetje zagotoviti vse podatke.

#### **04.03 Sinteza**

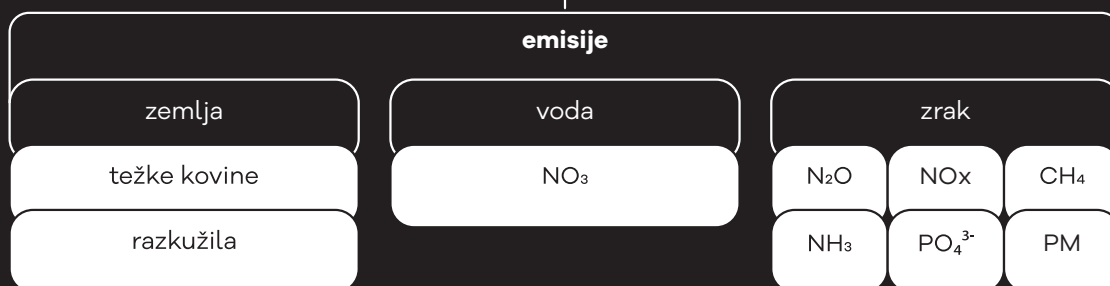
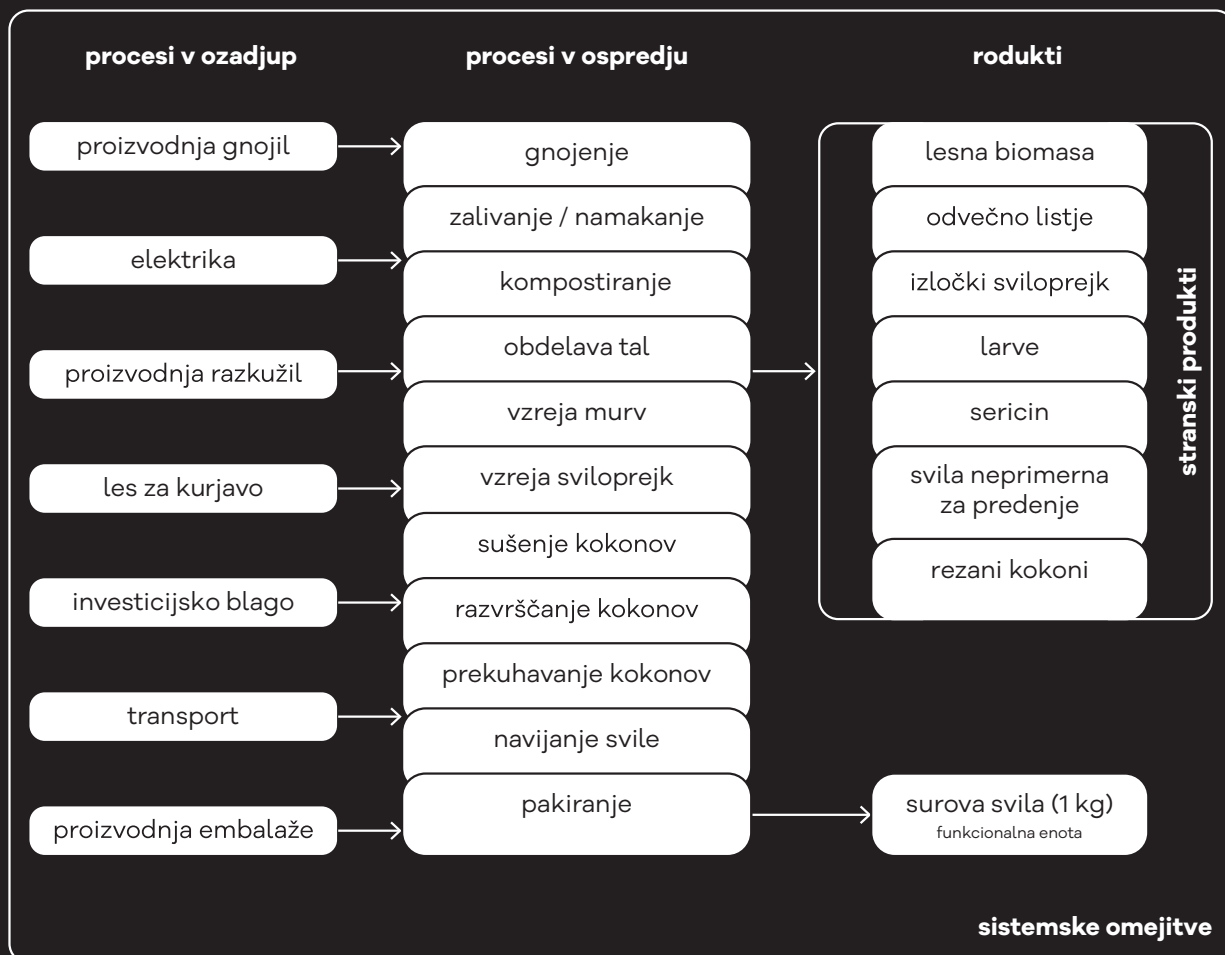
Iz pregleda in primerjave obeh študij lahko razberemo dopolnjujoče se cilje in namene, kljub različnim fokusom raziskave. Kjer primer Indije proces pridobivanja svile analizira bolj celostno – od vzreje murv do proizvodnje preje, primer Brazilije nudi bolj poglobljen in razdelan proces predelave kokonov v prejo. Z združitvijo kvalitativnih inventarjev procesov obeh raziskav lahko dobimo zelo poglobljen vpogled v sistemske omejitve proizvodnje surove svile od vzgoje murv do preje surove svile, ki ga lahko uporabljamo kot vodilo pri načrtovanju novih sistemov (Shema 3).

Obstoječi sistemi pridelave svile kažejo velik potencial za izboljšave z vidika trajnosti, so pa te zmožnosti zelo raznolike, saj so vezane na lokalne (podnebne) pogoje, državne regulacije in načine proizvodnje. Glede na rezultate obstoječih raziskav lahko identificiramo ključna področja, na katera moramo biti pazljivi pri načrtovanju novega sistema:

- stroga regulacija gnojil in nadzorovanje uporabe v praksi
- omogočanje uporabe zelene energije
- načrtovanje sistema, ki vključuje porabo vseh stranskih produktov



Shema 2 – Kvalitativni inventar procesov proizvodnje surove svile



Shema 3 – Sistemske omejitve proizvodnje surove svile

## **05 Projekcije in analiza priložnosti**

### **05.01 Projekcije**

Obuditev zanimanja za svilo – tako kot trajnostni kot tudi visokotehnološki material – je v zadnjih letih spodbudila pomembne spremembe in napredek na področju serikulture in pridelave svile. Na podlagi pregleda obstoječe literature in znanstvenih raziskav, podrobneje obravnavanih v poglavju 02, predstavljamo projekcije razvoja svilne industrije v prihodnjih desetletjih v okviru štirih kategorij: (1) proizvodnja svile, (2) medicina in biotehnologija, (3) elektronika, optika in akustika ter (4) trajnost in etični vidiki. Projekcije temeljijo na ključnih trendih, raziskovalnih usmeritvah ter potrebah trga, identificiranih v okviru pregleda in analize literature.

#### **Proizvodnja svile:**

- optimizacija procesov pridobivanja visoko kakovostne svile s pomočjo digitalne in robotske tehnologije
- biotehnološka izdelava svilenih beljakovin brez vzreje živali

#### **Medicina in biotehnologija:**

- napredne medicinske aplikacije v obliki filmov, hidrogelov, oblog in tkivnega inženiringa
- razvoj novih biokompatibilnih materialov
- izdelava dozirnih sistemov zdravi iz sericinal

#### **Optika in akustika:**

- razvoj nosljivih in implantabilnih naprav ter bio-optičnih senzorjev
- uporaba v razvoju pametnih tekstilij
- razvoj inovativnih prostorskih akustičnih elementov

#### **Trajnostni in etični vidik:**

- vzpostavitev krožnih sistemov proizvodnje svile, ki temelji na povezavi večih industrij za učinkovito uporabo stranskih produktov proizvodnje svile
- aplikacije v okoljskem inženirstvu
- vzpostavitev sistemov za reciklažo vlaken odpadnih svilenih tekstilij
- porast zanimanja po etičnih in trajnostnih tekstilnih materialih

Obuditev svilene industrije v Sloveniji se sooča z omejeno konkurenčnostjo na mednarodnem trgu, zlasti z vidika kakovosti in tržne vrednosti. Kitajska in Indija, ki skupaj obvladujejo približno 90 % svetovnega tržnega deleža, razpolagata z visoko razvitimi in tehnološko dovršenimi industrijskimi obrati, kar Sloveniji otežuje neposredno konkuriranje. V teh okoliščinah je smiselno usmeriti pozornost v prepoznavanje priložnosti za tržno diferenciacijo, ki bi slovensko svilo lahko pozicionirale kot prepoznaven produkt z dodano vrednostjo. V nadaljevanju so predstavljene prepoznane priložnosti, razvrščene v štiri vsebinske kategorije, ter potencialni zunanji partnerji s področja znanosti in industrije.

## **05.02 Analiza priložnosti**

### **05.02.01 Ekonomsko-družbene priložnosti**

Svilarska industrija, ki ima dolgo zgodovino in tradicijo, danes ponovno pridobiva na pomenu zaradi novih družbenih, trajnostnih in tehnoloških usmeritev. Razvoj serikulture in sodobnih praks predelave svile ponuja vrsto priložnosti, ki lahko prispevajo k razvoju lokalnih skupnosti, krepitvi trajnostnega gospodarstva ter ustvarjanju novih nišnih trgov z visoko dodano vrednostjo.

Serikultura kot dopolnilna dejavnost predstavlja priložnost za male kmetije in družinske obrate. Goji se jo lahko razpršeno, v majhnem obsegu, brez večjih začetnih investicij in brez potrebe po obsežni infrastrukturi. Ker zahteva predvsem ročno delo, lahko pridelava svile prispeva k ohranjanju podeželskih skupnosti, ustvarjanju dodatnih virov dohodka in medgeneracijskemu prenosu znanja. Poleg tega omogoča diverzifikacijo kmetijske dejavnosti, kar povečuje odpornost malih kmetov na nihanja trga in podnebne spremembe.

### **05.02.02 Trajnostne priložnosti**

Pridelava svile je lahko zasnovana na načelih krožnega gospodarstva, če posrbimo, da se vse od vzgoje krme – murve – pa do predelave svilenega materiala in ravnanja z odpadki, sledi trajnostnim smernicam. Pri vzgoji murvinih dreves, ki so osnovna krma sviloprejk, je treba slediti smernicam organskega vrtnarjenja, pri čemer se ne sme uporabljati pesticidov in umetnih gnojil. Lokalna pridelava omogoča kratke transportne poti in s tem znižanje ogljičnega odtisa.

Tudi predelava svile odpira možnosti za trajnostne prakse. Uporaba zelene energije v predelovalnih procesih, digitalna optimizacija proizvodnje za zmanjšanje odpadkov ter uporaba trajnostnih tehnik barvanja (npr. z naravnimi pigmenti) omogočajo proizvodnjo z zmanjšanim ogljičnim odtisom v primerjavi s konvencionalnimi svilarskimi pristopi. Pomemben potencial predstavlja tudi uporaba odpadnih materialov, ki nastanejo v proizvodnem procesu: ti stranski proizvodi se lahko predelajo v nove tekstilne materiale, kozmetične in farmacevtske sestavine (sericin) ali gnojila, kar ustvarja dodatne tokove prihodkov in ustvarja krožne tokove materialov.

### **05.02.03 Priložnosti na področju etične proizvodnje**

V globalnem kontekstu, kjer so potrošniki vedno bolj občutljivi na izvor materialov in proizvodne prakse, se odpira prostor za razvoj etične svilarske industrije. Veliko ljudi se ne zaveda, da tradicionalna proizvodnja svile vključuje ubijanje sviloprejk, zato je ozaveščanje potrošnikov ključnega pomena. Proizvodnja svile v manjšem obsegu, s poudarkom na etičnih in trajnostnih metodah, kot je ploskovno zapredanje ali nenasilna svila, lahko oblikuje tržno nišo z visoko dodano vrednostjo. Takšni izdelki imajo potencial pritegniti ozaveščene kupce, ki so pripravljeni plačati višjo ceno za izdelke, ki ne temeljijo na izkoriščanju živali ter so obenem lokalni in trajnostni.

### **05.02.04 Priložnosti za nove oblikovalske prakse**

Posebno priložnost za raziskovanje na področju oblikovanja izdelkov

predstavlja tehnika ploskovitega zapredanja svile, ki trenutno velja za nišno, a je v oblikovanju in umetnosti zaradi projekta *Silk Pavilion* raziskovalne skupine Mediated Matter (MIT), vzbudila veliko zanimanja. Gre za metodo, ki sviloprejkam omogoča, da zapredejo ploskev namesto kokonov, s čimer se izognemo ubijanju živali. Ta pristop je posebej zanimiv za področje biodesigna, saj omogoča integracijo z novimi tehnologijami digitalne produkcije in odpira vrata razvoju inovativnih aplikacij – od tekstilnih materialov do oblikovanja uporabnih predmetov, interierjev in manjših prostorskih konstrukcij. Prednosti ploskovitega zapredanja so številne: etična in lokalna proizvodnja, možnost trajnostnega oblikovanja ter povezovanje tradicionalne serikulture z naprednimi tehnološkimi in oblikovalskimi praksami.

Svilarska industrija se danes nahaja na presečišču tradicije in inovacije. Na eni strani ponuja priložnosti za dopolnilne dejavnosti za male kmetije in lokalne skupnosti, na drugi strani pa ustvarja priložnosti za razvoj naprednih, trajnostnih in etičnih proizvodnih praks. Povezovanje ekonomsko-družbenih, trajnostnih, etičnih in raziskovalnih priložnosti nakazuje, da se lahko svilarska industrija v prihodnosti razvije v zgled krožnega, odgovornega in inovativnega sektorja.

#### **05.02.05 Pregled potencialnih zunanjih sodelujočih partnerjev s področja znanosti in industrije**

Razvoj raziskovalnih, praktičnih in pedagoških projektov na področju svilogojstva, svilarstva in uporabe svile, ponuja široke možnosti za povezovanje z zunanjimi partnerji iz znanosti, industrije in oblikovanja/umetnosti. Takšna partnerstva so ključna za zagotavljanje interdisciplinarnega znanja, dostopa do infrastrukture ter za uresničevanje trajnostnih, inovativnih aplikacij v praksi.

Pomemben potencial za povezovanje predstavljajo raziskovalne organizacije. V slovenskem prostoru izstopa Zavod Kersnikova, ki v Ljubljani združuje Galerijo Kapelico, Rampo (prostor za raziskovanje razmerij med družbo, znanostjo, tehnologijo in umetnostjo) ter laboratorij BioTehna (posvečen umetniškemu raziskovanju živih sistemov). Kersnikova je v mednarodnem kontekstu prepoznana kot eno ključnih središč za presečiščno raziskovanje umetnosti, znanosti in novih tehnologij v regiji. Znotraj njenega programa se je že razvijal projekt Sviloprejka umetnice Vivian Xu, kar kaže na neposredno povezljivost z raziskavami na področju svile.

V slovenskem prostoru se kot posebej relevantni partnerji zdijo tudi podjetja iz farmacevtskega in kozmetičnega sektorja. Lek in Krka, vodilna farmacevtska proizvajalca, bi lahko v primeru razvoja krožnih modelov svilarske industrije postala ključna partnerja pri preusmerjanju stranskega produkta sericina, ki ima veliko uporabno vrednost v farmaciji. Na podoben način se ponujajo priložnosti sodelovanja z domačimi proizvajalci kozmetike, kot je Kozmetika Afrodita, kjer bi svileni proteini lahko postali sestavina za razvoj trajnostnih in inovativnih kozmetičnih izdelkov.

Na mednarodni ravni sta za raziskave na presečišču znanosti, tehnologije in oblikovanja posebej relevantna dva centra. Prvi je Silklab na TUFTS Univerzi v Bostonu, ki razvija inovacije v napredni obdelavi in proizvodnji svilenih materialov na osnovi trajnostnih, ogljično nevtrálnih tehnologij. V

svojem raziskovanju si prizadevajo razviti novo generacijo živih materialov, ki delujejo na stičišču biološkega in tehnološkega sveta. Drugi je MIT Media Lab, interdisciplinarni raziskovalni center z močnim vplivom na prihodnji razvoj tehnologij in družbe. Njihov najbolj odmeven projekt na področju svile je bil Silk Pavilion (glej poglavje 03).

## **Pregled potencialnih inovativnih učnih okolij in prostorov nadaljnega raziskovanja**

Raziskovanje svile kot materiala in svilogojstva kot prakse odpira številne priložnosti za inovativno pedagoško delo in oblikovalsko raziskovanje. Povezuje področja naravoslovja, tehnologije, humanistike in umetnosti ter spodbuja razmišljanje o odnosu človeka z drugimi vrstami, o trajnostnih praksah in etičnih dimenzijah proizvodnje materialov. V nadaljevanju je opisan pregled potencialnih inovativnih učnih okolij in prostorov nadaljnega raziskovanja, ki razkrivajo možnosti za krepitev učenja in poučevanja za trajnostno družbo prihodnosti s poudarkom na vizualni in trajnostni pismenosti, zlasti na 2. in 3. stopnji izobraževanja. Predstavljene so potencialne teme in učna okolja, ki bi lahko služila kot izhodišča za interdisciplinarno raziskovanje in razvoj novih oblikovalskih pristopov.

- **Trajnostni biokompozitni materiali na bazi svile**

Raziskovanje uporabe svile kot sestavine v biokompozitih za razvoj novih trajnostnih materialov. Tema odpira možnosti prototipiranja bio-osnovanih izdelkov in preizkušanja njihovih mehanskih, estetskih in ekoloških lastnosti.

- **Svila, pametna oblačila in nosljiva tehnologija**

Povezava svile kot naravnega, biokompatibilnega materiala z elektroniko in senzorsko tehnologijo za razvoj pametnih tekstilij. Tema vključuje raziskovanje integracije prevodnih vlaken, bio-senzorjev in interaktivnih elementov v svilena oblačila ter odpiranje vprašanj o potencialih funkcionalnosti nosljivih tehnologij.

- **Etični in trajnostni vidik v svilogojstvu in svilarstvu**

Analiza vpliva svilogojstva in proizvodnje svile na živali, okolje in družbo. Tema omogoča razvoj oblikovalskih orodij za osveščanje in spodbujanje etičnih praks, raziskovanje alternativ (npr. ahimsa svile, laboratorijsko gojene svile) ter vključevanje konceptov pravičnih izdelkov in storitev.

- **Oblikovanje vizualnih identitet za komuniciranje dodane vrednosti etičnih in trajnostnih izdelkov**

Raziskovanje grafičnega oblikovanja, vizualnih sistemov in blagovnih znamk, ki podpirajo komunikacijo trajnostne in etične vrednosti svile ter svilarskih izdelkov. Vključuje oblikovanje embalaže, informacijskih gradiv in digitalnih orodij, ki potrošniku približajo zgodbo etične proizvodnje materiala.

- **Posthumanistične metode za oblikovanje s sviloprejkami**

Raziskovanje načinov za vključevanje sviloprejk v oblikovalski proces na pravičen, enakopraven način. Razumevanje sviloprejk kot soudeležence v oblikovalskem procesu odpira eksperimentalne pristope, ki izzivajo antropocentrične paradigme oblikovanja ter razvijajo nove načine participativnega ustvarjanja z drugimi vrstami.

- **Informacijsko oblikovanje in oblikovanje vmesnikov za sledljivost dobavnih verig v svilarski industriji**

Razvoj vizualnih in interaktivnih orodij za razumevanje kompleksnosti dobavnih verig svile. Vključuje aplikacije, grafične prikaze in digitalne platforme, ki omogočajo transparentnost in sledljivost materialov, od vzgoje murv in reje sviloprejk, do končnega izdelka.
- **Sistemske in storitvene oblikovanje na primeru lokalne svilarske industrije**

Raziskovanje, kako lahko sistemske in storitvene oblikovanje prispevata k revitalizaciji lokalne proizvodnje svile. Tema odpira priložnosti za razvoj poslovnih modelov, izobraževalnih programov, skupnostnih praks in trajnostnih storitev povezanih s svilogojstvom, svilarstvom in uporabo svile.
- **Spekulativno oblikovanje za razumevanje potencialov aplikacije svile v visokotehnoloških kontekstih**

Uporaba spekulativnih metod za raziskovanje prihodnjih možnosti uporabe svile v medicini, arhitekturi, robotiki ali vesoljskih tehnologijah. Tema vključuje razvijanje imaginarnih scenarijev in prototipov, ki odpirajo razprave o prihodnosti materialov, tehnologije in etiki njihove uporabe.
- **Kulturna dediščina in narativno oblikovanje v kontekstu svile**

Raziskovanje zgodovinskih in kulturnih pomenov svile ter njihovo prepletanje s sodobnimi oblikovalskimi praksami. Tema povezuje raziskovanje tradicij, vernakularnih praks, obredov in zgodb s sodobnim narativnim oblikovanjem.
- **Bio-digitalno oblikovanje in generativni pristopi s svilo**

Uporaba digitalnih orodij (parametrično modeliranje, algoritmi, 3D tiskanje) v kombinaciji z naravnimi lastnostmi svile za razvoj novih hibridnih oblik in struktur. Poudarek je na eksperimentiranju z medsebojnim prepletanjem digitalnih in bioloških procesov.

- Abd-Elbaki, M. K. M., Ahmed, R. M. G., & Khalil, A. S. G. (2022). Silk-based 2D nanocomposites for superior oily wastewater remediation. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132707.
- Adanir, E. O., İleri, B., Can, F., & Ulasli, B. (2024). An ethical approach to sericulture: Production of peace silk in Hatay/Turkey. *TEXTILE*, 22(1), 20-30.
- Allardyce, B. J., Rajkhowa, R., Dilley, R. J., Xie, Z., Campbell, L., Keating, A. D., Atlas, M. D., Unge, L., & Wang, X. (2016). Comparative acoustic performance and mechanical properties of silk membranes for the repair of chronic tympanic membrane perforations. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 64, 65-74.
- Antolič J. (2004). *Svilogojstvo in svilarstvo na Slovenskem* [diplomsko delo Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo].
- Astudillo, M. F., Thalwitz, G., & Vollrath, F. (2014). Life cycle assessment of Indian silk. *Journal of Cleaner Production*, 81, 158-167.
- Barcelos, S. M. B. D., Salvador, R., Barros, M. V., de Francisco, A. C., & Guedes, G. (2021). Circularity of Brazilian silk: Promoting a circular bioeconomy in the production of silk cocoons. *Journal of Environmental Management*, 295, 113373.
- Chang, Y., Chen, H.-L., & Francis, S. (1999). Market applications for recycled postconsumer fibers. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 27(3), 329-346.
- Chelazzi, D., Badillo-Sanchez, D., Giorgi, R., Cincinelli, A., & Baglioni, P. (2020). Self-regenerated silk fibroin with controlled crystallinity for the reinforcement of silk. *Journal of Colloid and Interface Science*, 572, 31-38.
- Chen, X., Cheng, X., Zhang, T., Chen, H.-W., & Wang, Y. (2023). Decarbonization practices in the textile supply chain: Towards an integrated conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 430, 139652.
- Corredera, A. (2023). *Silk as a structural element: Silk Pavilion by Paloma Cañizares*. Metalocus. <https://www.metalocus.es/en/news/silk-a-structural-element-silk-pavilion-paloma-canizares>
- Cosetex. (b. d.). *Innovative Silk: The perfect combination of tradition and innovation*. <https://www.cosetex.it/en/the-innovative-silk/>
- Fan, S., Chen, J., Lam, Y., Yang, J., Bian, X., & Xin, J. H. (2025). Colored silk fibroin reclaimed from dyed silk and its utilization in wool dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 445, 145722.

- Garay, L. B., Nembri, A., Oro, A. L., Fassina, V. A., das Neves Saez, C. R., Chiarello, A. S., Pereira, N. C., Pessini, G. M., Munhoz, R. E. F., & Fernandez, M. A. (2014). New technique to produce large amount of flat silk by biospinning. *Agricultural Sciences*, 5(14), 1483-1490.
- Giacomin, A. M., Garcia Jr., J. B., Zonatti, W. F., Silva-Santos, M. C., Laktim, M. C., & Baruque-Ramos, J. (2017). Brazilian silk production: economic and sustainability aspects. *Procedia Engineering*, 200, 89-95.
- Guidetti, G., d'Amone, L., Kim, T., Matzeu, G., Mogas-Soldevila, L., Napier, B., Ostrovsky-Snider, N., Roshko, J., Ruggeri, E., & Omenetto, F. G. (2022). Silk materials at the convergence of science, sustainability, healthcare, and technology. *Applied Physics Reviews*, 9(1), 011302.
- Hassan, R., Acerbi, F., Terzi, S., & Rosa, P. (2025). Transitioning the silk industry towards circularity: A thematic analysis of sustainable value chain practices. *Sustainable Production and Consumption*, 50, 122-134.
- Ho, G., Kubušová, V., Irabien, C., Li, V., Weinstein, A., Chawla, S., Yeung, D., Mershin, A., Zolotovskiy, K., & Mogas-Soldevila, L. (2023). Multiscale design of cell-free biologically active architectural structures. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1125156.
- Holland, C., Numata, K., Rnjak-Kovacina, J., & Seib, F. P. (2019). The biomedical use of silk: Past, present, future. *Advanced Healthcare Materials*, 8(1), 1800465.
- Ipavec, V. M. (2008). *Murve in "kavalirji": svilogojstvo na Goriškem*. Založba ZRC.
- Jaramillo-Quiceno, N., Álvarez-López, C., & Restrepo-Osorio, A. (2017). Structural and thermal properties of silk fibroin films obtained from cocoon and waste silk fibers as raw materials. *Procedia Engineering*, 200, 384-388.
- Kersnikova. (2019). *Vivian Xu: 'Projekt: Sviloprejka'*. <https://kersnikova.org/archive/event/vivian-xu-projekt-sviloprejka>
- Kim, H. H., Bae, Y. S., & Um, I. C. (2017). Effect of degumming methods on structural characteristics and properties of regenerated silk. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 294-302.
- Koh, L. D., Cheng, Y., Teng, C. P., Khin, Y. W., Loh, X. J., Tee, S. Y., Low, M., Ye, E., Yu, H. D., Zhang, Y. W., & Han, M. Y. (2015). Structures, mechanical properties and applications of silk fibroin materials. *Progress in Polymer Science*, 46, 86-110.
- Lin, N. B., Cao, L. W., Huang, Q. L., Wang, C. Y., Wang, Y., Zhou, J., & Liu, X.-Y. (2016). Functionalization of silk fibroin materials at mesoscale. *Advanced Functional Materials*, 26(48), 8885-8902.

- Ling, S., Wang, Q., Zhang, D., Zhang, Y., Mu, X., Kaplan, D. L., & Buehler, M. J. (2018). Integration of stiff graphene and tough silk for the design and fabrication of versatile electronic materials. *Advanced Functional Materials*, 28(9), 1705291.
- Łochyńska, M., & Frankowski, J. (2018). The biogas production potential from silkworm waste. *Waste Management*, 79, 564-570.
- Mahmoodi, N. M., Arami, M., Mazaheri, F., & Rahimi, S. (2010). Degradation of sericin (degumming) of Persian silk by ultrasound and enzymes as a cleaner and environmentally friendly process. *Journal of Cleaner Production*, 18(2), 146-151.
- Media MIT. (b. d.). *Project: Silk Pavilion*. <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>
- Mollahosseini, H., Fashandi, H., Khoddami, A., Zarrebini, M., & Nikukar, H. (2020). Recycling of waste silk fibers towards silk fibroin fibers with different structures through wet spinning technique. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119653.
- Murve.um. (b. d.). Zgodovina: zgodovina svilogojstva. [https://www.murve.um.si/?page\\_id=1149&lang=sl](https://www.murve.um.si/?page_id=1149&lang=sl)
- Olave, D. C. (2021). Design for biological research: Upjohn, Will Burtin, and the cell. *Design Issues*, 37(2), 16–31.
- Orlandi, G., Faragò, S., Menato, S., Sorlini, M., Butti, F., Mocchi, M., Donelli, I., Catenacci, L., Sorrenti, M. L., Croce, S., Segale, L., Torre, M. L., & Perteghella, S. (2020). Eco-sustainable silk sericin from by-product of textile industry can be employed for cosmetic, dermatology and drug delivery. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(9), 2549–2560.
- Reizabal, A., Costa, C. M., Pérez-Álvarez, L., Vilas-Vilela, J. L., & Lanceros-Méndez, S. (2023). Silk fibroin as sustainable advanced material: Material properties and characteristics, processing, and applications. *Advanced Functional Materials*, 33(3), 2210764.
- Ribul, M., Lanot, A., Tommencioni Pisapia, C., Purnell, P., McQueen-Mason, S. J., & Baurley, S. (2021). Mechanical, chemical, biological: Moving towards closed-loop bio-based recycling in a circular economy of sustainable textiles. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129325.
- Robinson, K., & Charm, T. (2020, October 15). The evolving consumer: How COVID-19 is changing the way we shop [Webinar]. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/about-us/covid-response-center/leadership-mindsets/webinars/evolving-consumer-how-covid-19-has-changed-us-shopping-habits>

- Seib, F. P. (2021). Emerging silk material trends: Repurposing, phase separation and solution-based designs. *Materials*, 14(5), 1160.
- Smith, H. (2016). *Ilaria la Manna's bombix bricks project looks at silk as a valid construction material*. Designboom. <https://www.designboom.com/architecture/ilaria-la-manna-bombix-bricks-09-08-2016/>
- Thamizharasu, T., Srikanth, P., Madhanram, G., Vengateshkumar, M., & Maheswari, S. (2025). Silk production systems, making of silk fabric: Industrial aspects. V *Silk marketing dynamics: Scientific insights and future prospects for silk consumers*.
- Thurber, A. E., Omenetto, F. G., & Kaplan, D. L. (2015). In vivo bioresponses to silk proteins. *Biomaterials*, 71, 145-157.
- Tonn, B., Frymier, P. D., Stiefel, D., Skinner, L. S., Suraweera, N., & Tuck, R. (2014). Toward an infinitely reusable, recyclable, and renewable industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 66, 392-406.
- Viju, S., Rengasamy, R. S., Thilagavathi, G., Singh, C. J., & Mohamed, H. A. K. (2022). Sustainable development of needle punched nonwoven fabrics from silk worm cocoon waste for oil spill removal. *Journal of Natural Fibers*, 19(11), 4082-4092.
- Vollrath, F., Carter, R., Rajesh, G. N., Thalwitz, G., & Astudillo, M. F. (2011). *Life cycle assessment (LCA) of raw silk: Life cycle analysis of cumulative energy demand on sericulture in Karnataka, India* [Conference presentation slides].
- Wang, F., Guo, C., Yang, Q., Li, C., Zhao, P., Xia, Q., & Kaplan, D. L. (2021). Protein composites from silkworm cocoons as versatile biomaterials. *Acta Biomaterialia*, 121, 180-192.
- Wang, R., Zhu, Y., Shi, Z., Jiang, W., Liu, X., & Ni, Q.-Q. (2018). Degumming of raw silk via steam treatment. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1-6.
- Wen, D.-L., Sun, D.-H., Huang, P., Huang, W., Su, M., Wang, Y., Han, M.-D., Kim, B., Brugger, J., Zhang, H.-X., & Zhang, X.-S. (2021). Recent progress in silk fibroin-based flexible electronics. *Microsystems & Nanoengineering*, 7, Article 35.
- Whitfield, J. (2019). Twenty Years of Ethical Consumerism. *The Ethical onsymer Markets Report Co-op*.
- Xu, H., Tao, Z., Ma, B., & Omenetto, F. G. (2018). Engineering the future of silk materials through advanced manufacturing. *Advanced Materials*, 30(33), 1706983.
- Yang, C., Shang, S., Shou, D., Ran, L., Lan, G., & Hu, E. (2021). Transforming natural silk nonwovens into robust bioadhesives for in vivo tissue amendment.

*Journal of Cleaner Production*, 304, 127137.

Yang, Y., He, W., Chen, F., & Wang, L. (2020). Water footprint assessment of silk apparel in China. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120072.

Yetiskin, B., & Okay, O. (2017). High-strength silk fibroin scaffolds with anisotropic mechanical properties. *Polymer*, 112, 61-70.

Yetiskin, B., & Okay, O. (2017). High-strength silk fibroin scaffolds with anisotropic mechanical properties. *Polymer*, 114, 61-70.

Yin, R., Xiang, Y. F., Zhang, Z. H., Tao, X. M., Gluck, J. M., Chiu, K., & Lam, W. (2020). Cleaner production of mulberry spun silk yarns via a shortened and gassing-free production route. *Journal of Cleaner Production*, 267, 123690.

Yu, K., Lu, F., Li, Q., Zou, Y., Xiao, Y., Lu, B., Liu, J., Dai, F., Wu, D., & Lan, G. (2017). Accelerated wound-healing capabilities of a dressing fabricated from silkworm cocoons. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 901-913.

Zhao, Z.-L., & Zhang, Y.-Q. (2020). Greener degumming production of layered sericin peptides from a silkworm cocoon and their physicochemical characteristics and bioactivities in vitro. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119837.

Zhu, B., Wang, H., Leow, W. R., Cai, Y., Loh, X. J., Han, M.-Y., & Chen, X. (2016). Silk fibroin for flexible electronic devices. *Advanced Materials*, 28(22), 4250-4265.

Žontar, J. (1957). *Svilogojstvo in svilarstvo na Slovenskem od 16. do 20. stoletja*. SAZU.

## 08 Viri slikovnega gradiva

- Foto 1 – Melchiorri, Julian. "Silk Leaf" prototip. Fotografija. 2014.  
<https://www.dezeen.com/2014/07/25/silk-leaf-manmade-synthetic-biological-leaf-space/>
- Foto 2 – Media Matter. Silk I v Media Lab. Fotografija. 2013.  
<https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>
- Foto 3 – Oxman, Neri in The mediated Matter Group. Silk II v MoMA. Fotografija. 2020.  
<https://oxman.com/projects/silk-pavilion-ii>
- Foto 4 – Arhiv SCCA-Ljubljana. Projekt Sviloprepjka v Galeriji Kapelica. Fotografija. 2019.  
<https://www.worldofart.org/arhiv.worldofart.org/aktualno/archives/15027>
- Foto 5 – Cutillas, Josema. "The Silk Pavilion" v Logroñu. Fotografija. 2023.  
<https://www.metalocus.es/en/news/silk-a-structural-element-silk-pavilion-paloma-canizares>
- Foto 6 – Manna, Ilaria La. Bombix Bricks prototip. Fotografija. 2016.  
<https://www.designboom.com/architecture/ilaria-la-manna-bombix-bricks-09-08-2016/>
- Foto 7 – Cosetex. T.Silk® polnilo iz 100% svile. Fotografija. (b.d.)  
[https://tsilkcollection.com/en/pages/silk-padding-patent?srsltid=AfmBOoqrQ7QnX\\_T33Zi4bYYGEgTtYMTma5AbBTr3roXIyrB\\_00dlq4jb](https://tsilkcollection.com/en/pages/silk-padding-patent?srsltid=AfmBOoqrQ7QnX_T33Zi4bYYGEgTtYMTma5AbBTr3roXIyrB_00dlq4jb)
- Shema 1 – ISO 14044: Environmental Management, Life Cycle Assessment, Principles and Framework. Faze LCA študije in njihova razmerja. 2006.
- Shema 2 – Barcelos, Silvia, Olívia Oiko in Salvador Rodrigo (2022). Basis for conducting Life Cycle Assessment of Brazilian silk yarn manufacturing. V *10th International Conference on Life Cycle Management (LCM 2021)* 349, str. 4, tabela 1.
- Shema 3 – Povzeto po:  
Astudillo, Miguel F., Gunnar Thalwitz, and Fritz Vollrath. "Life cycle assessment of Indian silk." *Journal of Cleaner Production* 81, 2014: 158-167.  
in  
Barcelos, Silvia, Olívia Oiko in Salvador Rodrigo (2022). Basis for conducting Life Cycle Assessment of Brazilian silk yarn manufacturing. V *10th International Conference on Life Cycle Management (LCM 2021)* 349.