

Brza moda, dugoročne posljedice: analiza utjecaja tekstilne industrije na okoliš

H. Hartmann,^a V. Stepan,^a B. Prusac,^a S. Begović^b i M. Miloloža^{a*}

Ovo djelo je dano na korištenje pod
Creative Commons Attribution 4.0
International License



^aSveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Trg Marka Marulića 19, 10 000 Zagreb

^bITX Hrvatska d. o. o. (Zara), Avenija Dubrovnik 16, 10 000 Zagreb

Sažetak

Tekstilna industrija ima značajan utjecaj na okoliš, a vlakna poput poliestera, pamuka i razni procesi obrade tih vlakana osnova su onečišćenja. Poliester, kao najčešće tekstilno vlakno, negativno utječe na okoliš zbog svojstva nerazgradivosti i uporabe fosilnih goriva, tj. nafte, za njegovu proizvodnju. Pamuk ima izvanredna svojstva, ali njegov uzgoj često uključuje uporabu gnojiva i pesticida, koji onečišćuju vode i tlo. Obrada tekstila, osobito mokra obrada, zahtijeva velike količine vode i energije te generira znatne količine otpadnih voda bogatih kemikalijama i bojilima. Takav otpadni tok, ako je neobrađen, znatno onečišćuje vodu i tlo. Također, vlakna mikroplastike iz tekstila, posebice iz pranja odjeće, predstavljaju sve veći problem s ozbiljnim posljedicama za vodeni ekosustav. Uporaba deterdženata dodatno komplicira situaciju, pridonoseći eutrofikaciji i ekotoksičnosti voda. Brza moda s kratkim životnim ciklusom odjeće generira velike količine tekstilnog otpada, što dodatno opterećuje okoliš. S druge strane, javlja se spora moda kao alternativa, a usredotočuje se na proizvodnju manjih količina tekstilnih proizvoda više kvalitete. Tekstilna industrija zahtijeva strože regulacije i održive prakse da bi smanjila svoj negativan utjecaj na okoliš. Rješavanje tih problema zahtijeva integrirani pristup koji uključuje smanjenje potrošnje resursa, poboljšanje obrade otpadnih voda, promicanje održivih materijala i proizvodnih procesa te educiranje potrošača o utjecaju njihovih odluka na okoliš. Prema tome, uvedene su i mnoge regulative s ciljem promicanja održivog i kružnog gospodarenja tekstilnom otpadom.

Ključne riječi

Tekstilna industrija, mokra obrada, vlakna mikroplastike, deterdženti, brza moda, spora moda

1. Uvod

Tekstil i odjeća su vitalne ljudske potrebe koje su evoluirale od prapovijesti do suvremenog doba zajedno s čovjekom, ostavljajući neizbrisiv trag u ljudskoj civilizaciji. Od početka prapovijesnog doba do današnjeg modernog svijeta tekstil i odjeća zadržavaju važnu ulogu u ljudskom životu i temeljni su element ljudske civilizacije. Osim toga, odjeća više nije ograničena na osnovne i estetske funkcije; sad služi i za zaštitu ljudskog tijela od štetnih utjecaja, iskazivanju identiteta, zanimanja, bogatstva i moći pojedinca te je najvažniji proizvod koji se razmjenjuje globalno.¹ Materijali upotrijebljeni u odjeći imaju važan utjecaj na kvalitetu života potrošača. Važno je istražiti optimalne mješavine prirodnih i sintetičkih vlakana da bi se osigurala udobnost i zdravlje nositelja, uz istodobno olakšavanje održavanja odjeće.² U povijesnom smislu tekstil i odjeća su prvi proizvod u procesu industrijske proizvodnje u mnogim zemljama. Odjeća i tekstil imali su ključnu ekonomsku ulogu u razvoju od Engleske do SAD-a i Japana putem industrijske proizvodnje i plasiranja proizvoda diljem svijeta. Danas odjeća i tekstil igraju glavnu ulogu u rastu ekonomije u zemljama u razvoju, budući da je industrijska proizvodnja pokretač rasta ekonomije za svaku zemlju na svijetu.¹ Tekstilna industrija je grana industrije koja se bavi proizvodnjom tekstila i odjeće, temelji se na tekstilnoj tehnologiji i obuhvaća proizvodnju tekstilnih vlakana (kao što su svila, vuna, ko-

noplja, lan i pamuk), pređe, tkanina, pletiva, čipke, pozamenterije i netkanog tekstila, kao i pogone za njihovo oplemenjivanje, što čini primarnu tekstilnu proizvodnju. Osim toga, uključuje proizvodnju odjeće i drugih konfekcioniranih tekstilnih proizvoda unutar odjevne industrije, zajedno s doradom i bojenjem krzna.³ Proizvodnja odjeće u svijetu posljednjih godina kontinuirano raste. Rast svjetske populacije i povećanje životnog standarda rezultirali su povećanom potražnjom za odjećom kao prirodnim posljedicama osnovnih potreba, ali i rezultirali prekomjernom potrošnjom zbog trendova brze mode.⁴ Danas su tekstilna i odjevna industrija ostvarile impresivnu poslovnu vrijednost od 439,1 milijarde USD. U 2012. potrošnja odjeće po glavi stanovnika iznosila je 153 USD, ali je prognozirano da će se povećati na 247 USD do 2025. godine. Taj sektor omogućio je povezivanje ruralnih područja s industrijskim zonama, pružajući pristup jeftinoj i nekvalificiranoj radnoj snazi, što je ključni razlog značaja tekstilne industrije u ekonomiji zemalja u razvoju. Svake godine se na planetu potroši preko 80 milijardi komada odjeće, često bez jasnog razumijevanja o dugoročnoj upotrebi ili održivom upravljanju.¹ Taj kompleksan lanac proizvodnje, potrošnje i utjecaja na okoliš predstavlja važan izazov za industriju i društvo u cjelini, zahtijevajući održivu praksu i inovacije da bi se osigurala dugoročna održivost i odgovornost u cijelom sektoru tekstilne industrije.⁵

U ovom radu bit će govora o ključnim izazovima s kojima se suočava tekstilna industrija i o njezinu utjecaju na okoliš uključujući cijeli životni ciklus odjeće, od proizvodnje,

* Autor za dopisivanje: dr. sc. Martina Miloloža
E-pošta: miloloza@fkit.unizg.hr

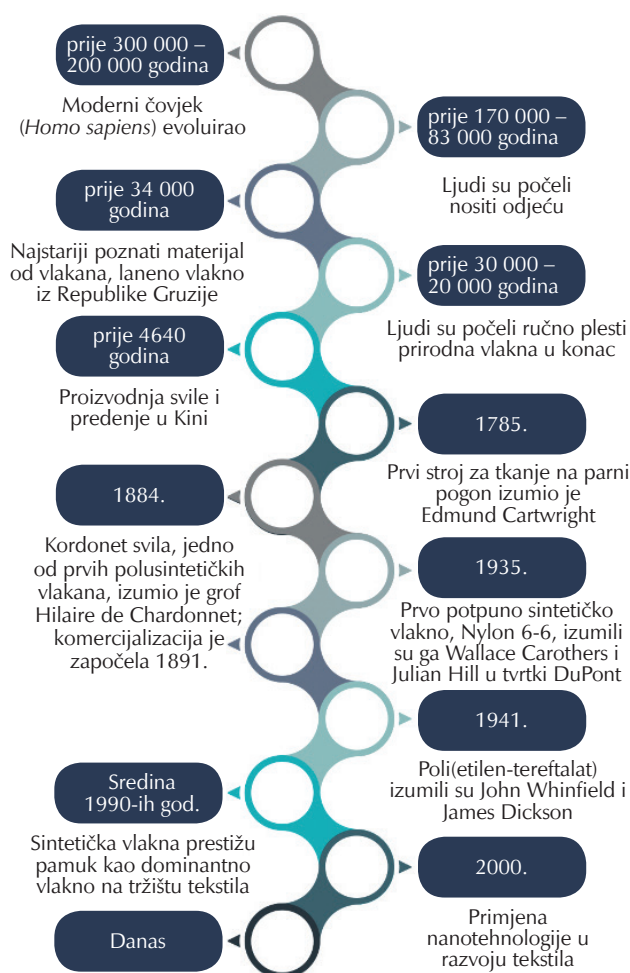
preko distribucije, pa sve do zbrinjavanja. Također će biti prikazana uloga raznih organizacija u svladavanju izazova i donošenju adekvatnih rješenja za budućnost.

2. Najčešći materijali u tekstilnoj industriji

Arheološki nalazi ukazuju na to da su ljudi prije najmanje 23 000 godina pletli biljke u košare i odjeću. Od tada se tehnologija proizvodnje tkanina brzo razvijala. Tekstilna industrija prošla je kroz značajne promjene tijekom povijesti ljudske civilizacije. Sažetak evolucije upotrebe tekstila kroz ljudsku povijest prikazan je na slici 1. Tkanje je postalo mehanizirano tijekom industrijske revolucije, što je omogućilo brzu proizvodnju jeftine tkanine. Umjetna vlakna postala su dostupna u 19. stoljeću izumom prvog sintetičkog vlakna iz prirodnih polimera, umjetne svile ili viskoznih vlakana. Od tada su sintetička vlakna revolucionirala tekstilnu industriju, te je npr. 2018. godine globalna proizvodnja sintetičkih vlakana iznosila 66,6 milijuna metričkih tona, što čini otprilike 62 % ukupne proizvodnje vlakana. Poliester je sam po sebi činio 55,1 milijuna metričkih tona, odnosno 51,5 % globalne proizvodnje vlakana. Za razliku od toga, pamuka i vune proizvedeno je otprilike 26,05, odnosno 1 milijun metričkih tona.⁶ Zbog znatnog gubitka resursa i povećanja onečišćenja, javila se potreba za razvojem održivih metoda. Na samom početku 21. stoljeća otkrivena je primjena nanotehnologije u tekstilnoj industriji. Posljednjih nekoliko godina znanstvenici aktivno rade na toj temi te razvijaju razne nanomaterijale i premaze za poboljšavanje funkcionalnih svojstava gotovog proizvoda. Cilj je razviti antibakterijske proizvode otporne na vodu i mrlje, s produženim životnim vijekom. Nedavni trend u gospodarenju tekstilnim otpadom je uporaba otpada od tekstilnih vlakana u tehnologiji kompozita.⁷ Uporabom kompozitnih materijala, koji nastaju kombiniranjem otpadnog tekstila s drugim materijalima, smanjuje se količina tekstilnog otpada, pružajući održivo rješenje za budućnost. Kompoziti nalaze svoju primjenu u raznim područjima, poput građevine i automobilske industrije.⁷

2.1. Poliester

Poli(etilen–tereftalat) je najčešći oblik poliestera koji se upotrebljava u odjeći. On je polimer, što znači da je građen od povezanih lanaca monomera. Poliesteri u svojoj strukturi sadrže niz ugljikovih atoma koji su povezani jednostrukom ili dvostrukom vezom. Također sadrže ester kao glavnu skupinu koja ih razlikuje od ostalih polimera. Poli(etilen–tereftalat) sadrži aromatski prsten koji se teško razgrađuje.⁹ Poliesterska vlakna su jaka, imaju nisku apsorpciju vlage i otporna su na kiseline, lužine i organska otapala. Ona dominiraju tržištem čineći 44 % globalne proizvodnje poliesterskih vlakana.⁴ Međutim, proizvodnja poliestera može imati negativan utjecaj na okoliš jer mnogi poliesteri nisu biorazgradivi i potječu iz fosilnih goriva.⁹ Glavni problem je ispuštanje mikrovlakana u okoliš. Prema podatcima iz 2018. godine, potrošnja poliesterskih vlakana u tekstilnoj industriji na svjetskoj razini dosegla je 55,1 milijun tona.¹⁰



Slika 1 – Kronologija razvoja tekstila kroz ljudsku povijest^{6,8}

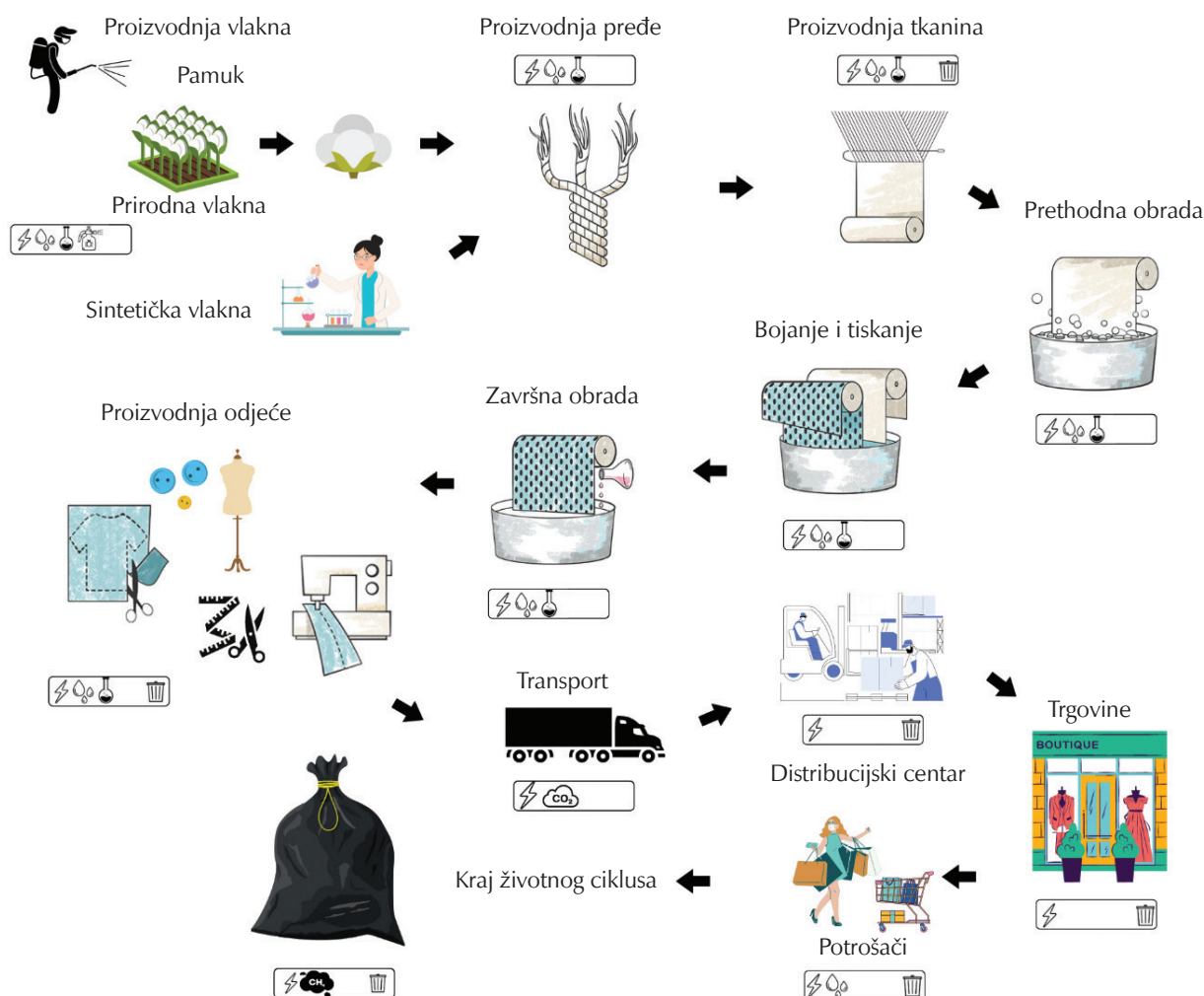
Fig. 1 – A brief timeline of the evolution of textiles throughout human history^{6,8}

2.2. Pamuk

Pamuk je biljka iz porodice sljezova, a od četiriju kultiviranih vrsta najviše vlakna daje *G. hirsutum*, koje čini više od 90 % svjetske proizvodnje pamuka. Za 2022. godinu svjetska proizvodnja pamuka iznosila je 25,7 milijuna tona, dok se na području EU-a pamuk proizvodi u Grčkoj (u kojoj je 80 % europskih površina pod pamukom), Španjolskoj i Bugarskoj.¹¹ Nakon cvatnje, čahure sjemenki, prekrivene vlaknima, pucaju, a vlakna se odvajaju od sjemenki, čiste i pakiraju u bale.³ Pamučna tkanina je materijal s izvanrednim svojstvima, poput mekoće, toplinske izolacije i prozračnosti, što ju čini najpopularnijim materijalom na svijetu.⁹ Najčešće se upotrebljava za proizvodnju odjeće, posteljine i kućanskog tekstila, a također je važna sirovina za izradu tekstilnih proizvoda u mnogim drugim industrijskim područjima.²

2.3. Obrada tekstila: proizvodni lanac i ekološki izazovi

Obrada tekstila obuhvaća proizvodnju i obradu tekstilnih proizvoda, poput vlakana, pređe i tkanina u raznim sku-

Slika 2 – Proizvodni lanac tekstilne industrije i utjecaj na okoliš^{1,13}Fig. 2 – Textile industry production chain and its environmental impact^{1,13}

povima postrojenja. Ti proizvodi se dalje upotrebljavaju za proizvodnju odjeće, kućanskih i industrijskih proizvoda. Proizvodni lanac tekstilne industrije i njezin utjecaj na okoliš prikazani su na slici 2.¹²

2.3.1. Mokra obrada tekstila

Mokra obrada tekstila ključna je faza u proizvodnji tekstila, koja omogućava da tkanine imaju razna praktična svojstva. No ta faza zahtijeva ogromne količine vode i energije, a ujedno ima najveći utjecaj na okoliš u lancu tekstilne industrije, što posljedično dovodi do izazova nastalih prilikom obrade otpadnih voda.¹² Koraci mokre obrade opisani su u tablici 1.

2.3.2. Otpadne vode tekstilne industrije

Tekstilni pogon s dnevnim proizvodnim kapacitetom od 8000 kg ima dnevnu potrošnju svježe vode od otprilike 1,6 milijuna litara. Prema Američkoj agenciji za zaštitu okoli-

ša, za bojenje samo 1 kg tkanine potrebno je minimalno 40 l čiste vode, što se može povećati ovisno o tekstilnom materijalu i procesu bojenja.⁵ S obzirom na to da se većina postrojenja za mokru obradu tekstila nalazi u zemljama u razvoju ili nerazvijenim zemljama koje nemaju financijske resurse za kupnju i upravljanje skupom opremom za prikladnu obradu otpadnih voda, ti se otpadni tokovi ispuštaju u okolinu bez adekvatne obrade. To je rezultiralo ozbiljnom ekološkom štetom u blizini mnogih takvih postrojenja.¹² Kad se nepravilni ispusti događaju tijekom dugog razdoblja, oni također utječu na sastav morskih i riječnih sedimenta, uzrokujući onečišćenje mora i voda. Prema procjenama, tekstilna industrija odgovorna je za oko 20 % svih onečišćenja voda u svijetu.¹⁴ Tekstilni otpadni tokovi imaju visoke vrijednosti BPK-a (*biokemijska potrošnja kisika*), KPK-a (*kemijska potrošnja kisika*), ukupnih otopljenih i suspendiranih tvari te niske vrijednosti otopljenog kisika uz jaku obojenost. Otpadne vode nastale reaktivnim bojenjem sadrže hidrolizirane reaktivne boje koje nisu fiksirane na tekstilnim materijalima, što čini 20 do 30 % reaktivnih boja. Te neiskorištene boje uzrok su različitih obojenja otpadnih voda iz postupaka bojenja. Glavni problem bojila

nije samo estetski karakter voda na mjestu ispuštanja već i njihov utjecaj na jače zamućenje voda, što posljedično smanjuje dostupnost svjetla za biljke i ostale organizme u vodama.¹²

Većina boja sastoji se od dviju komponenata: auksokroma i kromofora a te se mogu podijeliti u dvije kategorije prema izvoru: sintetičke (npr. azo- i antrakinonske boje koje često sadrže karcinogene i toksične komponente) i prirodne (nastaju uporabom resursa iz prirode poput cvjetova, lišća i kore stabala).¹⁵ Anorganske onečišćujuće tvari prolaze kroz različite biokemijske interakcije u vodama i pogoršavaju njihovu kvalitetu. Visoke koncentracije soli u tekstilnim otpadnim vodama pogoršavaju kvalitetu tla i čine ga neprikladnim za poljoprivredne svrhe. Organske kemikalije

djelomično su reciklabilne, a djelomično nerekiclabilne prirode. Biorazgradivi organski spojevi pogoršavaju kvalitetu vode, jer se kisik upotrebljava za njihovu razgradnju, što rezultira niskim otopljenim kisikom, što na kraju remeti život u vodama. Metali su nužni za mnoga bojila, jer su odgovorni za davanje boje. Bakar, cink, krom, olovo, kobalt, nikal i mangan uobičajeni su teški metali povezani s različitim bojilima. Ispuštanje tih teških metala u vodena tijela i tlo može biti opasno po zdravlje ljudi, životinja i okoliš. Osim toga, mutagena sredstava također su prisutna u bojilima. Nepotpuna razgradnja kemikalija može dovesti do stvaranja aromatskih amina zbog azo i nitro skupina prisutnih u organskim bojilima. Aromatski amini odgovorni su za induciranje raka i tumora kod ljudi. Nebiorazgradivi postojani organski spojevi mogu se infiltrirati u ekosustavu

Tablica 1 – Mokra obrada tekstila, svojstva otpadnih voda te procjena potrošnje energije^{1,12,14}

Table 1 – Wet processing of textiles, wastewater properties, and energy consumption assessment^{1,12,14}

Procesi	Opis procesa	Kemikalije korištene u proizvodnji	Svojstva otpadnih voda	Potrošnja energije
Škrobljenje (sizing) ^{1,14}	Premazivanje pređe radi olakšanja tkanja, pletenja ili tapeciranja, tj. ojačanje vlakna i smanjenje mogućnosti loma.	Polivinil alkohol, karboksimetilceluloza, škrob	–	–
Odškrobljavanje (desizing) ¹⁴	Uklanjanje sredstava za škrobljenje prije tkanja, sredstva topljiva u vodi jednostavno se mogu isprati, dok vodootporna najprije moraju biti podvrgnuta kemijskoj ili enzimatskoj razgradnji.	Klorovodična kiselina, enzimi	Visok BPK; sintetika; maziva	Električna (0,3888 MJ kg ⁻¹) i toplinska energija (5 MJ kg ⁻¹)
Čišćenje/pranje ¹⁴	Uklanjanje nečistoće s vlakana upotrebljavajući alkalnu otopinu da bi razgradila prirodna ulja, masti, voskovi i površinski aktivne tvari te da bi emulgirale i suspendirale onečišćujuće tvari u kupki za pranje.	Natrijev hidroksid	NaOH; ostatak dezinficijensa i insekticida; deterdženti; masti; ulja; vosak; maziva	Struja, voda (2500 – 21 000 l/1000 kg pamuka), kemikalije i gorivo
Izbjeljivanje ¹⁴	Uklanjanje neželjene boje s vlakana	Natrijev hipoklorit i vodikov peroksid	Vodikov peroksid; natrijev silikat; organski stabilizatori	Električna i toplinska energija (8 – 33 MJ kg ⁻¹)
Mercerizacija ¹²	Dobivanje sjaja, povećanje čvrstoće i poboljšanje apsorpcije boje.	Otopina kaustične sode (oko 18 – 24 %)	Visok pH; NaOH	–
Bojanje ^{12,14}	Proces dodavanja boje vlaknima. Primjena kemikalija da bi se poboljšala adsorpcija boje na vlakna.	sintetičke boje (od katrana i međuprodukata naftne industrije), formaldehid, teški metali, surfaktant, soli, sulfidi	Teški metali; soli; površinski aktivne tvari; visok BPK; boje	Struja, voda, kemikalije i gorivo (8 – 18 MJ kg ⁻¹)
Tiskanje ¹²	Boje u obliku guste paste se nanose na odabrane dijelove tkanine koji čine dizajn.	Urea, PVC i ftalati	Suspendirane tvari; urea; otapala; boje; metali; BPK	Struja, voda, kemikalije i gorivo
Završna obrada ¹²	Razvijanje preciznih karakteristika tkanine (omekšavanje i vodootpornost). Postizanje antimikrobnih karakteristika i zaštite tkanine od mikrobnog propadanja.	Biocidna sredstva, silikoni	Visok BPK i KPK; suspendirane tvari; otapala	Struja, voda (8000 – 16 000 l kg ⁻¹ pamuka), kemikalije i gorivo (8 – 18 MJ kg ⁻¹)

i poremetiti prehrambeni lanac. Budući da se ti postojani spojevi infiltriraju u prehrambeni lanac, dolazi do bioakumulacije, što negativno utječe na životinjski i ljudski život.¹²

2.3.3. Tekstilni otpad

Tekstilni otpad je značajan segment globalnog otpada, s godišnjom proizvodnjom od 7 do 10 milijardi tona, od čega je oko 2 milijarde tona komunalnog čvrstog otpada. Taj otpad nastaje u procesu od dobivanja sirovina do distribucije odjeće u prodavaonice, generirajući znatne količine otpada koji se svrstava u komunalni čvrsti otpad. Podijeljen je u tri glavne kategorije: otpad proizvodnje, otpad prije potrošača i otpad poslije potrošača. Otpad proizvodnje uključuje višak vlakana, pređe i tkanine koji nastaju u različitim fazama proizvodnje, poput rezanja i šivanja, često rezultirajući znatnim troškovima za proizvođače. Takav otpad može se reciklirati, zbrinuti na odlagalištima ili spaliti i pretvoriti u energiju. Otpad prije potrošača odnosi se na sav otpad koji još nije došao do ruku potrošača, a može se preprodati, donirati ili zbrinuti na odlagalištima. Zadnja skupina otpada poslije potrošača, ujedno je i kvantitativno najopterećenija skupina. Na kraju životnog vijeka proizvoda potrošač je onaj koji ga odbacuje, a velik dio takvog otpada završi na odlagalištima.⁴ Nastanak tekstilnog otpada neadekvatno se kontrolira, što naglašava važnost uporabe tog otpada, stoga i dizajneri i inženjeri proučavaju načine izrade novih proizvoda od nastalog otpada.⁶ Tekstilni otpad većinom završava na odlagalištima, pri čemu se odjevni predmeti ne doniraju i ne recikliraju. Manje od polovice rabljene odjeće prikuplja se za ponovnu upotrebu ili recikliranje, od čega se samo 1 % reciklira u novu odjeću. To možemo pripisati tek nedavnom razvitku tehnologije za recikliranje odjeće u neobrađena vlakna.¹⁶ Prilikom proizvodnje novih materijala iz onih već iskorištenih očituje se velika složenost procesa, posebno zbog istrošenih prekratkih vlakana, potrebno je dodati određen udio nove sirovine, što bi značilo da odjeću nije moguće u potpunosti reciklirati. Bitno je još napomenuti da recikliranje odjeće uvelike zaostaje naspram količina recikliranja svih ostalih materijala iz svakodnevnog života.¹⁷

2.3.4. Utjecaj upotrebe gnojiva i pesticida

Proizvodnja pamuka utječe na kvalitetu vode, kako u fazi uzgoja tako i u fazi obrade. Utjecaj u prvoj od navedenih faza ovisi o količini upotrijebljenih gnojiva i stopi apsorpcije gnojiva biljke. Određena količina pesticida koja se upotrebljava, u gotovo svim slučajevima, dospijeva u podzemne i površinske vode. U svijetu je 2,4 % obradive zemlje zasađeno pamukom, međutim pamuk čini 24 % svjetskog tržišta insekticida i 11 % prodaje pesticida. Hranjive tvari (dušik, fosfor, kalij i ostale manje hranjive tvari) i pesticidi mogu značajno onečistiti podzemne i površinske vode.¹⁸

2.3.5. Potrošnja energije tekstilne industrije

Sektor tekstilne industrije troši obilnu količinu fosilnih goriva kao glavni izvor energije, što ima značajan utjecaj na okoliš. Ovdje postoji ogroman potencijal za primjenu ob-

novljivih izvora energije kao i primjenu najboljih dostupnih tehnika da bi se povećala energetska učinkovitost. Budući da je odjeća trajna potreba ljudi, potrebno je uložiti dodatne napore u taj sektor. Odnos između potrošnje energije i proizvodnje je linearan; kad se proizvodnja poveća, povećava se i potrošnja energije.¹ U tekstilnoj industriji energija se općenito upotrebljava u dvije kategorije: električna energija koja se upotrebljava u strojevima, rasvjeti, uredskim potrebama, klimatizaciji i pokretanju motora te drugi izvori poput nafte, ukapljenog naftnog plina, ugljena i prirodnog plina koji se upotrebljavaju za dobivanje energije za proizvodnju pare koja se upotrebljava za toplinu u procesu bojenja, pranja, izbjeljivanja i drugim procesima završne obrade. Međutim, za fosilna goriva vežu se zabrinutosti kao što su brza iscrpljenost i povećanje stakleničkih plinova u okolišu, što je glavni razlog povećanja globalnog zatopljenja. Industrija tekstila i odjeće je odgovorna za otprilike 10 % ukupnog ispuštanja CO₂, a koncentracija stakleničkih plinova neprestano raste. Proizvodnja tekstilnih proizvoda primjetno je povećana, što uzrokuje potrebu za velikim količinama električne energije te značajno doprinosi emisijama CO₂.¹

2.4. Humano-ekološka podobnost tekstila

Uzgoj konvencionalnog pamuka zahtijeva velike količine kemijskih sredstava poput gnojiva, pesticida i velike količine energije, što negativno utječe na okoliš i ljudsko zdravlje. Organski pamuk postaje sve popularnija održiva alternativa konvencionalnom pamuku, jer se uzgaja bez kemijskih sredstava, što rezultira manjim ugljičnim otiskom u usporedbi s konvencionalnim pamukom. Najpopularnije umjetno vlakno, poliester, ima značajne negativne utjecaje na okoliš ponajprije zbog potrošnje energije tijekom obrade tekstila.¹⁹ Da bi se smanjio utjecaj životnog ciklusa tekstila na okoliš i ljudsko zdravlje, uvedeni su propisi kojima se zabranjuje ili ograničava uporaba pojedinih vrsta kemikalija. Dva najistaknutija propisa koji reguliraju uporabu kemikalija u tekstilnim proizvodima su REACH (Regulacija za registraciju, evaluaciju, autorizaciju i ograničavanje kemikalija) regulativa Europske unije (EU) i CPSIA (Zakon o poboljšanju sigurnosti potrošačkih proizvoda) zakon Sjedinjenih Američkih Država. REACH regulacija ograničava tvari opasne za ljudsko zdravlje i okoliš. Proizvođači i uvoznici moraju identificirati i upravljati rizicima kemikalija na tržištu EU-a, uključujući one upotrebljavane u tekstilu poput azo boja, formaldehida i teških metala. CPSIA postavlja stroge zahtjeve za kemijski sadržaj u proizvodima za djecu, uključujući tekstil, ograničavajući olovo u premazima, ftalate te zahtijevajući testiranje i certifikaciju za usklađenost.²⁰

3. Utjecaj odjeće tijekom uporabe

Prema istraživanju JRC centra (engl. *Joint Research Centre*), najveći ekološki otisak u životnom ciklusu odjeće ima uporaba same odjeće nakon distribucije potrošačima. Taj utjecaj je izrazito važan zbog potrošnje vode, energije i kemikalija (uglavnom deterdženata) upotrebljivanih u pranju, sušenju u sušilici i peglanju te otpuštanja mikro-

plastike (MP) u vodu.¹⁹ Tijekom pranja odjeće u perilici rublja dolazi do znatne potrošnje resursa. Zbog različitih navika u pranju rublja potrošača te različitih vrsta perilica, potrošnja resursa za pranje rublja znatno varira od države do države.²¹

3.1. Potrošnja električne energije i vode

U današnje vrijeme perilice rublja postale su standardni kućanski uređaji koji se nalaze u većini domova. Iako ti uređaji nude veću praktičnost, postoji zabrinutost zbog njihove široke upotrebe i potencijalnog negativnog utjecaja na okoliš.²¹ Postoje dvije osnovne vrste perilica rublja: s gornjim i prednjim punjenjem. Perilice s prednjim punjenjem troše znatno manje vode po ciklusu pranja od perilica s gornjim punjenjem. Perilice s gornjim punjenjem uglavnom se upotrebljavaju bez grijanja, što rezultira znatno manjom potrošnjom električne energije po ciklusu pranja u usporedbi s perilicama s prednjim punjenjem, koje imaju ugrađeno grijanje. Navike i prakse pranja rublja variraju od države do države, a uspoređujući potrošnju električne energije za pranje rublja s ukupnom potrošnjom električne energije, u zapadnoj Europi procijenjena vrijednost iznosi 3,8 %, dok je u istočnoj Europi nešto veća te iznosi 9,2 %.²² Uzimajući u obzir potrošnju vode tijekom pranja rublja, kućanstva u Americi, Australiji i Aziji upotrebljavaju manje vode od kućanstava u Europi, gdje se češće upotrebljavaju perilice rublja s gornjim punjenjem. Prosječna potrošnja vode u perilici s prednjim punjenjem iznosi 106 l po ciklusu pranja. Kad je riječ o ukupnoj potrošnji vode u kućanstvima, postoji značajna varijacija među različitim zemljama. Južnokorejska, sjevernoamerička i japanska kućanstva troše mnogo više vode nego europska, kineska i australska. Udio potrošnje vode za pranje rublja varira između 5 i 19 % i ovisi o potrošnji vode po ciklusu pranja i ukupnoj potrošnji vode u kućanstvu.²²

3.2. Utjecaj deterdženata na vodeni ekosustav: kemijski sastav i ekološke posljedice

Deterdženti su sastavni dio našeg života, a obično su dostupni u dvama oblicima: kao prašci i kao koncentrirane otopine. Deterdženti djeluju zbog svoje amfifilne prirode, što znači da posjeduju hidrofilni i hidrofobni dio, što im olakšava miješanje hidrofobnih spojeva (poput ulja i masti) s vodom.²³ Deterdženti se općenito sastoje od surfaktanata, građivnih spojeva (poput dušika i fosfora) i različitih aditiva.²⁴ Glavna komponenta deterdženta su površinski aktivne tvari ili surfaktanti. U vodenom okolišu surfaktanti mogu stvarati pjenu i smanjivati razinu kisika, što rezultira pogoršanjem kvalitete vode i toksičnim učincima na organizme koji tamo žive.²⁵ Fosfati koji se upotrebljavaju kao sastojci u deterdžentima obično se nalaze u obliku natrijeva trifosfata. Fosfat je važan hranjivi sastojak potreban živim bićima i nije toksičan. Dušični spojevi prisutni u otpadnim vodama deterdženta također će utjecati na metabolizam organizama u vodenom sustavu. Međutim, previše fosfata i dušika u okolišu može uzrokovati prekomjernu eutrofikaciju vode, što se u pojedinim zemljama pokušava spriječiti definiranjem maksimalnog udjela fosfora u deterdžentima.²⁴ Go-

dine 2000. sedam zemalja Europske unije (EU) zabranile su deterdžente koji sadrže fosfor, a 2011. EU je proglasila maksimalni sadržaj fosfora od 0,5 g za standardno pranje.²⁶

3.3. Vlakna mikroplastike iz perilice rublja

MP-om se smatraju plastične čestice manje od 1 mm,²⁷ a budući da su sintetička vlakna iz odjeće znatno manjeg promjera, ali dulja, postoji prilagođena EU definicija koja ih pokriva. Uredba EU 2023/2055 proširuje tumačenje na duljinu od $0,3 \mu\text{m} \leq x \leq 15 \text{ mm}$, ali omjer duljine i promjera treba biti veći od 3.²⁸ Da bi se razlikovali od drugih izvora MP-a, fragmenti vlakana iz procesa pranja obično se nazivaju vlakna mikroplastike (VMP).²⁸ Pojedine tkanine ispuštaju više VMP-a u odnosu na druge. Što je veći broj izloženih vlakana na površini, više će ih biti otpušteno u okoliš tijekom pranja. Na otpuštanje VMP-a utječe i doatak deterdženata, povećanje temperature i načini pranja.²⁹ Prema literaturi,²⁹ utvrđeno je da reciklirana pletiva od poli(etilen-tereftalata) otpuštaju 4489,93 vlakana l^{-1} , a sirove tkanine 2034,26 vlakana l^{-1} . Obje vrste tkanina otpustile su manje vlakana s povećanjem broja pranja, što znači da povećanjem broja pranja otpuštanje vlakana opada. U nekim istraživanjima pokazano je da količina vode u odnosu na količinu odjeće također utječe na količinu otpuštanja vlakana. Tako je niži omjer vode prema tkanini pratio smanjenje od 69,7 % u otpuštanju vlakana za poliesterski flis i smanjenje od 37,4 % za polietersku majicu.²⁹ Do otpuštanja vlakana dolazi i tijekom pranja pamučne tkanine, međutim mnoga istraživanja su pokazala da dolazi do razgradnje pamučnih vlakana u okolišu, dok se vlakna poliestera zadržavaju u okolišu. Vlakna se također mogu otpustiti bez pranja, tijekom svakodnevnog nošenja odjeće, a tvrdi se da su količine otpuštene na taj način jednake onima proizvedenima tijekom pranja.²⁶ Učinci VMP-a ne razlikuju se od učinaka MP-a iz ostalih izvora, a često su najčešći oblik unesen MP koji se pronađe u morskoj ribi i beskralježnjacima.²⁹

3.4. Testovi ekotoksičnosti

Kako je prethodno spomenuto, tekstilna industrija ima znatan utjecaj na okoliš. Testiranje ekotoksičnosti igra ključnu ulogu u regulatornim odlukama agencija i vlada koje imaju cilj zaštititi zdravlje i okoliš od potencijalno štetnih ili nepovoljnih učinaka brojnih kemikalija i tvari.³⁰ U tablici 2 prikazani su utjecaji onečišćujućih tvari: boja u tekstilnoj industriji, surfaktanata iz deterdženata te VMP-a na pojedine testne organizme.

4. Brza moda i njezin ekološki otisak

Termin "brza moda" prvi put se javlja 1980-ih godina³³ kao pojam za konstantnu proizvodnju odjevnih predmeta po vrlo niskim cijenama. Od tad pa sve do danas, napredak brze mode se povećao, a time i količina proizvedene i bačene odjeće.¹⁶ Ono što definira brzu modu jest neprestano mijenjanje stilova koji se isporučuju u kratkom vremenu po niskim cijenama uz uporabu materijala niže kvalitete.

Tablica 2 – Utjecaji onečišćujućih stvari iz tekstilne industrije na testne organizme

Table 2 – Effects of pollutants from the textile industry on test organisms

Onečišćujuća tvar	Vrste organizama	Provedba i vrsta testa	Utjecaj na testni organizam	EC ₅₀	Lit.
Reaktivno plavo 4 (RB4) – azo boja	riba <i>Danio rerio</i>	– <i>Fish Embryo Acute Toxicity</i> (FET) Test – 24 – 96 h nakon oplodnje – koncentracija boje 30 – 110 ppm	Primijećeno je odgođeno izlijevanje iz jajeta embrija, što se može pripisati smanjenom izlučivanju enzima zaslužnih za izlijevanje i embrijske pokrete koji omogućavaju sposobnost embrija da razbije ljusku jajeta. 90 % zametaka pokazalo je hiperpigmentaciju pri koncentracijama od 90 i 110 ppm. Primijećena je i zakrivljenost kralježnice te deformacija repa, što može biti posljedica nedostataka proteina potrebnih za kretanje repa. RB4 je utjecao na postotak preživljavanja embrija, najmanji postotak preživljavanja primijećen je kod 110 ppm RB4.	–	31
	biljka <i>Allium cepa</i>	– ispitivanje citotoksičnosti – koncentracija boje 110 ppm	Primijećeno je smanjenje mitotskog indeksa, a postotak deformiranih stanica se povećao. Osim toga, stanice izložene RB4 pokazale su smanjen razvoj, što ukazuje na genotoksičnu prirodu navedene boje.	–	
Linearni alkilbenzensulfonat	bakterija <i>Vibrio fischeri</i>	– praćenje bioluminiscencije – 30 min	Primijećeno je smanjenje bioluminiscencije bakterija. Prema standardnoj klasifikaciji EC vrijednosti, EC ₅₀ = 0,5 mg l ⁻¹ se smatra vrlo toksičnim.	0,5 mg l ⁻¹	25
	riba <i>Pleuronectes platess</i>	– odrasle jedinke – 96 h	Koncentracije od 0,2 do 1,0 mg l ⁻¹ linearnog alkilbenzensulfonata izazvale su oštećenje škrge, prekomjerno lučenje sluzi i smanjeno disanje odraslih jedinki. Prema standardnoj klasifikaciji EC vrijednosti, EC ₅₀ = 1,0 mg l ⁻¹ smatra se vrlo toksičnim.	1,0 mg l ⁻¹	
VMP – vlakna mikroplastike	riba <i>Danio rerio</i>	– ličinke i odrasle jedinke – VMP (50 ± 26 µm i 200 ± 90 µm duljine)	Nakon izloženosti VMP-u mogla se pronaći u crijevu zebrića čak i u ranim fazama života, uzrokujući oštećenje crijeva ličinka i odraslih jedinki. Dulja vlakna smanjila su unos hrane kod zebrića za 54 – 67 % u usporedbi s kratkim vlaknima. Rezultati su pokazali da VMP može potaknuti metabolizam glicerofosfolipida, što pogoršava oksidativna oštećenja i upalu te smanjuje metabolizam masnih acila povezanih s nedostatkom prehrane.	–	32

Pritom su troškovi proizvodnje mali, a profit za modnu industriju je velik. To dovodi do trenda proizvodnje odjevnih predmeta koji se prije odbacivanja nose samo sedam ili osam puta zbog samog dizajna na početku životnog vijeka odjeće. Primjer toga su velike modne industrije poput H&M-a, koji nudi 12 – 16 novih kolekcija odjeće godišnje i Zare koja nudi čak 24 nove kolekcije godišnje.³⁴ H&M-u su tako potrebna samo tri tjedna da se odjevni predmet dizajnira, proizvede i stavi na tržište kao gotov proizvod.⁴

Problem otpada koji završi na odlagalištima jest u sastavu tekstila. Sintetički tekstilni otpad ne može se razgraditi, dok se tekstilni otpad od drugih materijala može, no to rezultira emisijama ugljikova dioksida i metana, što pridonosi globalnom zatopljenju.³⁵ Tijekom procesa spaljivanja stvaraju se dimni plinovi (CO₂, H₂O, O₂, N₂) koji su glavni izvori energije goriva³⁶ te se na pozitivan način iskorištava tekstilni otpad. No prije nego što se primjene tehnike spaljivanja ili odlaganja, prioritet je ponovno upotrijebiti ili reciklirati odbačene odjevne predmete.

Pouzdati i noviji podatci o sudbini odjeće, nakon što ju vlasnici odluče odbaciti, nisu lako dostupni. Čini se da se većina odjeće u EU-u još uvijek baca i spaljuje u spalionicama ili završava na odlagalištu gdje uzrokuje oslobađanje štetnih emisija u okoliš.³⁴

5. Rješenje za svjetliju budućnost

Za razliku od brze mode, spora moda javlja se kao alternativna suprotnost. Usredotočuje se na proizvodnju manjih količina tekstilnih proizvoda više kvalitete. Principima spore mode potrošači se nastoje potaknuti i uvjeriti da kupuju manje odjeće koju će duže upotrebljavati, te time smanjiti kupovinu novih tekstilnih predmeta. Uz navedene prednosti, spora moda je također ekološki i ekonomski prihvatljiva. Iako su potrošači zainteresirani za "zelenije" opcije, mnogi faktori ih odbijaju od ispravnog postupanja, kao primjerice viša cijena takvih proizvoda.³⁴ Još jedna karakteristika spore mode, kao što i sam naziv daje naslutiti, jest

vrijeme trajanja proizvodnog procesa. Da bi se proizveo određeni tekstilni predmet po principima spore mode, potrebno je utrošiti do 9 mjeseci od same ideje do plasiranja konačnog proizvoda na tržište.³⁷ U usporedbi s brzom modom, kod koje su za razvitak proizvoda potrebna samo tri tjedna, 9 mjeseci je relativno dugo razdoblje.

Težnja prema održivosti rezultira raznim preprekama. Proizvođači su prisiljeni promijeniti dosadašnji način rada i usredotočiti se na smanjenje utjecaja na okoliš. Za proizvođače je to dodatan trošak, a opet, ako se ne prilagode, moguće je da u budućnosti neće imati sredstava za rad. S druge strane, edukacijom potrošača i uvjeravanjem da kupuju manje odjeće, može doći do smanjenja profita proizvođača. U svakom slučaju, proizvođači su dovedeni u izazovan položaj. Pozitivan primjer proizvođača dolazi od velike kompanije H&M. Oni provode program dobrovoljnog prikupljanja rabljene odjeće bilo koje marke u zamjenu za malu nagradu.³⁴ Na taj način se potiče razvijanje svijesti potrošača o važnostima odvajanja i recikliranja tekstilnog otpada.

Osim spore mode, postoji i takozvana kružna moda. U nastavku na slici je navedena kao jedno od potencijalnih rješenja za zbrinjavanje tekstilnog otpada. Cilj kružne mode je smanjiti otpad na najmanju moguću mjeru i zadržati materijale unutar ciklusa potrošnje i proizvodnje što je duže moguće. Ključni faktor je potrošač, jer za vrijeme potrošačke uporabe ostaje najveći ekološki otisak u cijelom životnom ciklusu odjeće. Dužan je brinuti se o proizvodu na odgovarajući način, od pravilnog pranja do popravaka i preinake prije nego što se proizvod odbaci. Također, svaki potrošač bi trebao izbjegavati nepotrebno pranje i glačanje.³⁴



Slika 3 – Smjernice i rješenja za gospodarenje tekstilnim otpadom

Fig. 3 – Guidelines and solutions for managing textile waste

Recikliranje tekstilnog otpada znatno zaostaje za ostalim materijalima. Samo 15 – 20 % tkanina se reciklira, dok se u isto vrijeme reciklira 80 % čelika, 65 % papira i 30 % plastike.³⁸ Postoje dva osnovna tipa recikliranja odjeće: fizičko i kemijsko recikliranje. Fizičko recikliranje podrazumijeva pretvorbu otpada iz tekstilne industrije ili iznošene odjeće u nove proizvode, kao i obradu pomiješanih plastičnih otpadaka, dok kemijsko recikliranje uključuje pretvaranje polimera s velikom molekulskom masom u tvari s malom molekulskom masom. Recikliranje tekstilnog otpada može se podijeliti u dvije faze: fazu vlakna i fazu odjeće. Faza vlakna obuhvaća prerađivanje vlakana u nove proizvode poput tkanina, pletiva i netkanog tekstila, a uključuje i depolimerizaciju određenih polimera, uporabu plastičnih smola iz vlakana tepiha i izravnu ekstruziju miješanog otpada od tepiha. Faza odjeće obuhvaća oporavak iz otpada, odnosno ponovnu upotrebu proizvoda u njegovom izvornom obliku, pretvorbu u nove proizvode te pretvorbu otpadne odjeće u krpe za brisanje i poliranje.³⁹ Međutim, tehnologije koje bi omogućile recikliranje još uvijek nisu dorusle izazovu. Zbog toga se većina odjeće mehanički reciklira, reže i usitnjava, što skraćuje vlakna, čime se gubi 75 % njihove vrijednosti.³⁴ Uz prekratka vlakna javlja se i problem odvajanja miješanih vlakana poput pamuka i poliestera.⁴⁰

Ekodizajn podrazumijeva prenamjenu otpadne odjeće u ponovno upotrebljiv novi proizvod, pri čemu se poštuju okolišni zahtjevi. Dizajneri su oni koji promiču ekodizajn iskorištavanjem tekstilnog otpada. U principu, oni recikliraju odbačene tkanine u nove proizvode, pri čemu nastoje da je većina dijelova biorazgradiva i sigurna za okoliš. Kao rezultat nastaju potpuno novi proizvodi, poput novčanika, naušnica, namještaja, navlaka za jastuke, igraćaka, dekorativnih predmeta i još mnogih drugih. Nadalje, umjesto kupovine odjevnih predmeta, oni se mogu iznajmiti. Takav princip se već primjenjuje kod odjeće za posebne prigode poput vjenčanja, a to već dobro funkcionira i s torbama.³⁴ Smatra se da bi primjena navedenih rješenja mogla drastično smanjiti količine otpadne odjeće.

6. Uloga regulativa u tekstilnoj industriji

Tekstilna industrija, kao sektor koji stvara velike količine otpada na globalnoj razini, ima značajan negativan utjecaj na okoliš. Stanovništvo na razini Europske unije u prosjeku kupuje gotovo 26 kg tekstilnih predmeta godišnje od čega 11 kg odbacuje. Čak se 87 % rabljene odjeće spaljuje, a ostatak se odlaže na odlagalištima.¹⁶ Na američkom tržištu godišnje je odbačeno oko 23,5 milijuna tona odjeće, od kojih samo 10 % ide na neki oblik prerade s ciljem ponovne uporabe, a visokih 90 % završava na odlagalištu ili se donira dobrotvornim organizacijama.³⁷ Prema podacima za Hrvatsku iz 2022. godine, nastalo je ukupno oko 56 000 t tekstilnog otpada od kojeg je samo 23 % prikupljeno zasebno.⁴¹ Takvi podatci smatraju se zabrinjavajućima i predstavljaju veliko opterećenje za okoliš. Kao rješenje nužno je bilo uvesti niz regulativa koje služe kao okvir za svjesno gospodarenje otpadom unutar tekstilnog sektora. Na razini EU-a postoje razne regulative kojima se zadovoljavaju potrebe krajnjeg korisnika uz istodobno stvaranje održivog i kružnog sustava.

Europska komisija glavno je izvršno tijelo Europske unije koju nadzire Europski parlament. Predlaže i primjenjuje zakone i politike EU-a.³⁴ Strategija EU-a za održivo i kružno gospodarstvo odjećom bavi se proizvodnjom i potrošnjom odjeće. Provodi obveze iz Europskog zelenog plana, Akcijskog plana za kružno gospodarstvo i Europske industrijske strategije.⁴² Akcijski plan za kružno gospodarstvo, CEAP (engl. *Circular economy action plan*) usvojen je 2020. godine kao jedan od glavnih dijelova Europskog zelenog plana (engl. *European Green Deal*). Cilj CEAP-a je promicanje procesa kružnog gospodarstva, poticanje održive potrošnje i sprječavanje nastanka otpada.⁴³ Osim toga, Komisija je 2023. godine razvila zakonodavni prijedlog za izmjenu Okvirne direktive o otpadu, WFD (engl. *Waste Framework Directive*).⁴⁴ Time se nastoje riješiti problemi s otpadom iz tekstilne industrije, sektorom koji intenzivno upotrebljava resurse.⁴⁴ Nova direktiva zahtijeva od država članica EU-a da osiguraju odvojeno prikupljanje odjeće te da se do kraja 2024. razmotri treba li uvesti ciljeve za ponovnu upotrebu i recikliranje tekstilnog otpada.³⁴ Nadalje, Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (engl. *Packaging and packaging waste directive*) i Direktiva o odlagalištima (engl. *Land-fill Directive*) dvije su direktive koje nisu izravno usmjerene na odjeću, ali mogu ublažiti njezin negativan utjecaj na okoliš.³⁴ Kontinuiran razvoj zakonodavnih mjera te njihovo usavršavanje osigurava održivo upravljanje resursima i kontrolu otpada. Tekstilna industrija tako postaje sve više usmjerena prema kružnom gospodarstvu, smanjujući svoj negativan utjecaj na okoliš i potičući inovativna rješenja za recikliranje i ponovnu uporabu.

7. Zaključak

Tekstilna industrija, ključna u globalnoj ekonomiji, doživljava nevjerojatan rast potražnje i proizvodnje, posebno u zemljama u razvoju. Taj sektor donosi brojne ekonomske prednosti, poput stvaranja radnih mjesta i povećanja izvoza, ali isto tako nosi sa sobom značajne izazove za okoliš i društvo. Najveći izazovi vezani uz tekstilnu industriju su potrošnja ogromnih količina vode i energije, generiranje velikih količina otpadnih voda i tvari te upotreba kemikalija koje mogu biti štetne za okoliš i ljudsko zdravlje. Nedovoljna obrada otpadnih voda i nekontrolirano ispuštanje tvari dovode do znatnog onečišćenja okoliša, ugrožavajući biljni, životinjski i ljudski život. Uz to, problem tekstilnog otpada postaje sve veći, s ogromnim količinama otpada koji se generira tijekom proizvodnje, distribucije i uporabe tekstilnih proizvoda. Otpadne tkanine opterećuju odlagališta i doprinose onečišćenju okoliša, što zahtijeva hitne mjere za smanjenje i upravljanje tekstilnim otpadom. Stoga je nužno poduzeti konkretne korake da bi se smanjili negativni utjecaji tekstilne industrije na okoliš. To uključuje implementaciju održivih praksi proizvodnje, kao što su smanjenje potrošnje vode i energije, upotreba ekološki prihvatljivih materijala i kemikalija te efikasno upravljanje otpadom. Nadalje, potrebno je ulagati u istraživanje i razvoj novih tehnologija i inovativnih pristupa da bi se stvorili održivi modeli poslovanja u tekstilnoj industriji. Edukacija potrošača o važnosti održive mode i poticanje na kupovinu dugotrajnih proizvoda također su ključni koraci prema postizanju ciljeva održivog razvoja u tekstilnoj industriji. Kroz

suradnju između vlada, industrije, znanstvene zajednice i potrošača, moguće je stvoriti pozitivne promjene koje će osigurati da tekstilna industrija postane ekološki prihvatljivija i održiva u budućnosti. Održiva transformacija tekstilne industrije ne samo da će zaštititi okoliš i ljudsko zdravlje već će i osigurati dugoročni ekonomski prosperitet i društvenu dobrobit.

Popis kratica List of abbreviations

REACH	– Regulacija za registraciju, evaluaciju, autorizaciju i ograničavanje kemikalija – Regulation for registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals
CPSIA	– Zakon o poboljšanju sigurnosti potrošačkih proizvoda – Consumer Product Safety Improvement Act
EU	– Europska unija – European Union
MP	– mikroplastika – microplastics
VMP	– vlakna mikroplastike – microplastic fibres
BPK	– biokemijska potrošnja kisika – biochemical oxygen demand
KPK	– kemijska potrošnja kisika – chemical oxygen demand
CEAP	– Akcijski plan za kružno gospodarstvo – Circular Economy Action Plan
WFD	– Okvirna direktiva o otpadu – Waste Framework Directive

Literatura References

1. K. Farhana, K. Kadirgama, A. S. F. Mahamude, M. T. Mica, Energy consumption, environmental impact, and implementation of renewable energy resources in global textile industries: an overview towards circularity and sustainability, *Mater. Circ. Econ.* **4** (2022) 15, doi: <https://doi.org/10.1007/s42824-022-00059-1>.
2. M. Zimniewska, R. Kozłowski, Natural or man-made fibres – the question of our health, *World Cotton Research Conference* (2003) 1646–1655, url: https://www.icac.org/Content/EventDocuments/PdfFilesd438c066_04c7_4fe3_8f78_ceb8ebfd45f5/Natural.pdf.
3. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Hrvatska tehnička enciklopedija: <https://tehnika.lzmk.hr>.
4. I. Yalcin-Enis, M. Kucukali-Ozturk, H. Sezgin, Risks and management of textile waste, u K. M. Gothandam, S. Ranjan, N. Dasgupta and E. Lichtfouse (ur.), *Nanoscience and biotechnology for environmental applications*. Vol. 22, Springer International Publishing, Istanbul, 2019, str. 29–53, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97922-9_2.
5. M. Behera, J. Nayak, S. Banerjee, S. Chakraborty, S. K. Tripathy, A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach, *J. Environ. Chem. Eng.* **9** (2021) 105277, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105277>.

6. D. Sanders, A. Grunden, R. R. Dunn, A review of clothing microbiology: the history of clothing and the role of microbes in textiles, *Biol. Lett.* **17** (2021) 0200700, doi: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0700>.
7. R. M. N. Sulochani, R. A. Jayasinghe, G. Priyadarshana, A. H. L. R. Nilmini, M. Ashokline, P. D. Dharmaratne, Waste-based composites using post-industrial textile waste and packaging waste from the textile manufacturing industry for non-structural applications, *Sustain. Chem. Environ.* **8** (2024) 100163, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100163>.
8. T. Rahaman, S. H. Khan, Applications of green nano textile materials for environmental sustainability and functional performance: Past, present and future perspectives, *Nano-Struct. Nano-Objects* **40** (2024) 101332, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101332>.
9. J. Bryant, Degradation of natural and synthetic fibers in various aqueous environments, Honors Theses, Belmont University, Nashville, TN, SAD, 2021, url: https://repository.belmont.edu/honors_theses/39.
10. Z. Guo, M. Eriksson, H. de la Motte, E. Adolfsson, Circular recycling of polyester textile waste using a sustainable catalyst, *J. Cleaner Prod.* **283** (2021) 124579, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124579>.
11. International Cotton Advisory Committee, Data Portal, Production of Cotton Lint, url: <https://icac.org/DataPortal/DataPortal?Year=2021/22%20proj>.
12. S. Madhav, A. Ahamad, P. Singh, P. K. Mishra, A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods, *Environ. Qual. Manage.* **27** (2018) 31–41, doi: <https://doi.org/10.1002/tqem.21538>.
13. G. C. de Oliveira Neto, P. C. da Silva, H. N. P. Tucci, M. Amorim, Reuse of water and materials as a cleaner production practice in the textile industry contributing to blue economy, *J. Clean. Prod.* **305** (2021) 127075, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127075>.
14. S. Khan, A. Malik, Environmental deterioration and human health, u A. Malik, E. Grohmann, R. Akhtar (ur.), *Environmental and health effects of textile industry wastewater*, Springer, Dordrecht, 2014, str. 55–71, doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0_4.
15. S. Das, L. Cherwoo, R. Singh, Decoding dye degradation: Microbial remediation of textile industry effluents, *Biotechnol. Notes* **4** (2023) 64–76, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotno.2023.10.001>.
16. J. Duch Guillot, Utjecaj proizvodnje tekstila i tekstilnog otpada na okoliš (infografika), European Parliament (2024) 20201208STO93327, url: https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/12/story/20201208STO93327/20201208STO93327_hr.pdf.
17. M. Sillanpää, C. Ncibi, Circular economy in action: Case studies about the transition from the linear economy in the chemical, mining, textile, agriculture, and water treatment industries, u M. Sillanpää, C. Ncibi (ur.), *The Circular Economy*. Academic Press, Summerville, 2019, str. 111–206.
18. A. K. Chapagain, A. Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije, R. Gautam, The water footprint of cotton consumption, *Value of Water, Research Report Series No. 18*, UNESCO-IHE (2005) 19–21.
19. URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf) (9. 5. 2024.)
20. URL: <https://blog.qima.com/textile/complexities-of-chemical-textile-testing> (7. 12. 2024.)
21. F. S. Fidan, E. K. Aydogan, N. Uzal, The selection of washing machine programs with fuzzy dematel and mooratio multi-criteria decision-making methods considering environmental and cost criteria, *Desalin. Water Treat.* **317** (2024) 100005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100005>.
22. C. Pakula, R. Stamminger, Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide, *Energy Effic.* **3** (2010) 365–382, doi: <https://doi.org/10.1007/s12053-009-9072-8>.
23. I. Effendi, S. Nedi, Ellizal, Nursyirwani, Feliatra, Fikar, Tanjung, R. Pakpahan, Pratama, Detergent disposal into our environment and its impact on marine microbes, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ.* **97** (2017) 012030, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/97/1/012030>.
24. Suprihatin, F. S. Aselfa, Pollutants removal in electrocoagulation of detergent wastewater, *Earth Environ.* **472** (2019) 012032, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012032>.
25. K. Jarak, P. Drogui, R. Daghrir, Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment processes, *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **23** (2016) 3195–3216, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5803-x>.
26. P. J. T. M. van Puijenbroek, A. H. W. Beusen, A. F. Bouwman, Datasets of the phosphorus content in laundry and dishwasher detergents, *Data Brief* **21** (2018) 2284–2289, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.081>.
27. M. Sillanpää, P. Sainio, Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings *Sci. Pollut. Res.* **24** (2017) 19313–19321, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9621-1>.
28. T. Kimmel, K. Pauels, M. Köpke, V. Steigerwald, Efficiency and costs of household filters for the retention of fibrous microplastics from the laundry process in Germany, *Environ. Challenges* **15** (2024) 100919, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100919>.
29. C. Gaylarde, J. A. Baptista-Neto, E. Monteiro da Fonseca, Plastic microfibre pollution: how important is clothes' laundering?, *Heliyon* **7** (2021) 07105, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07105>.
30. I. Fischer, C. Milton, H. Wallace, Toxicity testing is evolving!, *Toxicol. Res.* **9** (2020) 67–80, doi: <https://doi.org/10.1093/toxres/taaa011>.
31. K. Tungare, R. Shahu, V. Zambare, P. Agarwal, R. Jobby, N. Nisar, N. M. Alabdallah, F. A. Al-Saeed, P. Johri, S. Singh, M. Saeed, P. Jha, Toxicity Mitigation of Textile Dye Reactive Blue 4 by Hairy Roots of *Helianthus annuus* and Testing Its Effect in In Vivo Model Systems, *Biomed. Res. Int.* **25** (2022) 1958939, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/1958939>.
32. Y. Zhao, R. Qiao, S. Zhang, G. Wang, Metabolomic profiling reveals the intestinal toxicity of different length of microplastic fibers on zebrafish (*Danio rerio*), *J. Hazard. Mater.* **403** (2021) 123663, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123663>.
33. P. Imogen Herold, D. Prokop, Is fast fashion finally out of season? Rental clothing schemes as a sustainable and affordable alternative to fast fashion, *Geoforum* **146** (2023) 103873, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2023.103873>.
34. N. Šajn, Environmental impact of the textile and clothing industry, European Parliament, 2019, url: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf).
35. J. Strähle, K. Hauk, Impact on sustainability: production

- versus consumption, u J. Strähle (ur.), *Green fashion retail*. Springer, Singapur, Singapur, 2017, str. 49–76.
36. A. Bosmans, I. Vanderreydt, D. Geysen, L. Helsen, The crucial role of waste-to-energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review, *J. Clean. Prod.* **55** (2013) 10–23, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.032>.
37. T. S. Thorisdottir, L. Johannsdottir, Sustainability within Fashion Business Models: A Systematic Literature Review, *Sustainability* **11** (2019) 2233, doi: <https://doi.org/10.3390/su11082233>.
38. B. Voncina, Recycling of textile materials, 2B Funtex-MDT (2016), url: http://www.2bfuntex.eu/sites/default/files/materials/Recycling%20of%20textile%20materials_Bojana%20Voncina.pdf.
39. S. Rani, Z. Jamal, Recycling of textiles waste for environmental protection, *Int. J. Home Sci.* **4** (2018) 164–168, doi: <https://doi.org/10.22271/23957476>.
40. R. M. Frazier, K. A. Vivas, I. Azuaje, R. Vera, A. Pifano, N. Forfora, H. Jameel, E. Ford, J. J. Pawlak, R. Venditti, R. Gonzalez, Beyond cotton and polyester: An evaluation of emerging feedstocks and conversion methods for the future of fashion industry, *J. Bioresour. Bioprod.* **9** (2024) 130–159, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2024.01.001>.
41. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Sažeti pregled podataka o otpadnom tekstilu i otpadnoj obući za 2022. godinu (2023), url: https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/lzyjesca/ostalo/OTP_Otpadni%20tekstil%202022.pdf.
42. M. Sillanpää, C. Ncibi, Circular economy in action: Case studies about the transition from the linear economy in the chemical, mining, textile, agriculture, and water treatment industries, u M. Sillanpää, C. Ncibi (ur.), *The Circular Economy*. Academic Press, Summerville, Finland, 2019, str. 111–206.
43. European Commission, EU strategy for sustainable and circular textiles (2023), url: https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en.
44. D. Huygens, J. Foschi, D. Caro, C. Caldeira, G. Faraca, G. Foster, M. Solis, R. Marschinski, L. Napolano, T. Fruergaard Astrup, D. Tonini, Techno-scientific assessment of the management options for used and waste textiles in the European Union, JRC Science for Policy Report (2023), doi: <https://doi.org/10.2760/6292>.
45. The European Parliament and the Council of the European Union, Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council (2008) doi: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>.

SUMMARY

Fast Fashion, Long-term Consequences: An Analysis of the Environmental Impact of the Textile Industry

Hariett Hartmann,^a Veronika Stepan,^a Bruna Prusac,^a Stefana Begović,^b and Martina Miloloža^{a}*

The textile industry significantly impacts the environment with fibres such as polyester and cotton, along with various processing methods, forming the basis of pollution. Polyester, the most common textile fibre, harms the environment due to its non-degradable nature and use of fossil fuels, specifically oil, for its production. While cotton possesses excellent properties, its cultivation often involves the use of fertilisers and pesticides that pollute water and soil. Textile processing, particularly wet processing, requires vast amounts of water and energy, generating substantial quantities of wastewater rich in chemicals and dyes. If untreated, such waste streams significantly pollute water and soil. Furthermore, microplastics from textiles, especially those released during clothes washing, pose an increasing problem with severe consequences for aquatic ecosystems. The use of detergents exacerbates these issues, contributing to the eutrophication and increased ecotoxicity of water bodies. Fast fashion, characterised by short clothing life cycles, generates large quantities of textile waste, placing additional strain on the environment. On the other hand, slow fashion offers a more sustainable alternative by focusing on the production of smaller quantities of higher-quality textile products. To mitigate the negative environmental impact of the textile industry, stricter regulations and sustainable practices are essential. Addressing these issues requires an integrated approach that includes reducing resource consumption, improving wastewater treatment, promoting sustainable materials and production processes, and educating consumers about the environmental consequences of their choices. To support these efforts, numerous regulations have been introduced, aiming to promote sustainable and circular management of textile waste.

Keywords

Textile industry, wet processing, microplastic fibres, detergents, fast fashion, slow fashion

^a University of Zagreb Faculty of Chemical Engineering and Technology, Trg Marka Marulića 19, 10 000 Zagreb, Croatia

^b ITX Hrvatska d. o. o. (Zara), Avenija Dubrovnik 16, 10 000 Zagreb, Croatia

Review

Received August 25, 2024

Accepted January 7, 2025