

Utjecaj proizvodnje i prerade ovčje vune na okoliš



The environmental impact of sheep wool production and processing

Mioč*, B., A. Džaja, I. Širić, A. Kasap, Z. Antunović, M. Jukić Grbavac, V. Držaić

Sažetak

Vuna je u prošlosti bila jedan od najvažnijih i najcjenjenijih ovčjih proizvoda. Zbog svoje je važnosti nerijetko nazivana „bijelim zlatom“. Većinu proizvedene vune (oko 56 %) prerađuje tekstilna industrija čija je sirovina uglavnom vuna vrhunske kvalitete. U posljednjim je desetljećima, zbog izrazite konkurencije sintetičkih vlakana, znatno smanjen interes za vunom, osobito onom grubom, loše kvalitete (koje je u Europi i Hrvatskoj najviše). Osim toga velik je problem vuneni otpad koji nastaje tijekom striže ovaca i procesa prerade vune. U kategoriju otpadne (neželjene) vune pripada i trbušna vuna finorunih pasmina ovaca koje je u runu oko 20 %. Tijekom procesa prerade (grebanje, češljanje, pređenje, tkanje i dr.) otpadne od 10 do 15 % vune. Pranjem vune troši se mnogo energije, rada, vremena te vode koja najčešće završava u okolišu. Sve naglašeniya svijest o važnosti očuvanja okoliša i veća potreba za sigurnim i održivim biološkim materijalima pokretač su traženja novih metoda recikliranja vunenog otpada i stvaranja novih proizvoda. Stoga je velik izazov u budućnosti pronaći gospodarski korisna, tržišno isplativa i ekološki prihvatljiva rješenja za nekvalitetnu vunu i vunski otpad, što će izravno pripomoći uzgajivačima i pridonijeti očuvanju okoliša.

Ključne riječi: vuna, pranje, otpad, okoliš, nove tehnologije

Abstract

In the past, wool was one of the most important and valued sheep products. Because of its importance, it was often called „white gold“. Most of the wool produced (about 56%) is processed by the textile industry, whose raw material is mostly high quality wool. In recent decades, interest in wool, especially coarse, low-quality wool (which is most common in Europe and Croatia), has declined significantly due to strong competition from man-made fibers. In addition, the wool waste generated during sheep shearing and wool processing is a significant problem. The category of waste wool (unwanted wool) also includes the belly wool of fine wool sheep breeds, which makes up about 20% of the fleece. During the processing (scratching, combing, spinning, weaving, etc.) 10-15% of the wool is wasted. Washing wool consumes a lot of energy, labour, time and water, which in most cases ends up in the environment. Increasing awareness

Dr. sc. Boro MIOČ, dipl. ing. agr., redoviti profesor u trajnom zvanju, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet; Ana DŽAJA, mag. ing. oecoing., M SAN EKO d.o.o., Buzin; dr. sc. Ivan ŠIRIĆ, dipl. ing. agr., izvanredni profesor, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet; dr. sc. Ante KASAP, dipl. ing. agr., izvanredni profesor, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet; dr. sc. Zvonko ANTUNOVIĆ, dipl. ing. agr., redoviti profesor u trajnim zvanju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek; dr. sc. Marija JUKIĆ GRBAVAC, dipl. ing. preh. teh., docent, Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru; dr. sc. Valentino DRŽAIĆ, mag. ing. agr., docent, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet. Dospisni autor: bmioc@agr.hr

of the importance of environmental protection and the growing need for safe and sustainable biological materials are driving the search for new methods to recycle wool waste and create new products. So the big challenge for the future is to find economically viable, market-oriented and ecologically sound solutions for low-quality wool and wool waste that directly help producers and protect the environment.

Key words: wool, washing, waste, environment, new technologies

Uvod

Vuna je proizvod životinjskog podrijetla koji, od pripitomljivanja ovaca do danas, ima važnu civilizacijsku, gospodarsku, kulturološku i ekološku ulogu (Allafi i sur., 2021.a). Potreba za odjećom i zaštitom od hladnoće bili su temeljni razlozi uzgoja ovaca i stvaranja pasmina selekcioniranih za proizvodnju vune vrhunske kvalitete (Mazinani i Rude, 2020.). Struktura i kemijski sastav čine vunska vlakna znatno drugačijima od drugih prirodnih i umjetnih vlakana te su zbog složenosti građe, raznolikosti i heterogenosti u prednosti u odnosu na ostala vlakna (Laitala i sur., 2018.). Vuna je loš vodič topline i zato se najviše upotrebljava za izradu odjeće za zimu te prekrivača, madraca, jastuka i drugih proizvoda za potrebe kućanstva. Čvrstoća je vunskih vlakana vrlo velika, a njihova građa i „priroda“ takve su da omogućuju pređenje, odnosno stvaranje niti „beskrajne dužine“ koje se mogu upotrijebiti za tkanje (Mioč i sur., 2020.). Vunene tkanine, kao i ostali vuneni materijali i predmeti, otporni su na vlagu. To svojstvo proistječe iz građe vunskih vlakana utemeljene na vodootpornoj tvari – keratinu. Odluke vune, zadržavanje topline i prirodnog sjaja, negušvanje, primanje boje, otpornost na vlagu i vatru, čine je jednom od najvažnijih i najtraženijih sirovina za tekstilnu industriju. Sva ta (poželjna) svojstva vunskih vlakana zastupljena su u runu većine pasmina ovaca, ali s različitim vrijednostima. Vuna se dobiva strižom ovaca, a količina i kvaliteta proizvedenog vlakna po jednom grlu ne ovise o načinu striže, nego primarno o pasmini (genotipu), dobi, spolu i tjelesnoj razvijenosti grla, hranidbi, klimatskim uvjetima, udjelu nečistoća u runu i dr. (Khan i sur., 2012.; Cholewinska i sur., 2020.; Allafi i sur., 2021.a). Vuna je proizvod izrazito različite gospodarske važnosti te je u nekim zemljama vrlo važan proizvod, dok je u drugim nekorisna i izravna je opasnost za okoliš. Vjerodostojan dokaz o upotrebi vunskih vlakana za proizvodnju tekstila jest otkriće tekstilnih ostataka izrađenih od ovčje vune na području Shahr-iSokhti (istočni Iran) i Novosvobodnaya, Sjeverni Kavkaz (Shishlina i sur., 2003.). U Europi je prerada vune i proizvodnja vunenog tekstila bila golemo otkriće u brončanom dobu (dva desetljeća prije Krista), a nakon toga bila je još cjenjenija i traženija (Sabatini, 2019.). Nažalost, tada se nije moglo ni pretpostaviti da će to otkriće danas biti toliko irelevantno i da će vuna ne samo pasti u drugi plan

nego i postati i znatan ekološki problem u mnogim zemljama svijeta. U to je vrijeme u većem dijelu Europe vuna bila najpoželjnije vlakno za tkanje jer je elastična i vrlo prikladna za proizvodnju keper-materijala (Rast-Eicher i Joergensen, 2013.). Gleba (2012.) navodi da su na području Italije pronađene tkanine proizvedene od vune različite kvalitete, pa se može pretpostaviti da su već u to vrijeme na tom prostoru uzgajane različite pasmine ovaca. U vrijeme Rimskog Carstva i u srednjem vijeku trgovina vunom bila je među najvažnijima u europskom gospodarstvu (Flohr, 2016.). I tada se razlikovala gruba vuna korištena za proizvodnju tepiha i fina vuna namijenjena izradi tekstila. U to su vrijeme najbolje ovce za proizvodnju fine vune uzgajane u južnoj Italiji i Grčkoj (Columella, 1472.) te su stoga izvožene na druga područja Carstva. U kasnom je srednjem vijeku nastala pasmina ovaca vrhunske kvalitete vune – španjolski merino, koja je u 16. stoljeću križana s više francuskih (Rochus i sur., 2018.) i srednjoeuropskih pasmina (Kijas i sur., 2012.; Ciani i sur., 2015.). Suvremena proizvodnja vune u Europi uglavnom se temelji na lokalnim pasminama neujednačene i nekvalitetne, tekstilnoj industriji slabo prihvatljive vune. Unatoč tome, europska lokalna i autohtona vuna može proizvođačima biti financijski korisna, a tekstilnoj industriji profitabilna (Bacci i sur., 2013.). Često je odlika lokalnih pasmina mala količina dobivenog proizvoda, pa je nerijetko ugrožena njihova gospodarska održivost s visokim rizikom od izumiranja pasmine (Sardaro i La Sala, 2021.). Smanjenje gospodarske važnosti ovčarstva i proizvodnje vune (Hearle i sur., 2007.), nakon prestanka otkupa australske vune po zajamčenim cijenama (Bardsley, 1994.), dodatno je narušeno sve većom konkurencijom umjetnih vlakana (Valera i sur., 2009.), ograničenim tržištem (Swan, 2010.) i povećanim troškovima proizvodnje (Rowe, 2010.). Priprema vune za upotrebu (završni proizvod) vrlo je složena, teška i zahtjevna u svakoj proizvodnoj fazi (Bahtiyari i Duran, 2013.) što pridonosi snažnom prodoru sintetičkih vlakana. Prije Drugoga svjetskog rata vuna i pamuk bili su najvažnija vlakna za proizvodnju odjeće, dok je jedino komercijalno sintetičko vlakno bio najlon koji je zamijenio skupu svilu (Rogers, 2006.). U posljednjim je desetljećima proizvodnja vune patila zbog gospodarske krize, povećane upotrebe sintetičkih vlakana, a i stavova potrošača o dobrobiti životinja koji su nepovoljno utjecali na tržište vune (Hustvedt i sur., 2013.). Stoga je

u posljednjih dvadesetak godina u svijetu proizvodnja vune smanjena za oko 10 % (Skapetas i Kalaitzidou, 2017.), a znatno je smanjena i potražnja za vunanim tkaninama, dok je proizvodnja umjetnih vlakana udvostručena (IWTO, 2019.). U tekstilnoj su industriji sintetička vlakna zbog cijene, raznovrsnosti i kvalitete gotovo u potpunosti potisnula vunu (Robles-Jimenez, 2021.). Posljedica je stagnacija broja ovaca, promjena uzgojno-proizvodnog cilja i znatno smanjenje količine proizvedene vune (Boutonnet, 1999.). U posljednjih je pola stoljeća znatno povećan interes za sintetičkim vlaknima, dok je udio vune kao sirovine izrazito smanjen (Behrem i sur., 2022.). U svijetu se najviše vune iskoristi za proizvodnju odjeće (oko 56 %), zatim za proizvodnju kućnog tekstila ili dizajniranje interijera (oko 42 %), a preostalih oko 2 % za druge industrije (Botha i Hunter, 2010.). Odjeća od vune uglavnom je pletena ili tkana i to su najčešće gornji odjevni predmeti. U usporedbi s drugim prirodnim i umjetnim vlaknima, proizvodnja i prerada vune skuplje su za četiri do sedam puta (Cottle, 2010.). Stoga, kako bi se nadomjestila ta razlika, prodajna cijena vune trebala bi biti znatno veća te se sugerira plasman vunениh proizvoda kao luksuzne robe. Suvremeno tržište, briga o dobrobiti životinja i zaštita okoliša nameću daljnja promišljanja o preradi vune i jačanju (proširenju) njezine proizvodne važnosti uz maksimalnu brigu o očuvanju okoliša.

Pranje vune

Ovčje je runo cjelina koja sadržava kemijske tvari s mogućim štetnim djelovanjem na okoliš, stoga je potrebna pozornost pri pranju, pripremi i preradi vune (Tarbuk i sur., 2017.). Runo (vuna) ovaca, osobito onih držanih u staji, izvrgnuto je utjecaju mokraće i balege što djeluje na njezina fizikalna svojstva, umanjuje kvalitetu izravno utječući na tržišnu prihvatljivost, namjenu i cijenu (Mioč i sur., 2007.). Vunsko je vlakno jedno od najluksuznijih i najugodnijih, ali i najprljavije prirodno vlakno s mnoštvom različitih nečistoća (Taleb i El-Sayed, 2021.). Čišćenje je prva faza u obradi vune nužna za utvrđivanje kvalitete vlakana i uklanjanje prirodnih nečistoća s površine vlakana (Li i sur., 2014.). To je jedan od najvažnijih koraka u pripremi sirove vune (Robinson, 1988.). Temeljni su ciljevi procesa čišćenja vune:

- ukoniti nečistoće iz runa (masnoće, mineralnu prljavštinu, biljne primjese i dr.)
- prouzročiti što manje filcanja (valjanja), čime se postiže maksimalna dužina
- maksimalno paziti na potrošnju vode i energije
- minimizirati utjecaj na okoliš (Robinson i sur., 1993.).

Vunu je moguće čistiti na više načina (metoda): karbonizacijom, izbjeljivanjem otapalima i ultrazvukom, primjenom superkritičnog CO₂, tradicijski pomoću različitih deterdženata, pranjem u vodenoj pari, vrućoj i/ili hladnoj vodi te elektrohidrauličnim pražnjenjem (Bahtiyari i Duran, 2013.; Zhang i sur., 2016.; Allafi i sur., 2021.b). No navedene metode izazivaju zabrinutost jer nepovoljno utječu na mehanička i kemijska svojstva vunskih vlakana uz potrošnju velikih količina kemikalija i vode (Allafi i sur., 2021.b). Stoga je jako važan odabir metode pranja vune jer on utječe na cijenu prerade, kvalitetu runa, a i na okoliš (Vėjelis i sur., 2022.). Vunska se vlakna u tekstilnoj industriji podvrgavaju brojnim tretmanima na bazi vode, kao što su ribanje, pranje, izbjeljivanje, punjenje, karbonizacija i završna obrada, a navedenim se postupcima štetno djeluje na okoliš te je potrebno pronalaženje novih, za okoliš manje štetnih metoda. Čišćenje i pranje najvažniji su korak u obradi ovčje vune (Allafi i sur., 2021.b). Kvaliteta čišćenja vune i uklanjanja površinskih nečistoća s vunskih vlakana ovisi o prirodi onečišćenja, vrsti deterdženta, temperaturi i mehaničkom utjecaju na površinu vlakana (Li i sur., 2014.; Romanovska i Oseiko, 2017.). Količina nečistoća u runu ovisi o pasmini, uzgojnom području, čistoći boravišnog prostora i dr. (Zhang i sur., 2016.). Tako npr. runo australskog merina sadržava znatno više vunske masnoće od križanaca s merinom (Allafi i sur., 2021.b). Runo ovaca uzgajanih na većoj vrućini masnije je od runa grla uzgajanih na hladnijem području (Halliday, 2002.). Te nečistoće najčešće čine polovicu mase sirova runa (Bahtiyari i Duran, 2013.).

Pranje vune nakon striže na gospodarstvu razlikuje se od onog u industriji (tvornici tekstila), gdje se vuna potpuno opere i ne sadržava nečistoće ni masnoće. Ako su ovce prije striže okupane, ne smije ih se tjerati po prašnjavim putovima ni po blatnjavom terenu kako se vuna ne bi ponovno zaprljala (Mioč i sur., 2006.). Runo (vuna) najčešće se pere u različitim kupeljima, u toploj i/ili hladnoj vodi, ekstrakcijom ili zamrzavanjem, a otpadne su vode prilično onečišćene različitim organskim i anorganskim tvarima. Otpadne vode nakon pranja vune osim mogućeg štetnog utjecaja na okoliš mogu biti vrlo korisna (lanolin, mulj) sirovina (Tarbuk i sur., 2017.). Količina vode potrebna za pranje vune ovisi o finoći vune, sadržaju, tipu i ukupnoj onečišćenosti runa te je između 20 i 30 L/kg sirove vune (Erlač i sur., 1997.). No Ghaly i sur. (2014.) tvrde da je za potpunu čistoću jednog kilograma vune i njegovu primjenu za tekstilnu industriju potrebno utrošiti i do 200 L vode. Lutkić i sur. (2005.) navode da se sirova vuna čisti pranjem u vodenim otopinama sredstava za pranje, u organskim otapalima ili zamrzavanjem. Autori naglašava-

Tablica 1. Kvaliteta vode nakon pranja vune (Kunyk i sur., 2014.)

Pokazatelj	Vuna		
	fina	polufina	gruba
Koncentracija suspenzije, g/L	15-25	15-17	40-70
Koncentracija masti vune, g/L	12-20	10-15	1-3
Koncentracija krutih tvari, g/L	35-50	45	15-75
Udio pepela u osušenom talogu, %	35	40	40
pH-vrijednost	10-11	9-10	8-10

vaju da na vuni treba ostati od 0,5 – 1 % vunskog voska u obliku tankog filma koji štiti vlakno tijekom daljnjih mehaničkih (preradbenih) postupaka. Vunski se znoj redovito uklanja pranjem u hladnoj vodi (na temperaturi do 16 °C), nakon čega se vunska mast skida vodenom otopinom sapuna, sode i tenzida ili organskim otapalima, najčešće benzenom, karbon-tetrakloridom i benzinom. Navedenim se postupkom dobivaju dva ekstrakta: jedan služi za dobivanje kalijeve karbonata i plina, a drugi za dobivanje lanolina i sapuna iz masnih tvari te dobivanje gnojiva iz ostataka. Osim toga autori spominju i belgijski način pranja smjesom alkohola i vode u svrhu uklanjanja soli iz vunskog znoja, a zatim heksanom (s malo alkohola) za uklanjanje voska i masnih tvari. Lanolin je topljiv u organskim otapalima poput dietil-etera i kloroforma (Dominguez i sur., 2003.). No navedena otapala nisu ekološki prihvatljiva i moguća su opasnost za okoliš, dok je topljivost lanolina znatno povećana u vrućim alkoholnim otopinama (Schlossman i McCarthy, 1978.). Wang i sur. (2022.) predlažu za ekstrakciju lanolina vrlo učinkovitu vruću alkoholnu otopinu od 85 % etanola i 15 % metanola na temperaturi od 60 °C. Vuna tretirana organskim otapalima znatno se manje opusti, za razliku od vune oprane tenzidima, a izdvaja se više od 90 % vunskog voska koji je sirovina za dobivanje tehničkog lanolina i lanolina za farmaceutsku i kozmetičku industriju. Lutkić i sur. (2005.) navode da je razvijen postupak hlađenja vlažne vune na temperaturi do -30 °C, kad se vunski vosak i biljne primjese zamrznu te postanu čvrsti i kruti i iz vune se uklanjaju mehanički, odnosno istresanjem. Nepotpunost uklanjanja nečistoća i primjesa postupcima ekstrakcije i zamrzavanja te gospodarski razlozi dovode do prosudbe kako je još uvijek najekonomičniji način pranja vune vodenim otopinama. Iskorištenje takvog pranja jest između 30 i 75 % čiste vune od mase sirova runa, a češće je od 35 do 60 %. Završno uklanjanje biljnih primjesa s vune provodi se mehaničkim otvaračima vunjenih vlakana,

čupanjem vune, odnosno raščijavanjem (rasčešljavanjem), a dodatno se može provesti i karboniziranje (Chappell, 1988.; Jovanović, 1989.; Soljačić i sur., 1992.). Nerijetko su i nakon višestrukog pranja na vuni čvrsto vezane različite biljne nečistoće, uključujući i gnoj, koje se teško mehanički uklanjaju. Temeljni je sastojak biljnih tvari celuloza koja se može ukloniti karbonizacijom kiselinama. Za to je potrebna odgovarajuća koncentracija kiseline i optimalno vrijeme tretmana kako ne bi došlo do oštećenja vlakana (Wang i sur., 2022.).

Karboniziranje je postupak potapanja vune u razrijeđenu sumpornu kiselinu uz zagrijavanje pri čemu dolazi do pougljenjivanja ostataka biljnih primjesa koje se mehanički istresu, a provodi se samo ako je udio biljnih primjesa iznad 14 % (Lutkić i sur., 2005.). Osim navedenih postupaka vunu je moguće prati dispergiranjem i emulgiranjem. Postupak pranja vune dispergiranjem odnosi se na tzv. pranje u vlastitu znoju pri čemu se vuna namače u hladnoj vodi (temperatura do 16 °C), vunski se znoj otapa, a pH-vrijednost vodene otopine je od 5,5 do 8,8. Nakon toga temperatura vode povećava se do 60 °C te dolazi do pranja vune sa sadržajem sijere s obzirom na to da ona ima svojstva tenzida. Navedeni je postupak teško kontrolirano provoditi (Jovanović, 1989.; Chappell, 1988.). Postupak pranja vune emulgiranjem provodi se dodavanjem sapuna ili tenzida i natrijeva karbonata (sode) u vruću vodu (temperatura 52 °C) u koju se uranja sirova vuna. Sapun uklanja prljavštinu (topljive nečistoće i teški talog) i uz to emulgira vunsku mast, a natrijev karbonat neutralizira slobodne masne kiseline. Talište sijere na temperaturi je od 43 do 49 °C, pa se voda u kadi zagrije na temperaturu od 52 °C. Nakon toga nastali talog mulja s nečistoćama uklanja se centrifugiranjem, a vunska se mast flotira i prelazi dalje s vunom u drugu kadu u kojoj je temperatura između 43 i 49 °C, a pH-vrijednost 10,1. Zatim se čista vuna polaže na rešetke, a kupelj se nakon pranja centri-

fugira i vunska se mast odvaja u gornjem sloju te se obire i prerađuje. Tradicijski centrifugalni sustavi (ultrafiltracija otpadnih voda nakon pranja vune) skupa su zbog visokih ulaganja u opremu (Chuiyu, 1995.). Istodobno je otežana obrada otpadnih voda zbog visoke stabilnosti velike količine ukupnih suspendiranih čvrstih tvari (Mostafa, 2015.).

Nakon pranja vunu je najbolje sušiti u čistoj i zračnoj prostoriji (u sjeni), polagano, a nikako ne izravno na suncu ili na propuhu. Količina čiste vune, dobivene potpunim pranjem masne vune, naziva se stupnjem iskoristivosti ili randmanom vune (Bayer i Stemberger, 1948.). Pod randmanom se podrazumijeva količina oprane i očišćene vune od jednog ostriženog runa, uz dopušten udio vlage od 15 do 17 %. Izražava se u postocima i ponajviše je pod utjecajem genotipa (Mioč i sur., 2007.). Ako je npr. randman vune 35 %, to znači da je od 100 kg nečiste vune dobiveno 35 kg čiste vune ili vune za preradu.

Utjecaj vune na okoliš

Godišnje se u svijetu proizvede (nastane) od 7 do 10 milijardi tona otpada (Wilson i Velis, 2015.), a očekuje se da će do 2050. ukupna godišnja proizvodnja otpada iz kućanstva, poljoprivrede, trgovine, industrije i građevine biti 27 milijardi tona (Kumar i Agrawal, 2020.). Iz tog je razloga jedno od najvažnijih globalnih ekoloških pitanja povezano s upravljanjem i odlaganjem otpada. Loše gospodarenje i upravljanje golemim količinama otpada ima za posljedicu onečišćenje zraka, tla i vode, s velikim utjecajem na zdravlje našeg planeta (Parlato i sur., 2022.). Potrebno je uložiti mnogo truda da se količina otpada svede na najmanju mjeru i da se taj otpad odgovarajuće valorizira. Odgovarajuća upotreba otpada, recikliranje te proizvodnja novih materijala i energije vrlo su važni za održivi razvoj. Nažalost, velike količine otpada nisu pravilno valorizirane ni upotrijebljene (He i sur., 2019.).

Poljoprivredni i prehrambeni sektor veliki su potrošači energije i temeljni izvor emisije stakleničkih plinova (Komorowska i sur., 2022.). Svjetsko povećanje poljoprivredne proizvodnje, osobito ono organizirano u intenzivnim uvjetima, rezultiralo je znatnim povećanjem poljoprivrednog otpada. Prema određenim se procjenama godišnje u svijetu proizvede oko 998 milijuna tona poljoprivrednog otpada, uključujući i otpad od stoke koji je, ako se ne tretira na odgovarajući način, velik ekološki problem (Bories i sur., 2009.). Poljoprivredni otpad čine svi nusproizvodi i ostaci koji su rezultat poljoprivrednih aktivnosti, uključujući uzgoj, stočarsku proizvodnju i akvakulturu. Mogu biti u tekućem, kašastom i krutom obliku, a njihov sastav varira ovisno o vrsti poljoprivredne

djelatnosti iz koje nastaju. Pretvorba otpada u nove sirovine i proizvode prioritet je kreatora poljoprivredne politike, a može biti vrlo važna ako se njome pravilno gospodari te se može pretvoriti u važan resurs za nastanak novih proizvoda (Selvaggi i sur., 2021.). Otpad od vune potječe iz različitih karika u lancu proizvodnje i prerade vune. Prvi je korak na farmi, kad se sirova i svježe ostrižena vuna, neprikladna za preradu, odmah odbacuje, što je najveći problem (Rajabinejad i sur., 2019.). Drugi je korak u tvornicama za preradu, kad se neprikladna vlakna odbacuju i ne upotrebljavaju za izradu tekstila. I na kraju, kada se proizvodi od vune bacaju u otpad, a ne recikliraju i koriste za nove proizvode. U tekstilnoj se industriji vuna uglavnom pere vodom uz dodatak različitih kemikalija (deterdženata), što rezultira velikim količinama kontaminirane vode (Vėjelis, 2022.). Procjene su da od ukupne količine otpadnih voda od 17 do 20 % potječe od prerade vune (Kant, 2012.). Proces pranja vune i proizvodnje tekstila uključuje upotrebu različitih kemikalija: fosfata, sulfata, lužina i teških metala koji jako onečišćuju korištenu vodu i velik su ekološki problem (Komorowska i sur., 2022.). U prirodi je odbacena vuna velik onečišćivač prostora pa je uzgajivači često spaljuju čime se također štetno utječe na okoliš jer se tada oslobađaju plinovi, a najviše CO₂, NO_x i SO₂ (Alma'atah i Alkhamis, 2020.). Pranje sirove vune kao prvi korak u procesu pretvaranja vlakna u proizvod rezultira dobivanjem visoko onečišćenog efluenta. Te otpadne vode, nakon pranja vune, mogu biti ekološki problem ili korisna sirovina (Vujsinović i sur., 2007.). Jedan je od načina uporabe odbačene vune hidroliza i proizvodnja organskog gnojiva. Ovčja je vuna stopostotno prirodan i biorazgradiv materijal koji ne otpušta toksične tvari u podzemne vode (Adi i Pacurar, 2015.). Pravilno i pravodobno zbrinjavanje te moguća pretvorba otpada u nove sirovine mogli bi smanjiti onečišćenje okoliša i troškove proizvodnje u skladu s okvirom kružnog gospodarenja (Obi i sur., 2016.; Liuzzi i sur., 2017.). Znatna količina otpada iz poljoprivrede velik je problem za onečišćenje okoliša i kvalitetu krajolika, osobito u ruralnim područjima, s mogućom opasnošću za onečišćenje zraka, vode, tla, biljaka, životinja te štetnim učinkom na ljude. Stoga će u poljoprivrednoj proizvodnji metode povećane ekološke učinkovitosti biti strateški element budućeg razvoja te gospodarske grane (Sikora i sur., 2020.). Valorizacijom poljoprivrednih nusproizvoda mogle bi se postići velike gospodarske koristi od poljoprivrede, ponajprije stvaranjem novih proizvoda, otvaranjem novih radnih mjesta te smanjenjem količine poljoprivrednog otpada odloženog u okoliš (Toop i sur., 2017.). Poljoprivredni je otpad potrebno smatrati potencijalnim resursom, a ne neželjenim i nepotrebnim ostacima koji se ispuštaju u okoliš. Pravilno korištenje poljoprivrednog otpada temelji se na pet različitih

faza, koje uključuju prikupljanje, skladištenje, obradu, prijenos i korištenje (Parlato i sur., 2022.). Sve te faze zahtijevaju nove tehnologije, stavove, poticaje, novu namjensku politiku i potpuno drugačiji pristup gospodarenju poljoprivrednim otpadom s ciljem dobivanja otpadnog proizvoda koji je moguće ponovno koristiti te smanjenjem količine otpada odloženog u okoliš (Obi i sur., 2016.). U ovčjoj vuni kemijskim postupcima se neutraliziraju štetne i neugodne tvari poput dušikova dioksida, sumporova dioksida, toulena i formaldehida (Mansour i sur., 2016.) vuna je samogasiva, a u slučaju požara ne gori, već se topi (Allafi i sur., 2020.). Vlakna ovčje vune moguće je upotrijebiti kao aditive u biokompozitnim materijalima za poboljšanje njihovih mehaničkih odlika kao što su duktilnost i brzina skupljanja (Parlato i sur., 2022.). Unatoč navedenim pozitivnim odlikama, vuna se smatra krutim otpadom, zahtjevnim i kompleksnim pri upravljanju odlaganjem. Stoga se razvoj i optimizacija procesa pranja ovčje vune trebaju temeljiti na pročištaču otpadnih voda, zelenoj ekstrakciji lanolina uz upotrebu ekološki prihvatljivih materijala temeljenih na vuni (Wang i sur., 2022.).

Literatura

- ADI, M., I. PACURAR (2015): Study on the Use Sheep Wool in Soil and Fertilization as the Mixture into Cubes Nutrients. *ProEnvironment*. 8, 290-292
- ALLAFI, F., S. HOSSAIN, J. LALUNG, M. SHAAH, A. SALEHABADI, M. I. AHMAD, A. SHADI (2020): Advancements in Applications of Natural Wool Fiber: Review. *J. Nat. Fibers*. 19, 497-512.
- ALLAFI, F., S. HOSSAIN, J. LALUNG, M. SHAAH, A. SALEHABADI, M. I. AHMAD, A. SHADI (2021.a): A Review on Characterization of Sheep Wool Impurities and Existing Techniques of Cleaning: Industrial and Environmental Challenges. *J. Nat. Fibers*. 19, 1-19.
- ALLAFI, F., S. S.H. Md, M. A. H. Shaah, J. LALUNG, M. O. KADIR, M. I. A. AHMAD (2021b): Optimizing supercritical carbon dioxide in the bacterial inactivation and cleaning of sheep wool fiber by using response surface methodology. *J. Nat. Fibers*. 1-16.
- ALMA'ATAH, B. M., T. M. ALKHAMIS (2020): Sustainability of Sheep Fleece Utilization in Jordan as an Insulation Material to Decrease Environmental Pollution, Increase Farmers' Income, and Create New Job Opportunities. *J. Environ. Prot.* 11, 821-827.
- BACCI, L., F. CAMILLI, S. DI LONARDO, P. DUCE, E. VAGNINI, A. MAURO (2013): Neglected Wools: Fundamental Steps to Counteract the Loss of Potentially Valuable Materials Derived from Native Sheep Breeds. *International Conference on Natural Fibers - Sustainable Materials for Advanced Applications*, Volume 2013, Article ID 463790.
- BAHTIYARI, M. I., K. DURAN (2013): A study on the usability of ultrasound in scouring of raw wool. *J. Clean. Prod.* 41, 283-290.
- BARDSLEY, P. (1994): The collapse of the Australian wool reserve price scheme. *Econ. J.* 104, 1087-1105.
- BAYER, Z., M. STEMBERGER (1948): Sirova domaća vuna. Priručnik za preuzimače sirove vune, Zagreb.
- BEHREM, S., M. KESKIN, S. GÜL, E. ÜNAY, A. ERIŞEK (2022): Effects of age and body region and mineral contents on the fleece characteristics of Central Anatolian Merino Sheep. *Tekstil ve Konfeksiyon* 32, 108-114.
- BORIES, C., M. E. BORREDON, E. VEDRENNE, G. VILAREM, P. AGAMUTHU (2009): Challenges and Opportunities in Agro-waste Management: An Asian Perspective What is AgroWaste? *J. Environ. Manag.* 143: 186-196.
- BOTHA, A. F., L. HUNTER (2010): The measurement of wool fibre properties and their effect on worsted processing performance and product quality. Part 1: The objective measurement of wool fibre properties. *Textile Progress*. 42, 227-339.
- BOUTONNET, J. P. (1999): Review. The perspectives for the world sheep meat market and its influence on future production systems and trends. *AJAS*. 12, 1123-1128.
- CHAPPELL, G. L. M. (1988): Producing and marketing high quality wool. *Sheep Production Handbook*, Third Edition.
- CHUIPU, F. (1995): The action of ultrafiltration treatment of wool scouring wastewater. *Environ. Prot. Sci.* 2.
- CHOLEWINSKA, P., M. MICHALAK, D. LUCZYCKA, K. CZYŻ (2020): An effect of suint on sheep wool impendance and heat resistance values. *J. Nat. Fibers*. 17, 382-388.
- CIANI, E., E. LASAGNA, M. D'ANDREA, I. ALLOGGIO, F. MARRONI, S. CECCOBELLI (2015): Merino and Merino-derived sheep breeds: a genome-wide intercontinental study. *Genet. Sel. Evol.* 47, 64.
- COLUMELLA, L. J., M. (1472): *Res Rustica*. Books V-IX, Forster, E. S., H. H. Edward (editors).
- COTTLE, D. J. (2010): Wool preparation and metabolism. U: Cottle, D. J. (Editor), *International Sheep and Wool Handbook*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, str. 581-618.
- DOMINGUEZ, C., E. JOVER, J. M. BAYONA, P. ERRA (2003): Effect of the carbon dioxide modifier on the lipid composition of wool wax extracted from raw wool. *Anal. Chim. Acta.* 477, 233-242.
- ERLAČ, E., Z. DRAGIČEVIĆ, N. VULJANIĆ (1997): Organoklorni inksekticidi na vuni. *Tekstil*. 46, 255-261.

- FLOHR, M. (2016): The wool economy in Roman Italy. U: Droß-Krüpe, K, Nosch, M.L., editors. Text trade and theories: from the ancient near east to the Mediterranean. Munich: Ugarit Verlag, Minhen, Njemačka, str. 49-62.
- GHALY, A.E., R. ANANTHASHANKAR, M. AL-HATTAB, V. V. RAMAKRISHNAN (2014): Production, characterization and treatment of textile effluents: A critical review. Chem. Eng. Technol. 5, 1-18.
- GLEBA, M. (2012): From textile to sheep: Investigating wool fibre development in pre-roman Italy using scanning electron microscopy (SEM). J. Archaeol. Sci. 39, 3643-3661.
- HALLIDAY, L. A. (2002). 2 - Woolscouring, carbonising and effluent treatment. U Simpson, W.S., Crawshaw, G.H. (Eds.), Wool, str.: 21-59.
- HE, K., J. ZHANG, Y. ZENG (2019): Knowledge domain and emerging trends of agricultural waste management in the field of socialscience: A scientometric review. Sci. Total Environ. 670, 236-244.
- HEARLE, J. W. (2007): Protein fibers: structural mechanics and future opportunities. J. Mater. Sci. 42, 8010-8019.
- HUSTVEDT, G., K. A. CARROLL, J. C. BERNARD (2013): Consumer ethnocentricity and preferences for woolproducts by country of origin and manufacture. Int. J. Consum. Stud. 37, 498-506.
- IWTO (2019): IWTO market information: statistics for the global wool production and textile industry. Brussels (Belgija): Poimena Analysis & Delta Consultants.
- JOVANOVIĆ, R..S. (1989): Celulozna, prirodna i hemijska proteinska vlakna. Građevinska knjiga Beograd, Srbija.
- KANT, R. (2012): Textile dyeing industry an environmental hazard. Nat. Sci. 4, 22-26.
- KHAN, M.J., A. ABBAS, M. AYAZ, M. NAEEM, M.S. AKHTER, M.H. SOOMRO (2012): Factors affecting wool quality and quantity in sheep. AJB. 11, 13761-13766.
- KIJAS, J. W., J. A. LENSTRA, B. HAYES, S. BOITARD, L. R. NETO, M. SANCRISTOBAL (2012): Genome-wide analysis of the world's sheep breeds reveals high levels of historic mixture and strong recent selection. PLoS Biol. 10, e100125.
- KOMOROWSKA, M. M. NIEMIEC. J. SIKORA, A. SZELAG-SIKORA, Z. GRÓDEK-SZOSTAK, P. FINDURRA, H. GURGULU, J. STUGLIK, M. CHOWANIAC, A. ATILIGAN (2022): Closed-Loop Agricultural Production and Its Environmental Efficiency: A Case Study of Sheep Wool Production in Northwestern Kyrgyzstan. Energies, 15, 6358. <https://doi.org/10.3390/en15176358>.
- KUMAR, A., A. AGRAWAL (2020): Recent trends in solid waste management status, challenges, and potential for the future Indian cities – A review. Curr. Res. Environ. Sustain. 2, 100011.
- KUNYK, O., O. SEMESHKO, J. SARIBEKOVA, S. MIASNIKOV (2014): High-energy discrete processing in technology of extraction of wool greas. Ukr. Food J. 3, 381-388.
- LAITALA, K., I. KLEPP, B. HENRY (2018): Does use matter? Comparison of environmental impacts of clothing based on fiber type. Sustainability. 10, 2524. doi:10.3390/su10072524.
- LI, Q., C. Ding, H. Yu, C. J. HURREN, X. Wang (2014): Adapting ultrasonic assisted wool scouring for industrial application. Text. Res. J. 84, 1183-1190.
- LIUZZI, S., S. SANARICA, P. STEFANIZZI (2017): Use of agro-wastes in building materials in the Mediterranean area: A review. Energy Procedia. 126, 242-249.
- LUTKIĆ, A., E. ERLAČ, I. SOLJAČIĆ (2005): Sijera ovčje vune, Tekstil. 55, 596-604.
- MANSOUR, E., R. MARRIOTT, G. ORMONDROYD (2016): Sheep Wool Insulation for the Absorption of Volatile Organic Compounds. GreenMater. 4, 17.
- MAZINANI, M., B. RUDE (2020) Population, World Production and Quality of Sheep and Goat products. Am. J. Anim. Vet. 15, 291-299.
- MIOČ, B., V. SUŠIĆ, V., PAVIĆ, Z. BARAĆ, Z. PRPIĆ (2006): Priprema ovaca za strižu, striža i postupci s vunom do transporta. Stočarstvo. 60, 129-141.
- MIOČ, B., V. PAVIĆ, V. SUŠIĆ (2007): Ovčarstvo. Hrvatska mljekarska udruga Zagreb.
- MIOČ, B., V. DRŽAIĆ, I. ŠIRIĆ, A. KASAP (2020): Vuna – prošlost, sadašnjost i budućnost. Sveučilište u Zagrebu Agronoski fakultet.
- MOSTAFA, M. (2015): Waste water treatment in textile Industries-the concept and current removal technologies. JBES. 7, 501-525.
- OBI, F., B. UGWUISHIWU, J. NWAKAIRE (2016): Agricultural waste concept, generation, utilization and management. Niger. J. Technol. 35, 957-964.
- PARLATO, M. C., F. VALENTI, G. MIDOLO, S.M C. PORTO (2022): Livestock Wastetes Sustainable use and management: assessment of row Sheep wool Reuse and valorization. Energies. 15, 3008.
- RAJABINEJAD, H., I. I. BUCIŞCANU, S. S. MAIER (2019): Current approaches for raw wool waste management and unconventional valorization: A review. Environ. Eng. Manag. J. 18, 1439-1456.
- RAST-EICHER, A., L. B. JOERGENSEN (2013): Sheep wool in Bronze Age and Iron Age Europe. J. Archaeol. Sci. 40, 1224-1241.

- ROBLES-JIMENEZ, L. E. (2021): Retrospective study of production and commercialization of Sheep wool from Mexico. *Sheep Farming*, Edited by Ronguillo, M.G., P, Riocerezo. DOI:10.5772/intechopen.101970.
- ROCHUS, C. M., F. TORTEREAU, F. PLISSON-PETIT, G. RESTOUX, C. MORENO-ROMIEUX, G. TOSSER-KLOPP (2018): Revealing the selection history of adaptive loci using genome-wide scans for selection: an example from domestic sheep. *BMC Genomics*. 19, 71.
- ROBINSON, B. (1988): Latest developments in raw wool scouring. *ITJ*. 13, 40-51.
- ROBINSON, B., C. S. P. LEE, SHAW, T. (1993): A comparative study of raw wool scouring systems. I: Effect of scouring systems on commercial carding/combing operation in top production, *Textile Technology. Technical Information Bulletin TIL/ET14*, International Wool Secretariat.
- ROGERS, G. E. (2006): Biology of the wool follicle: an excursion into a unique tissue interaction system waiting to be re-discovered. *Experimental Dermatology* 15, 931-949.
- ROMANOVSKA, T., M. OSEIKO (2017): Aspects of wet wool cleaning. *Ukr. J. Food Sci.* 5, 25-31.
- ROWE, J. B. (2010): The Australian sheep industry – undergoing transformation. *Anim. Prod. Sci.* 50, 991-997.
- SABATINI, S., S. BERGERBRANT, L. Ø. Brandt, A. MARGARYAN, M. E. ALLENTOFT (2019): Approaching sheep herds origins and the emergence of the wool economy in continental Europe during the Bronze Age. *Archaeol Anthropol Sci.* 11, 4909-4925.
- SARDARO, R., P. LA SALA (2021): New Value to Wool: Innovative Garments for Preservation of Sheep Landraces in Italy. *Animals*. 11, 731.
- SCHLOSSMAN, M. L., J. P. MCCARTHY (1978): Lanolin and its derivatives. *JAOCS*. 55, 447-450.
- SELVAGGI, R., F. VALENTI, B. PECORINO, S. M. C. PORTO (2021): Assessment of tomato peels suitable for producing biomethane within the context of circular economy: A gis-based model analysis. *Sustainability*. 13, 5559.
- SHISHLINA, N. I., O. V. ORFINSKAYA, V. P. GOLIKOV (2003): Bronze age textiles from the north caucasus: new evidence offourth millennium BC fibres and fabrics. *Oxford J. Archaeol.* 22, 331- 344.
- SIKORA, J., M. NIEMEC, A. SZELAG-SIKORA, Z. GRÓDEK-SZOSTAK, M. KUBOŃ, M. KOMOROWSKA (2020): The Impact of a Controlled-Release Fertilizer on Greenhouse Gas Emissions and the Efficiency of the Production of Chinese Cabbage. *Energies*. 13, 2063.
- SOLJAČIĆ, I., D. KATOVIĆ, A. M. GRANCARIĆ (1992): Osnove oplemenjivanja tekstila. *Knjigal. Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, str.: 92-96, 144-146.
- SKAPETAS, B., M. KALAITZIDOU (2017): Current status and perspectives of sheep sector in the world. *Livest. Res. Rural.* 29, 1-7.
- SWAN, P. (2010): The future of wool as an apparel fibre. U: Cottle, D.J. (Editor). *International Sheep and Wool Handbook*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, str.: 647-660.
- TALEB, M. A., H. EL-Sayed (2021): Preparation and characterization of lanolin-based condensate and its utilization as a nonionic softener for wool fabric surface. *J. appl. res. technol.* 19, 508-520.
- TARBUK, A., B. VOJNOVIĆ, A. SUTLOVIĆ (2017): Voda nakon pranja vune – otpad i sirovina. *Zbornik 15 skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi i 8 međunarodnog skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi*, Slavonski Brod, str.: 281-287.
- TOOP, T. A., S. WARD, T. OLDFIELD, M. HULL, M. E. KIRBY, M. K. THEODOROU (2017): AgroCycle-Developing a circular economy inagriculture. *Energy Procedia*. 123, 76-80.
- VALERA, M., F. ARREBOLA, M. JUÁREZ, A. MOLINA (2009): Genetic improvement of wool production in Spanish Merino sheep: genetic parameters and simulation of selection strategies. *Anim. Prod. Sci.* 49, 43-47.
- VĚJELIS, S., V. SKULSKIS, A. KREMENSAS, S. VAITKUS, A. KAIRYTĖ (2022): Raw Sheep Wool Management for Thermal Insulation Materials: The Case of Lithuania. *J. Nat. Fibers*. 19, 14250-14261.
- VUJASINOVIĆ, E., A. ANIĆ VUČINIĆ, D. LJUBAS, D. (2007): Scouring of domestic wool in Croatia and its impacts on the environment. *Kem. Ind.* 56, 569-574.
- ZHANG, Y., G. PANG, Y. ZHAO, X. WANG, F. BU, X. ZHAO (2016): Pulsed electrohydraulic discharge for wool fibercleaning. *J. Clean. Prod.* 112, 1033-1039.
- WANG, HE., S. COUTURE, J. BÉDARD (2022): Watersaving Cleaning Processing of Sheep Wool and Ecofriendly Extraction of Lanolin. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, publishing doi:10.1088/1755-1315/1048/1/012004.
- WILSON, D.C., C. A. VELIS (2015): Waste management-Still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action. *Waste Manag. Res.* 33, 1049-1051.