

# Mogućnosti uporabe ovčje vune u građevinskoj industriji

## Possibilities of using sheep wool in the construction industry



Držaić, V., M. Tomić, A. Džaja, I. Širić, B. Mioč

### Sažetak

Posljednjih se godina s povećanjem razine ekološke svijesti i sve većom potrebom za korištenjem obnovljivih izvora razmatra mogućnost uporabe ekološki prihvatljivih izolacijskih materijala u građevinskoj industriji. Ekološki prihvatljivi izolacijski materijali, među kojima je i ovčja vuna, dolaze iz obnovljivih izvora i alternativa su na tržištu dominantnim materijalima: stiroporu, poliuretanskoj pjeni, staklenoj vuni, kamenoj vuni i dr. Termoizolacijska i akustična svojstva izolacijskih materijala proizvedenih od ovčje vune u razini su s konvencionalnim izolacijskim materijalima. Prednost vune je u činjenici što je prirodni materijal koji ne iritira kožu, oči i dišne putove, odlikuje je visok kapacitet apsorpcije vlage (do 35 %) čime se postiže poželjna relativna vlažnost prostora u kojemu je ugodnije boraviti. Usprkos brojnim poželjnim svojstvima, izolacijski materijali od ovčje vune još uvijek nemaju širu primjenu zbog relativno visokih cijena koje su oko četiri puta više u odnosu na konvencionalne izolacijske materijale. Svakako ohrabruje činjenica da se sve više promovira uporaba prirodnih izolacijskih materijala što će zasigurno pozitivno utjecati na povećanje proizvodnje, širenje prodajne mreže te na snižavanje cijene izolacijskih materijala proizvedenih od ovčje vune.

**Ključne riječi:** vuna, izolacijski materijali, građevinska industrija, obnovljivi izvori

### Abstract

In recent years, with the increasing level of environmental awareness and the growing need for using renewable resources, consideration has been given to the possibility of using environmentally friendly insulation materials in the construction industry. Ecologically acceptable isolation materials, including sheep wool, come from renewable resources and they are alternatives to styrofoam, polyurethane foam, glass wool, stone wool and etc., which are the dominant insulating materials on the market. The thermal insulation and acoustic properties of insulating materials produced from sheep wool are on the same level as conventional insulation materials. The advantage of wool is that it is a natural material that does not irritate the skin, eyes and respiratory tract, and it is characterized by a high moisture absorption capacity (up to 35%), thereby achieving the desired relative humidity of the room in which it is more comfortable to stay. Despite numerous desirable features, sheep wool insulation is still not widely used because of the relatively high price that is about four times higher than for conventional insulation materials. It is certainly encouraging that the use of natural insulating materials is increasingly being promoted, which will certainly have a positive effect by creating an increase in production, expansion of the sales network and a reduction in the prices of insulation materials produced from sheep wool.

**Key words:** wool, insulation materials, construction industry, renewable resources

Dr. sc. Valentino DRŽAIĆ, postdoktorant; Marija TOMIĆ, dipl. ing. org, stručna suradnica, postdoktorant; dr. sc. Ivan ŠIRIĆ, docent; dr. sc. Boro MIOČ, redoviti profesor, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; Ana DŽAJA, mag. Ing., M.SAN Grupa, Zagreb; e-mail: isiric@agr.hr

## Uvod

Povećanjem razine ljudske svijesti o potrebi zaštite prirode i očuvanja okoliša sve je više aktivnosti usmjereno k smanjenju štetnih utjecaja na okoliš, kao što su smanjenje emisije štetnih plinova, sortiranje i recikliranje otpada, korištenje obnovljivih izvora energije i dr. Ti su trendovi zamjetni i u građevinskom sektoru gdje su noviji pristupi u energetske učinkovitosti i održivoj gradnji, osim na smanjenje uporabe energije, usmjereni i na smanjenje troškova gradnje primjenom prirodnih i lokalno dostupnih materijala (Korjenic i sur., 2015.).

U skladu s Direktivom 2010/31/EU Europskog parlamenta i vijeća od 19. svibnja 2010. godine o energetske učinkovitosti zgrada, zgrade su odgovorne za 40 % ukupne potrošnje energije u zemljama Europske unije. Uz to, građevinski se sektor širi, što će neumitno povećati potrošnju energije. Stoga su smanjenje potrošnje energije i korištenje energije iz obnovljivih izvora u zgradarstvu važne i nužne mjere kako bi se smanjila energetska ovisnost Europske unije i emisije stakleničkih plinova (Direktiva, 2010.). U skladu s navedenim, u svrhu održivog razvoja vrlo je važno odabrati sirovine koje je moguće reciklirati, koje dolaze iz obnovljivih izvora, lokalno su dostupne i ekološki prihvatljive, kao što su drvo, glina, kamen, slama, biološka vlakna i ovčja vuna te za daljnju obradu zahtijevaju malo energije (Korjenic i sur., 2015.). Nadalje, potražnja za ekološki prihvatljivim materijalima u građevinskom sektoru je povećana, osobito ako se radi o izolacijskim materijalima koji dolaze iz obnovljivih izvora (Korjenic i sur., 2011.).

Iako prirodni, ekološki prihvatljivi materijali koji dolaze iz obnovljivih izvora imaju velik izolacijski potencijal i izravnu primjenu u građevinarstvu, na tržištu još uvijek dominiraju izolacijski materijali na bazi mineralne vune, stiropora i poliuretanske pjene. Stiropor i poliuretanska pjena neobnovljivi su materijali i proizvode se od derivata nafte, dok se staklena i ka-

mena vuna proizvode od minerala kojih u prirodi ima u izobilju. No, navedeni izolacijski materijali energetski su intenzivni, što znači da je za njihovu proizvodnju potrebna velika količina energije (Vrančić, 2011.). Nasuprot tomu, ovčja je vuna prirodni materijal koji odlikuju dobra termoizolacijska svojstva poznata od davnina. Nadalje, vuna se stoljećima rabi za izradu različitih odjevnih predmeta stoga pomalo iznenađuje da se tek u novije vrijeme počelo razmišljati o mogućnosti njezine uporabe u proizvodnji izolacijskih materijala prikladnih za građevinsku industriju.

Kvalitativne odlike ovčje vune proizvedene u Hrvatskoj uglavnom ne zadovoljavaju zahtjeve tekstilne industrije te je stoga nužno pronaći održivo rješenje za uporabu (zbrinjavanje) vune s obzirom na to da se od oko 600 tisuća ovaca godišnje u Republici Hrvatskoj proizvede više od 1000 tona vune (HPA, 2016.; Stat. ljetop. Repub. Hrvat., 2016.). S obzirom na to da je ovčja vuna ekološki prihvatljiv proizvod koji dolazi iz obnovljivog izvora te je odlikuju dobra izolacijska svojstva, a uz to imajući u vidu kvalitativne odlike vune proizvedene u Hrvatskoj, poželjno je razmotriti mogućnosti uporabe vune u građevinarstvu. Stoga je cilj ovog rada, temeljem dostupnih literaturnih podataka, utvrditi odlike ovčje vune kao izolacijskog materijala primjerenog za uporabu u građevinskoj industriji.

## Vuna kao toplinski i zvučni izolator

Ovčja je vuna prirodan, siguran, obnovljiv, lako reciklirajući i ekološki prihvatljiv izvor sirovine za proizvodnju izolacijskih materijala. Temeljne odlike vune jesu čvrstoća, hidrofobičnost i hidrofilnost. Vuna je dobar izolator topline, ima prirodnu mogućnost regulacije temperature i otporna je na požar (Johnson i sur., 2003.; Ye i sur., 2006.). S zdravstvenog motrišta vuna ne uzrokuje iritaciju očiju, kože i pluća te ima višu razinu otpornosti prema gorenju u odnosu na izolacijske materijale proizvedene od celuloze i

Tablica 1. Odlike ovčje vune u usporedbi s drugim izolacijskim materijalima (Wooley i sur., 2005.; cit. Bucijcanu, 2014.)

Izolacijski materijal	Toplinska provodljivost (W/mK)	Utjelovljena energija (GJ/m <sup>3</sup> )	Koeficijent apsorpcije zvuka (500 – 2000 Hz)	Apsorpcija vode (% wt/wt)
Ovčja vuna	0,037	0,11	0,77 (60 mm)	do 35 %
Staklena vuna	0,032 – 0,04	0,83	0,65 (100 mm)	0,2 %
Polistirenska pjena	0,033 – 0,035	3,03	0,35 (50 mm)	0,03 – 0,1 %

celularne plastike (Bucišcanu, 2014.). Za postizanje najboljih svojstava gustoće i čvrstoće vunu se preporučuje koristiti u kombinaciji s drugim recikliranim vlaknima, poglavito s poliesterom niske gustoće, u omjeru 3 : 1 (Bucišcanu, 2014.). Neka od svojstava izolacijskih materijala prikazana su u tablici 1.

Toplinska provodljivost ( $\lambda$ ) jest svojstvo građevnih materijala da provode toplinu, a materijali s niskom vrijednosti toplinske provodljivosti ( $\lambda$ ) jesu toplinski izolatori (Galović, 2003.). Iz podataka prikazanih u tablici 1 vidljivo je da je vrijednost toplinske provodljivosti ovčje vune (0,037 W/mK) podjednaka s razinom toplinske provodljivosti staklene vune i polistirenske pjene, što je svrstava u kategoriju dobrih toplinskih izolatora. Poboľšanje izolacijskih svojstava vune u pozitivnoj je korelaciji s povećanjem njezine gustoće. Zach i suradnici (2012.) navode da se povećanjem gustoće vunene izolacije za 50 % (s 20 kg m<sup>-3</sup> na 40 kg m<sup>-3</sup>) koeficijent toplinske provodljivosti smanji na temperaturi od 10 °C za 15 %, na 20 °C za 18 %, a na temperaturi od 30 °C i 40 °C za 21 %. Stoga se povećanjem gustoće izolacijskog materijala znatno poboljšavaju njihova izolacijska svojstva, dok se osjetljivost na temperaturu smanjuje (Zach i sur., 2012.). Vuna kao prirodan materijal ima vrlo nisku razinu utjelovljene energije (0,11 GJ/m<sup>3</sup>), odnosno energije potrebne da se od sirovine napravi gotov proizvod i ugradi na mjesto primjene. Tako je utjelovljena energija ovčje vune 7,5 puta manja od utjelovljene energije staklene vune i 27,5 puta manje od utjelovljene energije potrebne za izradu polistirenske pjene.

Poznato je da povećanjem vlažnosti materijali gube izolacijska svojstva jer se u porama vlažnog materijala umjesto zraka nalazi voda koja ima za oko 20 puta veću toplinsku provodljivost ( $\lambda$  ( $\lambda = 0,57$  W/mK) od zraka. Provodljivost topline mineralne vune u pozitivnoj je korelaciji sa sadržajem vlage što rezultira znatnim smanjenjem njezinih svojstava toplinske izolacije s relativno malim povećanjem sadržaja vlage od 5 do 20 % (Jerman i Černý, 2012.). Nasuprot tomu, organski su materijali općenito propusni za vodenu paru i mogu akumulirati vlagu adsorpcijom iz zraka. Još je jedno od poželjnih svojstava organskih materijala kapacitet apsorpcije vlage u sustav unutarnjih pora povećanjem vlažnosti zraka i obrnuto, postupno otpuštanje vlage u okolinu smanjenjem vlažnosti zraka (Korjenic i sur., 2010.). Taj mehanizam pozitivno utječe na vlažnost unutarnjeg prostora, posebice zimi kada se mogu očekivati dulja razdoblja niske vlažnosti unutarnjeg prostora. No, iako vunu odlikuje vrlo visoka sposobnost apsorpcije vode (do 35 %), apsorbirana vlaga

značajno ne narušava njezina izolacijska svojstva, ali do određene granice. Tako Zach i suradnici (2012.) tvrde da se koeficijent toplinske provodljivosti vunene izolacije debljine 80 mm značajno ne povećava do sadržaja vlage od 20 % pri temperaturi od 23 °C, dok se s većim sadržajem vlage (iznad 20 %) značajno povećava koeficijent toplinske provodljivosti (tablica 2). Za razliku od vlakana staklene i mineralne vune, vunena vlakna dišu, što im omogućuje upijanje i otpuštanje vlage bez narušavanja izolacijskih svojstava, i to vunu čini savršenim izolacijskim materijalom (Korjenic i sur., 2015.).

Tablica 2. Koeficijenti toplinske provodljivosti izolacijskog materijala od ovčje vune debljine 80 mm pri različitim sadržajima vlage (Zach i sur., 2012.)

Sadržaj vlage (w, %)	$\lambda$ (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
0	0,036
20	0,041
30	0,047
52	0,070
70	0,081

Ovčju vunu odlikuje visoka vrijednost koeficijenta apsorpcije zvuka (0,77) pri debljini od 60 mm (tablica 1) što je jamstvo dobre zvučne izolacije. Odlična akustična svojstva izolacije napravljene od ovčje vune naglašavaju Zach i sur. (2012.) tvrdeći da se najbolja zvučna izolacija postiže s debljinom od 170 mm. Autori zaključuju da daljnje povećanje debljine, iznad 170 mm, ne rezultira povećanim vrijednostima apsorpcije zvuka.

### Proizvodnja izolacije od ovčje vune

Iako je ovčja vuna lako dostupna sirovina, izrada kvalitetnog izolacijskog materijala nije jednostavan i nezahtjevan proces. Corscadden i sur. (2014.) navode pet ključnih faza (postupaka) u proizvodnji izolacije od ovčje vune: prevrtanje, pranje (s uporabom kemikalija), otvaranje runa, raščešljavanje i filcanje, koje su testirali.

Prevrtanje (*tumbling*) – postupak mehaničkog rotiranja vune da slabo pričvršćene nečistoće ispadnu iz runa.

Pranje (*scouring*) – u toploj vodi s deterdžentom kako bi se iz runa uklonila prljavština, biljni ostaci i lanolin. Corscadden i sur. (2014.) ispirali su runo naj-

manje dva puta kako bi iz njega uklonili sve nečistoće, oprali ga sapunom te zatim isprali završni put. Tijekom ispiranja moguće je primijeniti kemijsku zaštitu od potencijalnih štetnika, najčešće otopinu boraksa kao što je dinatrijev oktaborat-tetrahidrat koji se dodaje u količini od 3 % završne mase izolacijskog materijala (Murphy i Norton, 2008.). No, Vrančić (2011.) upozorava da se pod utjecajem topline i deterdženta otapa dragocjen sloj lanolina koji vunu čini otpornom na kukce, posebno moljce. Stoga je vunu bolje oprati u hladnoj vodi, bez primjene deterdženta, tako da se isperu sve nečistoće topljive u vodi, a većina lanolina ostane na vuni. Nadalje, autorica navodi da se zbog otpornosti na kukce i požar oprana i osušena vuna tretira boraksom, što se razlikuje od prije navedenog postupka, kada se tretiranje boraksom provodi tijekom završnog ispiranja.

Otvaranje runa (*picking*) – odvajanje vunениh vlakana otvaranjem uvojaka da se omogući daljnja prerada.

Raščešljavanje (*carding*) – češljanje vunениh vlakana u istom smjeru sa svrhom stvaranja vate. Tijekom ovog procesa preostale suhe nečistoće biljnog podrijetla ispast će iz runa. Nakon pranja ovo je najsporiji proces u preradi vune.

Filcanje (*felting*) – u ovom koraku pomoću vlage i trenja dolazi do međusobnog ufilcavanja vunениh vlakana sa svrhom stvaranja što gušćeg materijala (Corscadden i sur., 2014.). Filcanje može biti mokro, kao što je opisano, ili suho, u kojemu se ne koristi vlaga.

Navedeni procesi u proizvodnji izolacije testirali su Corscadden i sur. (2014.) sa svrhom utvrđivanja proizvodne cijene jedne jedinice (0,4 kg) gotovog proizvoda. Tijekom proizvodnog procesa utvrđeni su znatni gubitci u početnoj masi od 40 %, a glavna je gubitaka rezultat procesa pranja runa. Navedeno je u skladu s tvrdnjama Zoccola i sur. (2014.) koji navode da je u jednoj toni sirove (neprane) vune približno 150 kg lanolina, 40 kg sijere, 150 kg prašine, 20 kg biljnih ostataka te rezidua insekticida, a ostatak od oko 640 kg čine vunska vlakna. Osim proizvodnje izolacije na opisan način, testiran je i postupak koji nije uključivao filcanje. Nakon provedenog procesa Corscadden i sur. (2014.) navode minimalnu razliku u proizvodnoj cijeni proizvoda, s filcanjem ili bez njega, od samo 0,02 \$. Trošak proizvodnje jedne jedinice (0,4 kg) izolacije od ovčje vune iznosi 5,67 \$ što rezultira cijenom od 7,75 \$/m<sup>2</sup> (Corscadden i sur., 2014.). Iz navedenog je vidljivo da je minimalna proizvodna cijena izolacije od ovčje vune oko 30 kuna za 0,4 kg ili oko 40 kn/m<sup>2</sup>. No, ovo je samo proizvodna cijena koja uključuje sirovinu, rad, utrošak električne energije i vode, čija cijena može uvelike varirati te ne

uključuje trošak strojeva, proizvodnog pogona, održavanja, oglašavanja itd.

Iako Corscadden i sur. (2014.) navode relativno prihvatljivu proizvodnu cijenu izolacije, na tržištu su cijene četvornog metra gotove izolacije od ovčje vune četiri puta veće od cijene izolacije proizvedene od staklene vune. Za izradu izolacije koriste se vuna vlakna većeg promjera, koja prolaze kroz skup proces čišćenja, a potrebna im je i zaštitita od moljca što u konačnici rezultira visokom cijenom gotove izolacije od oko 180 € po m<sup>3</sup> (Wieland i Bockisch, 2003.). Usprkos visokim cijenama, autori naglašavaju rast potražnje za izolacijom od vune, s obzirom na to da se pojavljuje manji broj dobavljača u Australiji, Novom Zelandu, Sjedinjenim Američkim Državama, Kanadi, Irskoj, Ujedinjenom Kraljevstvu, ali i u Europi. Nedavno je i u susjednoj Bosni i Hercegovini otvorena tvrtka koja se bavi preradom vuna, „Wool Line“, te među ostalim i proizvodnjom izolacijskih materijala za potrebe građevinarske industrije. Za tu potrebu vunu otkupljuju na području BiH i preraduju u tri vrste izolacija gustoće 13,5 – 18,5 kg/m<sup>3</sup>, 17,9 kg/m<sup>3</sup> i 28,4 kg/m<sup>3</sup> (<http://wool-line.ba>).

Termoizolacijske materijale proizvedene na bazi ovčje vune moguće je kupiti u Europi u specijaliziranim trgovinama za ekološko graditeljstvo, ponajviše u Ujedinjenom Kraljevstvu, Irskoj, Njemačkoj ili putem internetskih prodavaonica kao što je „EcoStore“ tvrtke TheGreenAge (<https://www.theecostore.co.uk/>). No, u Hrvatskoj izolacijski materijal od ovčje vune nije dostupan u komercijalnim prodavaonicama građevinskog materijala, ali bi se mogao naručiti putem internetske prodavaonice što bi zasigurno utjecalo na povećanje ionako previsoke cijene te izolacije.

Na tržištu je izolacija od ovčje vune u pravilu dostupna u širinama od 380 mm i 570 mm te u debljinama: 50 mm, 75 mm, 100 mm i 150 mm, ovisno o proizvodu i proizvođaču. Navedeni izolacijski materijal proizvođača iz Ujedinjenog Kraljevstva uglavnom dolazi u rolama dužine od 3 do 9 metara, ovisno o debljini, a cijene se kreću od 570 do 1.700 kuna po roli, što rezultira cijenom četvornog metra od 130 do 180 kn. Ponajprije se preporučuju za toplinsku izolaciju tavana, potkrovlja, drvenih zidova i podova. Iako se može rezati oštrim nožem ili škarama i ne zahtijeva nikakvu zaštitnu opremu za instalaciju jer vuna ne uzrokuje iritaciju kože, očiju ili dišnih putova (<https://www.theecostore.co.uk/>).

Ako se vuna koristi kao izolacijski materijal u vlažnijim uvjetima, potrebno je primijeniti konzervanse i rodenticide radi njezine dugoročne zaštite (Bucișcanu, 2014.). S obzirom na to da se uzgoj ovaca uglavnom temelji na korištenju pašnjaka, uporaba

različitih kemijskih preparata u zaštiti ovaca od vanjskih i unutarnjih parazita može rezultirati njihovom pojavom u vuni, koja kasnije može imati potencijalno toksičan utjecaj na ljude. No, potencijalni problem rezidua lijekova u vuni i izolacijskim materijalima od vune nije bio predmetom opsežnijih znanstvenih istraživanja.

## Zaključak

Vuna je prirodno vlakno iz obnovljivog izvora, dobrih izolacijskih svojstava, ekološki je prihvatljiva i kao izolacijski materijal danas sve traženija, osobito u tzv. zelenoj gradnji. Temeljem prikazanih odlika izolacijskih materijala proizvedenih od ovčje vune, izuzev cijene, vidljivo je da je ovčja vuna konkurentna konvencionalnim izolacijskim materijalima kao što su staklena i kamena vuna. Daljnjim razvojem zelene gradnje i većom uporabom ekološki prihvatljivih izolacijskih materijala, pa tako i ovčje vune, zasigurno će doći do povećanja proizvodnje i sve veće automatizacije proizvodnih pogona što će rezultirati smanjenjem cijena izolacijskih materijala na tržištu. S obzirom na to da se u Hrvatskoj svake godine proizvede oko 1000 tona neoprane vune, svakako bi trebalo razmotriti isplativost pogona za proizvodnju izolacije. Na taj bi se način mogao organizirati godišnji otkup vune čime bi se umanjilo ili u cijelosti ukinulo odlaganje vune na smetlišta ili u prirodu. Također, prodajom vune, pa čak i po minimalnim cijenama, uzgajivačima ovaca povećao bi se godišnji dohodak, a neke bi zasigurno stimuliralo na daljnje povećanje broja uzgajanih grla, odnosno povećanje proizvodnje.

## Literatura

- BUCIȘCANU, I. I. (2014): Sustainable alternatives for wool valorization. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leather*; 15 (2): 27-32.
- CORSCADDEN K. W., J. N. BIGGS, D. K. STILES (2014): Sheep's wool insulation: A sustainable alternative use for renewable resource?. *Resources, Conservation and Recycling* 86, 9-15.
- DIREKTIVA EU dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>
- GALOVIĆ, A. (2003): *Termodinamika 2*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- HPA (2016): *Godišnje izvješće za 2015. godinu: Ovčarstvo, kozarstvo i male životinje*. Križevci.
- JERMAN, M., R. ČERNÝ (2012): Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, 53: 39-46.
- JOHNSON, N.A.G., E.J. WOOD, P.E. INGHAM, S.J. MCNEIL (2003): Wool as a Technical Fibre. *J. Text Inst* 94 (3): 26-41.
- KORJENIC, A., S. KLARIC, A. HADŽIĆ, S. KORJENIC (2015): Sheep Wool as a Construction Material for Energy Efficiency Improvement. *Energies* 8, 5755-5781.
- KORJENIC, A., V. PETRÁNEK, J. ZACH, J. HROUDOVA (2011): Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43 (9): 2518-2523.
- KORJENIC, A., H. TEBLICK, T. BEDNER (2010): Increasing the indoor humidity levels in buildings with ventilation systems: simulation aided design in case of passive house. *Building Simulation* 3(4): 295-310.
- MURPHY R. J., A. NORTON (2008.): Life cycle assessment of natural fibre insulation materials. Preuzeto s: [http://www.nova-institut.de/news-images/20080306-05/lca\\_fibre.pdf](http://www.nova-institut.de/news-images/20080306-05/lca_fibre.pdf)
- STAT. LJETOP. REPUB. HRVAT. (2016): *Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2016*. Godina 48. Zagreb.
- VRANČIĆ, T. (2011): Prirodni izolacijski materijali. *Građevinar*, 63(5): 503-505.
- WIELAND, H., F.J. BOCKISCH (2003): German sheep Wool- Insulation Material with a Future. *Landtechnik* 4, 260-261.
- WOOLEY, T., S. KIMMS, P. HARRISON, R. HARRISON (2005): *Green Building Handbook*, vol. 1, London.: Spon Press, Taylor & Francis Group.
- YE, Z., C.M. WALLS, C.G. CARRINGTON, N.J. HEWITT (2006): Thermal conductivity of wool and wool-hemp insulation. *Int. j. Energy. Res.* 30: 37-49.
- ZACH, J., A. KORJENIC, V. PETRANEK, J. HROUDOVA, T. BEDNAR (2012): Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings* 49, 246-253.
- ZOCCOLA, M., A. MONTARSOLO, R. MOSSOTTI, A. PETRUCCO, C. TONIN (2014): Green hydrolysis conversion of wool wastet into organic nitrogen fertilisers. In: 2nd international conference on sustainable and solid waste management (ATHENS, 12th-14th june). *Zbornik radova. Atena* (1-11).
- <http://wool-line.ba>
- <https://www.theecostore.co.uk/>