



ANORGANSKA ONESNAŽILA V ODSLUŽENIH OKNIH

INORGANIC POLLUTANTS IN USED WINDOWS

Boštjan Lesar^{1*}, Miha Humar¹

UDK 630*839.8

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 17. 8. 2020

Sprejeto / Accepted: 1. 10. 2020

Abstract / Izvleček

Izvleček: Krožno gospodarstvo in uporaba sekundarnih surovin postajata vedno bolj pomembna. Uporaba odsluženega lesa za materialno izrabo je trenutno še zelo slabo izkoriščena. Večino odsluženega lesa se namreč porabi v energetske namene. Eden od potencialnih virov odsluženega lesa so tudi stara lesena okna. Večino oken se v današnjem času zamenja zaradi neustreznih energetskih karakteristik, medtem ko je les večine zamenjanih oken še brez znakov razkroja. Težavo pri uporabi lesa odsluženih oken za proizvodnjo novih izdelkov predstavljajo predvsem površinski premazi. V raziskavi smo preverili vpliv starosti, tipa in površinske obdelave na delež onesnažil. Iz okenskih profilov smo najprej odstranili vse nelesne materiale, profile razžagali po debelini, ter s tem preverili, kako globoko v les so prodrla anorganska onesnažila. Les smo analizirali z rentgenskim fluorescenčnim spektrometrom (in določili deleže posameznih anorganskih onesnažil (Cr, Cu, Cl, Fe, Zn, Pb). Rezultati so pokazali, da odslužena okna vsebujejo anorganska onesnažila zgolj na površini (do 5 mm globoko), količine onesnažil močno variirajo glede na starost oken in uporabljeno površinsko zaščito. Raziskava je pokazala, da so odslužena okna lahko surovina za proizvodnjo novih izdelkov in materialov, ob pogoju, da pred uporabo odstranimo površinski sloj.

Ključne besede: anorganska onesnažila, odslužena okna, kaskadna raba lesa, les

Abstract: Although the circular economy and use of secondary raw materials are becoming increasingly important, recycled wood is currently still very poorly utilised, with most used to produce energy. One potential sources of recycled wood is old wooden windows. Many wooden windows are now being replaced due to inadequate energy characteristics, while such wood is often still in good condition, without signs of decay. The main problem with the use of wood from used windows for the production of new products is surface coatings. The study examined the influence of age, type and surface treatment on the proportion of inorganic pollutants. First, all non-wood materials were removed from the window profiles. Afterwards, the profiles were cut into the 5 mm thick slides, to measure how deeply the inorganic contaminants penetrated into the wood. The wood was analysed with an X-ray fluorescent spectrometer, and the concentrations of individual inorganic pollutants were determined (Cr, Cu, Cl, Fe, Zn, Pb). The results showed that the concentrations of inorganic pollutants depended on the age of the windows and the surface protection used. This study has shown that used windows can be a raw material for the production of new products and materials, provided that the surface layer is removed before use.

Keywords: inorganic pollutants, used windows, cascading use of wood, wood

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Krožno gospodarstvo je eden ključnih ciljev sodobne politike tako v Evropi kot v Sloveniji. Politike stremijo h krožnemu gospodarstvu, z močnim poudarkom na zmanjševanju odpadkov in učinkovite izrabe virov (EC, 2014). Tem trendom mora slediti tudi lesna industrija, saj projekcije kažejo, da bo v Evropi v naslednjem desetletju povpraševanje presešlo po-

nodbo lesa in na lesu osnovanih materialov (Mantau et al., 2010). Kljub temu da je les obnovljiv material, je njegovo pridobivanje omejeno s prirastkom in trajnostnim gospodarjenjem z gozdovi. Dovoljen posek nam določajo tudi mednarodni sporazumi, kot na primer LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) (Peeters & Eliantonio, 2020). Zato bo potreben nov koncept uporabe lesa. Vedno bolj se razvija kaskadna raba lesa, ki sledi materialnemu toku preko različnih življenjskih ciklov. Rezultati raziskav kažejo, da kaskadna raba lesa vodi do manjše porabe virov v primerjavi z uporabo svežega lesa, kar se kaže v večji učinkovitosti virov (46 % v primerjavi

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-mail: bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

z 21 %) na ravni življenjskega cikla (Risse et al., 2017) the demand for wood could likely exceed its sustainable supply within the next decades. In response to this development, cascading, i. e. the sequential use of one unit of material in material applications with energy generation as final step, is expected to enhance the resource efficiency of wood utilization. In this context, the objective of this paper is to determine the resource consumption and resource efficiency of wood cascading compared to the use of primary wood to provide the same multiple functions. To account for resource use and calculate the efficiency, exergy analysis was applied. The exergy of a material is the potential work that can be obtained from the material in the natural environment. By using Exergy Flow Analysis, key drivers of exergy dissipation and thus hotspots for improvement were identified. Exergetic Life Cycle Assessment was applied to determine resource use and the resource efficiency at a life cycle level. The results indicate that cascading leads to less resource consumption compared to the use of primary wood, indicated by higher resource efficiency (46% vs. 21%). Na primer, uporaba masivnega odsluženega lesa za proizvodnjo lameliranih nosilcev je z vidika LCA 15 % do 150 % bolj okoljsko učinkovita v primerjavi z energetske izrabo odsluženega lesa (Risse et al., 2019) the demand for renewable resources like wood is likely to increase. To satisfy the demand, cascading, i.e. the sequential use of one unit of a resource in multiple applications with energy recovery as the final step, is a key concept to improve the efficiency of wood utilization. Today, the systematic wood cascading is still in its infancies and limited to the downcycling of wood, i.e. the degradation of material quality. New recycling technologies are needed, which maintain the material quality at the beginning of the cascade chain and mobilize yet unused resources. Therefore, a new recycling technology for recovered solid wood from construction into glued laminated timber products was developed. 1 To identify the environmental and economic performance of the process, the eco-efficiency was assessed by the joint application of life cycle assessment (LCA). Kljub temu v EU, v večjih industrijskih energetskih obratih, konča okoli 80 % odsluženega lesa (Mantau et al., 2012).

Odslužen les je vir z velikim potencialom, vendar so kakovost, dimenzije in oblike odsluženega lesa zelo različne (Humar, 2010; Humar & Lesar, 2016).

Največji vir odsluženega lesa je gradbeni sektor. Pri odstranjevanju starih objektov je približno 45 % lesa primerne za materialno izrabo (proizvodnja ivernih ali vlaknenih plošč). 26 % te količine lesa bi lahko ponovno uporabili ter tako dodali nov življenjski krog in s tem podaljšali čas uskladičenega ogljika. Sedemindvajset odstotkov odsluženega lesa bi bilo mogoče uporabiti za proizvodnjo drugih proizvodov z visoko dodano vrednostjo (Höglmeier et al., 2013). Za zgoraj opisane namene se lahko uporabi les, ki je le mehansko obdelan in ne vsebuje onesnažil. V skladu z nemško direktivo za odslužen les, ta les sodi v kategoriji A I in A II (Altholzverordnung, 2002; Humar & Lesar, 2016). Ta direktiva je prva celostno obravnavala problematiko odsluženega lesa, zato iz nje izhaja tudi veliko nacionalnih zakonodaj. V ti dve kategoriji ne moremo razvrstiti lesa, ki je površinsko obdelan. Takšen primer so okna in vrata, ki so največkrat obdelana z biocidnimi proizvodi in površinskimi premazi. Zato okna in vrata spadajo v A IV po nemški direktivi, kar pomeni, da direktiva dovoljuje uporabo le za energetske namene. V skladu s slovensko Uredbo o predelavi nevarnih odpadkov v trdna goriva (Ur. l. RS, 96/2014) odslužena okna ravno tako sodijo pod odpadke, ki jih ne smemo predelovati v trdna goriva, ki so namenjena splošni rabi (preglednica 1). Pomemben dokument, ki predpisuje mejne vrednosti onesnažil v odsluženem lesu, so tudi priporočila evropskih proizvajalcev plošč (EPF, 2004), ki predpisuje delež onesnažil v odsluženem lesu za proizvodnjo lesnih kompozitov. Za okna je značilno, da vsebujejo onesnažila zgolj v površinskem sloju. Površinsko obdelan površinski sloj lahko z relativno enostavnimi metodami odstranimo in tako dobimo čist les brez onesnažil, ki ga lahko uporabimo za proizvodnjo najrazličnejših izdelkov (Ugovšek, 2017) in predelavo v energente.

Večino odsluženih oken se danes zamenja predvsem zaradi višjih zahtev po energetske učinkovitosti stavb, tako da je večina lesenih oken brez znakov razkroja lesa. Iz uporabe prihajajo okna iz različnih časovnih obdobj. Za posamezno časovno obdobje so značilni posamezni tipi oken in njihova površinska obdelava. Poznamo naslednje tipe oken: enojna škatlasta okna, vezana okna in enojna okna z izolacijsko zasteklitvijo (Stegne, 2015). Pri vsakem tipu oken je prisoten različen delež lesa. Poleg prisotnih kovinskih elementov je glavna ovira pri uporabi lesa iz odsluženih oken njihova površinska obdelava.

Preglednica 1. Mejne vrednosti za vsebnost onesnažil v odsluženem lesu (EPF 2004, Ur. l. RS, 96/2014)
 Table 1. Limit values of inorganic pollutants in recycled wood (EPF 2004, Ur. l. RS, 96/2014)

Onesnažilo / Inorganic pollutant	Priporočila EPF* / Recommendation EPF* [mg/kg]	Uredba o predelavi nenevarnih odpadkov** / Regulation on non-hazardous waste treatment** [mg/kg]
Arzen / Arsenic	25	2
Baker / Copper	40	20
Fluor / Fluorine	100	100
Kadmij / Cadmium	50	2
Klor / Chlorine	1000	600
Krom / Chromium	25	30
Pentaklorofenol / Pentachlorophenol	5	3
Svinec / Lead	90	30
Živo srebro / Mercury	25	0.4

* EPF, 2004

** Ur. l. RS, 96/2014

Z namenom karakterizacije lesa odsluženih oken smo iz različnih virov pridobili odslužena okna iz različnih obdobij ter jih analizirali po različnih kriterijih glede vsebnosti anorganskih onesnažil. Glavni namen te raziskave je določiti globino prodora onesnažil in s tem določiti delež lesa v okenskih profilih, ki ga lahko uporabimo za materialno izrabo. Predvidevamo, da so koncentracije onesnažil odvisne od tipa okna in površinske zaščite. Največ onesnažil je v površinskem sloju do globine 5 mm, medtem ko osrednji del profila ni onesnažen. Delež onesnažil je neodvisen od lesne vrste, iz katere je izdelano okno.

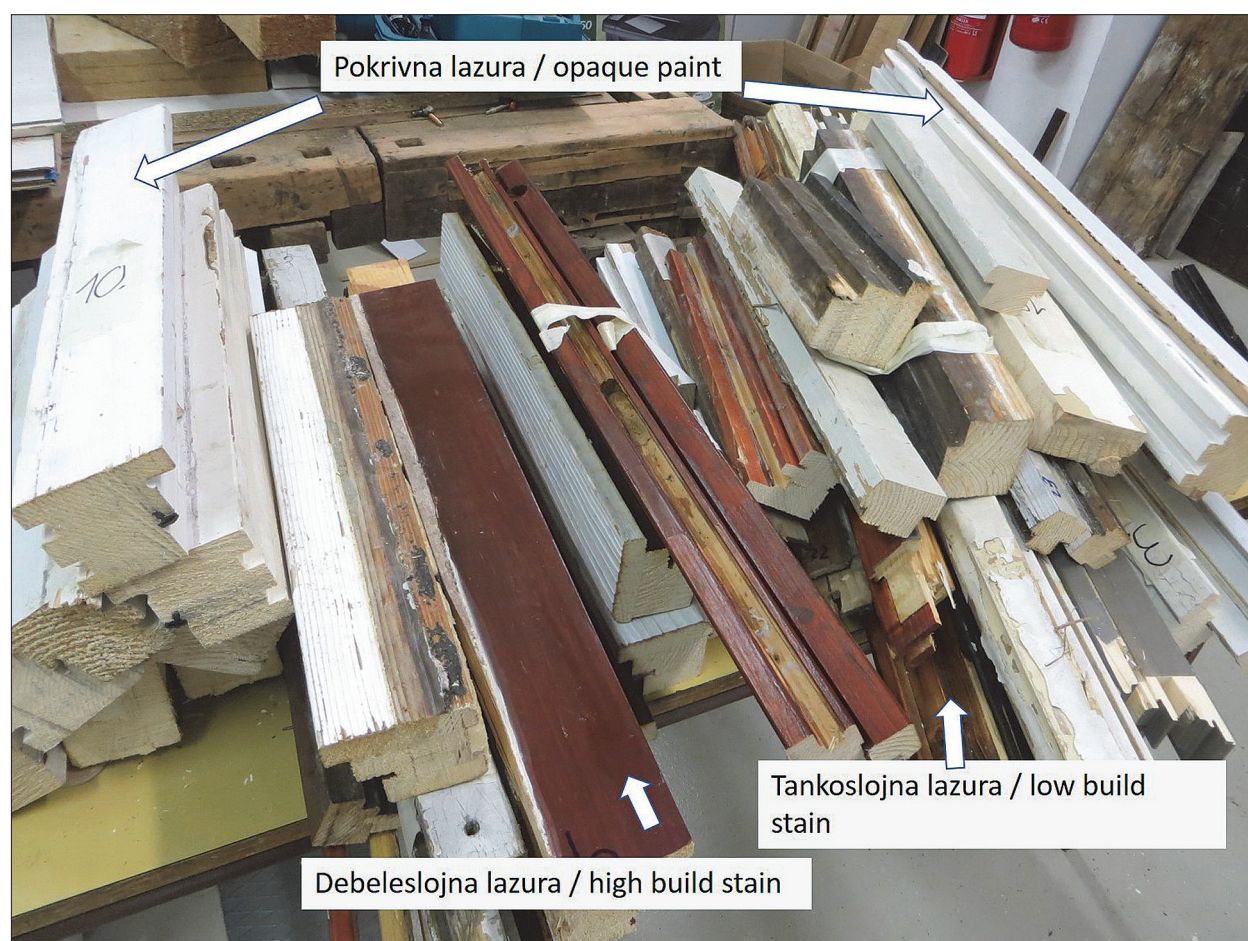
2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

Odslužena lesena okna smo pridobili iz treh različnih virov; iz podjetja M Sora d.d. in Mizarstvo Willi Dolinar s.p. ter iz Ljubljanskega regijskega centra za ravnanje z odpadki (RCERO Ljubljana). Izbrali smo več vzorcev, ki se med seboj čim bolj razlikujejo. Tako smo pridobili šestindvajset različnih lesenih

oken, ki so se med seboj razlikovala po: tipu okna, lesni vrsti, površinski zaščiti, barvi in starosti (preglednica 2).

Najprej je bilo potrebno okna razstaviti in odstraniti vse nelesne materiale (ostanke različnih poliuretanskih pen, silikonov, kovinskih delov okovja in vijakov ter stekel), ki bi lahko poškodovali stroje ali vplivali na rezultate. V nadaljevanju smo vzorce označili in vzdolžno razžagali na tračni žagi na 5 mm debele rezine. Pri tem razžagovanju smo praviloma dobili šest rezin ter osrednji del (slika 2). Rezine smo oštevilčili glede na pozicijo v okenskem profilu. Med rezinami je 2 milimetrski razmik, ki je posledica razžagovanja.



Slika 1. Del vzorcev odsluženih oken pred razžagovanjem z označenimi površinskimi sistemi.
 Figure 1. Some of the samples of used windows before sawing with marked surface coatings

Preglednica 2. Pregled izbranih vzorcev odsluženih oken
 Table 2. Overview of used wooden windows samples

Vrsta okna / Window type	Površinska zaščita / Surface treatment	Barva / Colour	Lesna vrsta / Wood
ENOJNO / single window	pokrivni premaz / opaque paint	siva / gray	smreka / spruce
ENOJNO / single window	transparentni premaz / low build stain	rdeča / red	smreka / spruce
DVOJNO / double window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
DVOJNO / double window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
VEZANO / coupled window	tankoslojna lazura / low build stain	rdeča / red	smreka / spruce
ENOJNO / single window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
ENOJNO / single window	debeloslojna lazura / high build stain	rjava / brown	smreka / spruce
ENOJNO / single window	debeloslojna lazura / high build stain	bela / white	smreka / spruce
PODBOJ / frame	tankoslojna lazura / low build stain	rjava / brown	smreka / spruce
PODBOJ / frame	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
PODBOJ / frame	debeloslojna lazura / high build stain	rjava / brown	smreka / spruce
PODBOJ / frame	transparentni premaz / low build stain	rjava / brown	smreka / spruce

Vrsta okna / Window type	Površinska zaščita / Surface treatment	Barva / Colour	Lesna vrsta / Wood
PODBOJ / frame	debeloslojna lazura / high build stain	črna / black	smreka / spruce
PODBOJ / frame	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	bor / pine
VEZANO / coupled window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
ENOJNO / single window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
ENOJNO / single window	transparentni premaz / low build stain	rjava / brown	smreka / spruce
VEZANO / coupled window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
VEZANO / coupled window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
VEZANO / coupled window	transparentni premaz / low build stain	rjava / brown	bor / pine
ENOJNO / single window	pokrivni premaz / opaque paint	črna / black	smreka / spruce
ENOJNO / single window	transparentni premaz / low build stain	rjava / brown	smreka / spruce
VEZANO / coupled window	transparentni premaz / low build stain	rjava / brown	smreka / spruce
VEZANO / coupled window	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce
ENOJNO / single window	tankoslojna lazura / low build stain	rdeča / red	smreka / spruce
PODOJ-VRAT / door frame	pokrivni premaz / opaque paint	bela / white	smreka / spruce

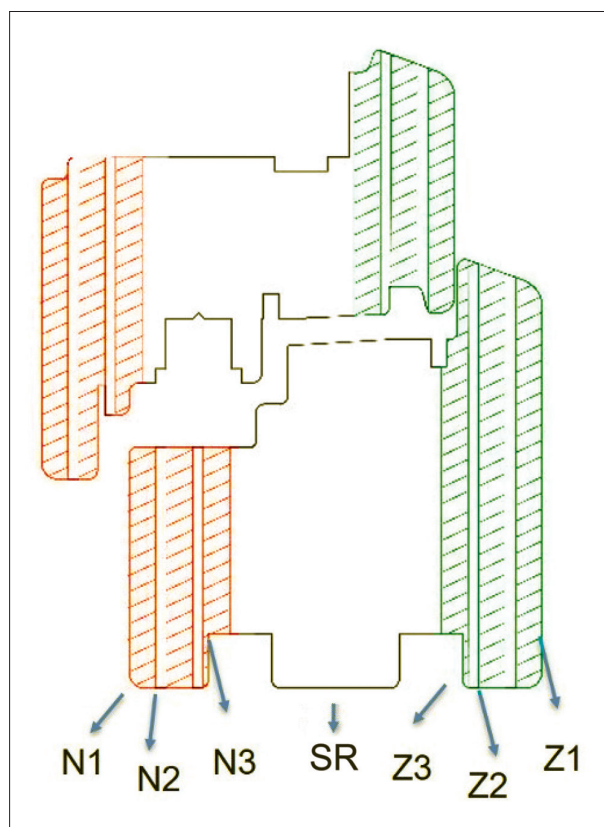
V nadaljevanju smo vzorce posameznih plasti zmleli (velikost sita < 1 mm) v rezalnem mlinu (Retsch SM 2000, Haan Nemčija). Iz zmlitega lesa smo za vsak posamezen vzorec okna izdelali po tri tabletki na stiskalnici (Chemplex, Palm City, FL, Združene države Amerike), ki smo jih v nadaljevanju analizirali z rentgenskim fluorescenčnim spektrometrom (TwinX, Oxford instruments, Velika Britanija) in določili deleže posameznih anorganskih onesnažil (Cr, Cu, Cl, Fe, Zn, Pb). Vse meritve razen določanja klora smo izvedli s PIN detektorjem ($U = 26$ kV, $I = 115 \mu\text{A}$, $t = 300$ s). Prisotnost klora smo določili pri istih pogojih s proporcionalnim detektorjem v helijevi atmosferi.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

V raziskavi smo podatke analizirali v skladu z različnimi kriteriji, glede na vrsto okna, tip premaza in pozicijo vzorca v oknu. Onesnažila smo skupno analizirali v 460 vzorcih.

Najprej smo določili število in delež vzorcev s preseženimi mejnimi vrednostmi po uredbi o predelavi nenevarnih odpadkov v trdo gorivo (Ur. l. RS, 96/2014). Največkrat smo v vzorcih zaznali prekoračitev mejnih vrednosti za svinec (147 vzorcev / 32 %), sledili so vzorci s prekoračenim deležem kroma (120 vzorcev / 26 %), bakra (69 vzorcev / 15 %) in klora (23 vzorcev / 5 %). V uredbi ni postavljenih



Slika 2. Shema razžagovanja elementov na rezine, kjer zelena barva predstavlja zunanji del (Z), oranžna pa notranji (N)

Figure 2. Scheme of sawing elements into slices, where green represents the outer part (Z) and orange the inner part (N)

mejnih vrednosti za železo in cink, zato za njiju nimamo podatkov o preseženih vrednostih. Vendar se je izkazalo, da so povišane vrednosti za omenjena elementa pri vzorcih, ki imajo visoke vrednosti, tudi že pri ostalih preučevanih elementih.

Glede na tip okna se je izkazalo, da edino pri enojnih oknih nismo izmerili preseženih vrednosti za preučevane elemente, medtem ko smo pri vseh ostalih zaznali presežene vrednosti glede na uredbo o predelavi nenevarnih odpadkov v trdo gorivo (preglednica 3). To kaže na smiselnost, da so okna uvrščena v IV razred v skladu z Altholz direktivo, kamor se uvršča zaščiten les. V skladu z uredbo o predelavi nenevarnih odpadkov v trdo gorivo (Ur. l. RS, 96/2014) lahko takšen les uporabimo v energetske namene zgolj v ustreznih sežigalnicah z ustrezno urejenim filtrskim sistemom in okoljevarstvenim dovoljenjem. Seveda pa to velja, če za kurivo uporabimo celotne okenske profile.

V raziskavi smo ugotovili, da se večina one-

snažil nahaja na površini lesenih profilov. Rezultati, prikazani v preglednici 4, jasno kažejo, da so mejne vrednosti za posamezna onesnažila presežene zgolj v zunanjih obarvanih slojih. To potrjuje dejstvo, da površinski premazi za les penetrirajo le v prve celice na površini lesa, ki so longitudinalno odprte. Le malo premaza pa penetrira tudi nekoliko globlje preko radialnih trakov (De Meijer, 2004). Vzroki za onesnaženje odsluženega lesa z anorganskimi onesnažili so lahko različni, vendar pri oknih prevladujejo uporaba površinskih premazov in obdelava z biocidnimi pripravki (CEN/TS 14961, 2005; Humar & Lesar, 2016). V raziskavi smo izmerili nekoliko presežene mejne vrednosti svinca tudi pri notranjem (N3) vzorcu. Menimo, da je vzrok za preseženo vrednost v dejstvu, da s posameznih vzorcev na zgornjem in spodnjem delu nismo odstranili površinskega sloja. Tako smo poleg osrednjega dela profila pri pripravi vzorca zmleli tudi nekaj površinskega premaza, kar je vzrok za povečanje deleža onesnažil.

Preglednica 3. Povprečne količine onesnažil v mg/kg v posameznih tipih lesnih oken. V rdeče obarvanih celicah so vrednosti s preseženo mejno vrednostjo po uredbi Ur. l. RS, 96/2014.

Table 3. Average amounts of pollutants in mg/kg in individual types of wooden windows. In the red-colored cells are values that exceed the limit value according to the regulation Ur l. RS, 96/2014.

Vrsta okna / Window type	Anorganska onesnažila / Inorganic pollutants [mg/kg]					
	Cu	Cr	Cl	Fe	Zn	Pb
DVOJNO / double window	40	86	422	262	1372	46
ENOJNO / single window	4	11	245	208	27	15
PODBOJ / frame	6	31	248	85	144	99
PODBOJ-ENOJNO / frame single window	9	53	191	44	258	172
PODOJ-VRAT / door frame	58	55	369	68	1602	31
VEZANO / coupled window	32	43	259	216	1127	34

V različnih obdobjih so prevladovali posamezni tipi oken in tipi površinske zaščite. V splošnem velja, da so starejša premazna sredstva vsebovala več težkih kovin in drugih onesnažil (CEN/TS 14961, 2005; Humar, 2010). S povečevanjem okoljske ozaveščenosti in razvojem premazni sistemi postajajo vedno bolj okoljsko sprejemljivi. To dokazujejo tudi pridobljeni rezultati našega testiranja (preglednica 5). Najvišje deleže onesnažil smo določili pri pokrivnem premazu, ki je najstarejši tip površinske zaščite na oknih, ki smo jih obravnavali. Pri omenjenem

premazu smo določili presežene vrednosti za baker, krom in svinec, medtem ko smo pri tankoslojni lazuri zaznali povišane vrednosti za baker in svinec. Pri debeloslojni lazuri, ki je najnovejši tip površinske zaščite, smo v vzorcih našli zgolj preseženo vrednost za baker. Glede na to, da je mejna vrednost le malenkostno presežena, sklepamo, da je do povišane vrednosti najbrž prišlo zaradi korozije kovinskih delov na oknu, medtem ko je majhna verjetnost, da bi bil za povišane vrednosti bakra vzrok uporaba biocidnih zaščitnih sredstev, ki vsebujejo bakrove

Preglednica 4. Povprečne količine onesnažil v mg/kg glede na pozicijo odvzetega vzorca v oknu. V rdeče obarvanih celicah so vrednosti s preseženo mejno vrednostjo po uredbi Ur. I. RS, 96/2014. Pozicije vzorcev so označene na sliki 2.
Table 4. Average amounts of pollutants in mg/kg according to the position of the sample taken in the window. In the red-coloured cells are values that exceed the limit value according to the regulation Ur. I. RS, 96/2014. Positions in windows are marked on figure 2.

Pozicija vzorca v oknu / Position in window	Anorganska onesnažila / Inorganic pollutants [mg/kg]					
	Cu	Cr	Cl	Fe	Zn	Pb
N1	56	26	377	335	1044	99
N2	18	10	222	112	223	24
N3	17	14	221	134	423	30
SR	10	9	209	51	240	15
Z1	61	27	317	252	771	79
Z2	12	9	203	84	199	18
Z3	18	7	211	82	149	26

Preglednica 5. Povprečne količine onesnažil mg/kg v oknih glede na uporabljeno vrsto površinske zaščite in pozicijo odvzetega vzorca. V rdeče obarvanih celicah so vrednosti s preseženo mejno vrednostjo po uredbi Ur. I. RS, 96/2014.
Table 5. Average amounts of contaminants mg / kg in windows according to the type of surface protection used and the position of the sample taken. In the red-coloured cells are values that exceed the limit value according to the Ur regulation Ur. I. RS, 96/2014.

Površinska zaščita / Surface treatment	Pozicija v oknu / Position in window	Anorganska onesnažila / Inorganic pollutants [mg/kg]					
		Cu	Cr	Cl	Fe	Zn	Pb
debeloslojna lazura / high build stain	N1	8	4	379	330	38	24
	N2	2	4	142	62	14	6
	N3	3	3	130	76	9	5
	SR	3	5	212	47	42	7
	Z1	27	4	451	192	74	15
	Z2	7	3	184	35	7	3
	Z3	45	3	222	119	6	10
pokrivni premaz / opaque paint	N1	97	47	469	275	2004	146
	N2	31	15	271	103	412	30
	N3	20	23	239	94	803	39
	SR	18	15	206	40	492	24
	Z1	97	49	295	168	1452	104
	Z2	20	15	207	89	370	26
	Z3	18	11	185	54	260	34
transparentni premaz / low build stain	N1	17	5	243	424	106	64
	N2	7	4	186	146	42	25
	N3	15	5	215	187	48	24
	SR	2	4	212	68	18	8
	Z1	24	6	289	399	96	71
	Z2	5	4	206	99	38	13
	Z3	8	4	244	106	51	20

spojine. Baker med impregnacijo namreč les obarva nekoliko zelenkasto (Humar & Lesar, 2009), kar pa za okna ni zaželeno.

Kot smo že omenili, je glede na pozicijo odvzeta vzorca v profilu oken večina vzorcev s presežno mejno vrednostjo tistih z večjim deležem površinskega premaza. Pri ostalih vzorcih pa so vrednosti onesnažil bistveno nižje. Pri pokrivni in tankoslojni lazuri se je še izkazalo, da imajo vzorci na zunanji strani oken (Z1) še nekoliko višje vrednosti kot vzorci na notranji strani (N1). Vzrok za višje vrednosti na zunanji strani je obnavljanje premaza. Nekateri vzorci odsluženih oken z debeloslojno lazuro so imeli na zunanji strani že močno poškodovan površinski sloj. Površinski sloj se je luščil od podlage, zato je bil delež barve v analiziranem vzorcu nižji kot na notranji strani, kjer je bila barva še nepoškodovana.

4 ZAKLJUČEK

4 CONCLUSIONS

Odslužena okna so ustrezno klasificirana kot nevaren odpadki po Uredbi o predelavi nenevarnih odpadkov v trdo gorivo. Vendar pa so onesnažila zgolj na površini, kar pomeni, da bi lahko les odsluženih oken uporabili za proizvodnjo novih oken ali pa drugih lesenih izdelkov. Predhodno pa bi bilo potrebno odstraniti površinski sloj. Menimo, da je najprimernejši način za odstranjevanje površinskega sloja skobljanje, žaganje ali morda tudi peskanje. Odstranjen material je potrebno odvajati ločeno od preostalih lesnih ostankov v proizvodnji, saj odstranjen del lahko vsebuje visoke koncentracije anorganskih onesnažil.

Prerezi profilov lesenih oken so relativno majhni, zato iz odsluženih lesenih oken lahko pridobimo manjše količine čistega lesa. To je mogoče trenutno ekonomsko gledano še neupravičeno, vendar pa bo v prihodnosti ob pomanjkanju svežega lesa tudi to ekonomsko upravičeno.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Developing the circular economy is one of the key goals of modern societies both in Slovenia and Europe in general, with a strong emphasis on waste reduction and resource efficiency (EC, 2014). The

use of wood in cascades is important to reach this goal. Nowadays most recycled wood (around 80%) is used for combustion. However, the literature shows that 45% of wood used in buildings can be used for recovery or recycling, such as old wooden windows. However, according to regulations old used windows can be used only for combustion, because they are treated with biocides and surface coatings, although such pollutants are concentrated only on the surface. The aims of our research were to characterize the wood of used windows, as obtained from different periods and with different surface coatings, and to analyse it according to different criteria regarding the content of inorganic pollutants. The main purpose was also to determine the depth where the concentration of inorganic pollutants fell under the limit value so that this wood could be used for recycling or recovery. At first, all non-wood materials were removed from the window profiles. Afterwards, the profiles were cut into 5 mm thick slides, to measure how deep into the wood the inorganic contaminants had penetrated. The wood was analysed with an X-ray fluorescent spectrometer, and the proportions of individual inorganic pollutants were determined (Cr, Cu, Cl, Fe, Zn, Pb). The amounts of contaminants varied depending on the type of window and surface coating, most contaminants are in the surface layer to a depth of 5 mm, while the middle part of the profile is not contaminated. Higher concentrations of inorganic pollutants were determined in older windows. The main message of the present research is that wood from old windows can be used for recovery or recycling if the contaminated surfaces are first removed.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGMENT

Prispevek je rezultat več med seboj povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: P4-0015 - Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST 0481-09) in Projekta Woolf-OP20.03520, ki poteka v okviru programa Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije. Za tehnično pomoč pri pripravi in analizi vzorcev se najlepše zahvaljujemo študentu Blažu Dolinarju.

VIRI

REFERENCES

- Altholzverordnung (2002). Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV). 1–16.
- CEN/TS 14961 (2005). Solid biofuels - Fuel specifications and classes.
- EPF Industry standard (2014). The use of recycled wood wood-based panels. (14.8.2020). <https://europanel.org/wp-content/uploads/2018/09/EPF-Standard-for-panels-from-recycled-wood.pdf>
- De Meijer, M. (2004). A review of interfacial aspects in wood coatings: wetting, surface energy, substrate penetration and adhesion. COST E18, High Performance Wood Coating. Final Seminar, January 2005, 1–16.
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Towards a circular economy: a zero waste programme for Europe. COM/2014/0398 final, 1 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CEN/TS 14961 (2005). Solid biofuels - Fuel specifications and classes.
- Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2013). Potentials for cascading of recovered wood from building deconstruction - A case study for south-east Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 81–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.004>
- Humar, M. (2010). Inorganic pollutants in recovered wood from Slovenia and boards made of disintegrated wood. *The Open Environmental Engineering Journal*, 3, 1–6.
- Humar, M., & Lesar, B. (2009). Einfluss der Eintauchdauer auf die Aufnahme von Schuttmittellösungen, die Adsorption, die Eindringung und die Fixierung von Kupferethanolamin basierten Holzschutzmitteln. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(3), 265–270. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0317-1>
- Humar, M., & Lesar, B. (2016). Odslužen les – surovinski vir z velikim potencialom. *Gozdarski Vestnik*, 56(045), 1–12.
- Mantau, U., Saal, U., Prins, K., Steierer, F., Lindner, M., Verkerk, H., Eggers, J., Leek, N., Oldenburger, J., Asikainen, A., & Anttila, P. (2010). EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. EUwood, June, 106p.
- Mantau, U., Weimar, H., & Tobias, K. (2012). Standorte der Holzwirtschaft - Holzrohstoffmonitoring. Altholz im Entsorgungsmarkt – Aufkommens- und Vertriebsstruktur 2010.
- Peeters, M., & Eliantonio, M. (2020). Research handbook on EU environmental law. <https://www.elgaronline.com/view/edcoll/9781788970662/9781788970662.xml>
- Risse, M., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2017). Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 126 (November 2016), 141–152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.045>
- Risse, M., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2019). Eco-efficiency analysis of recycling recovered solid wood from construction into laminated timber products. *Science of the Total Environment*, 661, 107–119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.117>
- Stegne, V. (2015). Stavbno pohištvo. Srednja Lesarska šola Maribor.
- Ugovšek, A. (2017). ReWin - lesena okna iz odsluženega lesa - M Sora. <https://www.m-sora.si/si/novice/2017/10/182-ReWin-lesena-okna-iz-odsluzenega-lesa>
- Ur. l. RS, 96/2014 (2014). <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6504>