

## PROCJENA UTICAJA ŽIVOTNOG CIKLUSA STOLICE NA OKOLIŠ METODOM EKO INDIKATORA 99

### LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE CHAIR ON ENVIRONMENT THROUGH ECO INDICATOR 99

Prof.dr. Šefket Goletić,  
Edna Ibraković, dipl. inž. maš.  
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica

#### REZIME

*Rad se bavi procjenom uticaja proizvodnje, upotrebe i odlaganja stolice od grabovine kada stolica postane otpad na okoliš, pomoću metode Eko indikator 99. Na osnovu dobijenih rezultata date su preporuke s ciljem poboljšanja kvaliteta proizvoda te smanjenja štetnog uticaja na okoliš.*

**Ključne riječi:** uticaj na okoliš, Eko indikator 99, drvena stolica

#### SUMMARY

*The paper work deals with the impact assessment of production, use and disposal of hornbeam chair on the environment, using the method Eco Indicator 99. The obtained results are used to improve product quality and reduce harmful effects on the environment.*

**Keywords:** the impact on the environment, Eco indicator 99, wooden chair

#### 1. UVOD

Metoda procjene životnog ciklusa proizvoda (eng. Life Cycle Assessment – LCA) je set tehnika kombinovanih zajedno kao jedna objektivna, sistematična metoda za identificiranje, klasificiranje i kvantificiranje tereta zagađenja, uticaja na okoliš, kao i materijalnih i energetskih resursa vezanih za neki proizvod, proces ili aktivnost od ideje pa sve do kraja životnog ciklusa proizvoda [1]. Iako je LCA metoda trenutno jedan od najznačajnijih alata unutar industrijske ekologije, postoje brojna ograničenja i nedostaci u njenoj primjeni. Naime, troškovi provođenja LCA analize mogu biti preveliki, pogotovo za manja preduzeća, vrijeme potrebno za analizu često premašuje ukupno vrijeme razvoja proizvoda te je dostupnost podataka često ograničena. Zbog toga je 1999. godine, nizozemska firma Pre Consultant razvila metodu Eko indikator 99, koja predstavlja pojednostavljenu LCA metodu.[2]

#### 2. METODA EKO INDIKATOR 99

Metoda Eko indikator 99 predstavlja jednu od najrazvijenijih metoda za ocjenjivanje uticaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš. Rezultat ove metode naziva se eko indikator koji je bezdimenzionalni broj (izražen se u bodovima), a označava ukupni procjenjeni uticaj nekog procesa ili proizvoda na ljudsko zdravlje, kvalitet ekosistema i osiromašenje prirodnih resursa. Jedan bod je ekvivalent jedne hiljade godišnjeg opterećenja okoliša prosječnog euroljanina

[2]. Ovakav način ocjenjivanja uticaja proizvoda na okoliš olakšava posao dizajnerima i menadžerima u proizvodnji u vezi sa poboljšanjem kvaliteta proizvoda i smanjenjem opterećenja životnog ciklusa proizvoda na okoliš.

U narednoj tabeli, prikazana je SWOT analiza metode Eko indikator 99.

Tabela 1. SWOT analiza metode Eko indikator 99 [3]

PREDNOSTI	SLABOSTI
1. Obezbeđuje samo tri indikatora kategorije uticaja koji zahtjevaju harmonizaciju modela. 2. Koristi metod krajnjih uticajnih kategorija koje se mogu koristiti u bilo kojoj LCA, sa posebnim osvrtom na funkciju odmjerenja rezultata. 3. Obezbeđuje globalnu i regionalnu validnost za kategorije uticaja klimatske promjene, oštećenje ozonskog omotača i potrošnju resursa.	1. Uticajne kategorije acidifikacija i eutrofikacija za područje Evrope, bazirane su na modelu koji se odnosi na teritoriju Holandije, a kategorija uticaja upotreba zemljišta zasnovana je na modelu koji se koristi za područje Švicarske.
MOGUĆNOSTI	PRIJETNJE
1. Pokriva 391 supstancu. 2. Primjena u najpoznatijim LCA softverima (GaBi, SimaPro, itd.). 3. Kvantitativno su opisani uticaji na ljudsko zdravlje i ekotoksičnost, dok su ostale kategorije uticaja opisane kvalitativno. 4. Otvorene mogućnosti daljeg razvoja LCIA metodologija kao što su LIME, IMPACT 2002+.	Nisu identifikovane

### 3. OPIS STOLICE KOJA JE PREDMET ANALIZE UTICAJA NA OKOLIŠ

Predmet procjene uticaja životnog ciklusa na okoliš je stolica izrađena od bijelog graba. Stolica se sastoji iz naslona, sjedišta, četiri noge, osam prečki, 32 vijka. Sjedište je izrađeno od jelove daske, vijci su čelični, a ostali dijelovi stolice su od bijelog graba. Stolica je izrađena konvencionalnim postupcima obrade drveta. Podaci o stolici koji su korišteni u ovom radu dobijeni su od stolarije iz Zenice, koja proizvodi ove stolice.

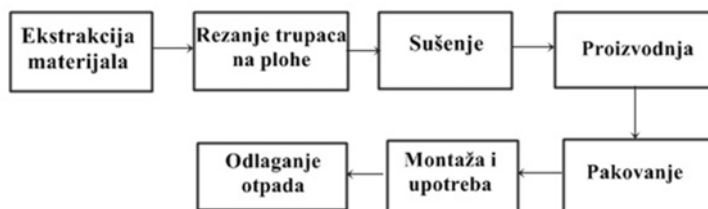
### 4. PROCJENA UTICAJA ŽIVOTNOG CIKLUSA STOLICE NA OKOLIŠ METODOM EKO INDIKATORA 99

#### Korak 1. Određivanje svrhe analize

Svrha analize je odrediti ukupni eko indikator stolice od grabovine u fazi proizvodnje, upotrebe i odlaganja otpada kada stolica postane otpad, te odrediti koji procesi imaju najznačajniji uticaj na okoliš.

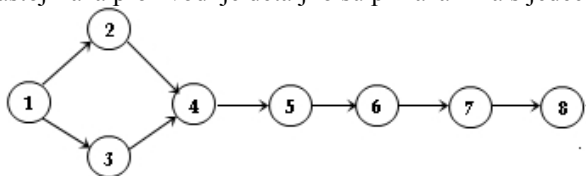
#### Korak 2. Definisane životnog ciklusa proizvoda

Na slici 1. prikazano je pojednostavljeno stablo procesa za promatrani primjer.



Slika 1. Pojednostavljen shematski prikaz stabla procesa za posmatrani primjer

Treba napomenuti da faze ekstrakcije, rezanja trupaca i sušenja neće biti uključene u analizu. Procesi iz kojih se sastoji faza proizvodnje detaljno su prikazani na sljedećoj slici:



Slika 2. Shematski prikaz operacija koje čine proizvodnju stolice: 1. Rezanje graba na dužine, 2. Izrađivanje čepova, 3. Bušenje otvora, 4. Brušenje kore, 5. Montaža, 6. Izravnavanje, 7. Finalno brušenje, 8. Farbanje

### Korak 3. Kvantificiranje materijala i procesa

Eko indikator za posmatrani proces računa se na način da se tablični eko indikator (najčešće izražen u bodovima po kilogramu neke tvari, ili bodovima po megadžulu proizvedene energije) pomnoži sa količinom tvari (ili energije) koja je karakteristična za posmatrani proces [2]. Ovo se može predstaviti sljedećom jednačinom:

$$EI_n = ei_n \cdot m_n \text{ ili } EI_n = ei_n \cdot e_n \quad \dots (1)$$

gdje je:

$EI_n$  = eko indikator za posmatrani proces,  $ei_n$  = tablični eko indikator (izražen po karakterističnoj veličini za neki proces),  $m_n$  = masa tvari u posmatranom procesu,  $e_n$  = iznos energije u posmatranom procesu.

Materijali i procesi se kvantificiraju za fazu proizvodnje, upotrebe i odlaganja otpada.

#### Faza proizvodnje

Vrijednost eko indikatora za drvo je  $ei_1 = 6,6 \cdot 10^{-3}$  bodova/kg [4].

Ukupna masa stolice je 8 kg.

$$EI_1 = ei_1 \cdot m_1 = 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot 8 = 0,0528 \text{ pt} \quad \dots (2)$$

Eko indikator posmatranog procesa je:  **$EI_1 = 0,0528 \text{ pt}$**

Za proizvodnju stolice potroši se 32 čelična vijka čija je masa 0,05kg. Eko indikator za čelik je  $ei_2 = 86 \cdot 10^{-3}$  bodova/kg. [4]

$$EI_2 = ei_2 \cdot m_2 = 86 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 = 0,0043 \text{ pt} \quad \dots (3)$$

Eko indikator posmatranog procesa je:  **$EI_2 = 0,0043 \text{ pt}$**

Potrošnja ljepila prilikom spajanja dijelova stolice iznosi oko 100ml, odnosno, oko 0,18kg. Ljepilo je organskog porijekla, a prosječna vrijednost eko indikatora za hemikalije organskog porijekla je  $ei_3 = 99 \cdot 10^{-3}$  bodova/kg [4].

$$EI_4 = ei_3 \cdot m_3 = 99 \cdot 10^{-3} \cdot 0,18 = 0,0178 \text{ pt} \quad \dots (4)$$

Eko indikator posmatranog procesa je:  **$EI_3 = 0,0178 \text{ pt}$**

Prilikom procesa farbanja stolice potroši se oko 500 ml laka, tj oko 0,62 kg laka. S obzirom da vrijednost eko indikatora za lak ne postoji, njegov uticaj će se zanemariti u proračunu.

Procesi i alati potrebni za proizvodnju stolice prikazani su u tabeli 2.

Na osnovu vremena trajanja operacije i snage alata, pomoću izraza (5) može se doći do podatka potrošene energije za proizvodnju stolice.

$$E \left( \frac{kWh}{dan} \right) = \frac{P(W) \cdot t \left( \frac{h}{dan} \right)}{1000 \left( \frac{W}{kW} \right)} \quad \dots (5)$$

gdje je:

$E$  = utrošena energija,  $P$  = snaga,  $T$  = vrijeme.

Tabela 2. *Procesi i alati potrebni za proizvodnju stolice [5]*

OPERACIJA	ALAT	TRAJANJE OPERACIJE	SNAGA ALATA	UTROŠENA ENERGIJA
Rezanje graba na dužine	Cirkular	10min=0,17h	3kW	0,51 kWh/dan
Izrađivanje čepova	Bušilica	20min=0,30h	3kW	0,90 kWh/dan
Bušenje otvora	Bušilica	15min=0,25h	800W	0,20 kWh/dan
Brušenje kore	Brusilica	30min=0,50h	2kW	1,0 kWh/dan
Montaža	Bušilica	10min=0,17h	550W	0,09 kWh/dan
Izravnavanje	Brusilica	5min=0,08h	2kW	0,16 kWh/dan
Finalno brušenje	Ručno	-	-	-
Farbanje	Kompresor	20min=0,30	1,5kW	0,45 kWh/dan
UKUPNA POTROŠNJA ENERGIJE: 3,31 kWh/dan				

Eko indikator za proizvodnju električne energije po europskom sredjenaponskom modelu je  $ei_4 = 26 \cdot 10^{-3}$  bodova/kWh [4].

$$EI_4 = ei_4 \cdot e_4 = 26 \cdot 10^{-3} \cdot 3,31 = 0,08606 \text{ pt} \quad \dots (6)$$

Eko indikator posmatranog procesa je:  $EI_4 = 0,08606 \text{ pt}$

Pakovanje se vrši pomoću kutije od valovitog papira. Masa valovitog kartona potrebna za pakovanje stolice iznosi 1,2 kg. Eko indikator za proizvodnju ambalažnog kartona (uključuje i njegovo oblikovanje u kutiju):  $ei_5 = 69 \cdot 10^{-3}$  bodova/kg [4].

$$EI_5 = ei_5 \cdot m_5 = 69 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 = 0,0828 \text{ pt} \quad \dots (7)$$

Eko indikator posmatranog procesa je:  $EI_5 = 0,05865 \text{ pt}$ .

#### Faza upotrebe

Stolica je namjenjena za sjedenje. Prilikom upotrebe stolice nema potrošnje energije. Procjenjuje se da faza upotrebe nema štetnih uticaja po okoliš.

#### Faza zbrinjavanja otpada

Stolica je dominantno izrađena od drveta. S obzirom da je drvo biorazgradiv materijal, stolica kada dospije na deponiju neće imati značajan negativan uticaj na okoliš.

#### Korak 4. Tabela popis materijala i procesa definisanih životnim ciklusom stolice

U tabeli 3. dat je popis materijala i potrošene energije u toku faze proizvodnje drvene stolice.

Tabela 3. *Popis materijala i procesa u fazi proizvodnje*

FAZA PROIZVODNJE			
MATERIJAL ILI PROCES	KOLIČINA (kg ili kWh/dan)	INDIKATOR (Pt/kg ili pt/kWh)	REZULTAT (pt)
drvo	8	$6,6 \cdot 10^{-3}$	0,0528
energija	3,31	$26 \cdot 10^{-3}$	0,08606
vijci	0,05	$86 \cdot 10^{-3}$	0,0043
ljepilo	0,18	$99 \cdot 10^{-3}$	0,0178
ambalažni karton	1,2	$69 \cdot 10^{-3}$	0,05865
UKUPNO			0,22

Kako je prethodno navedeno faza upotrebe stolice nema negativne uticaje na okoliš, stoga ne postoji neophodnost za tabelarnim prikazom ove faze.

U koraku 3. je također navedeno da metoda Eko indikatora 99 ne nudi tablični eko indikator za drvo kao otpadni ili reciklabilni materijal, te se ni ova faza neće tabelarno prikazati.

Ukupni eko indikator za životni ciklus stolice za faze proizvodnje, upotrebe i zbrinjavanja otpada iznosi:

$$\begin{aligned}\sum EI &= E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = 0,0528 + 0,08606 + 0,0043 + 0,0178 + 0,05865 = \\ &= 0,22 \text{ pt} \quad \text{Dakle, ukupni eko indikator za analiziranu stolicu iznosi } \sum EI = 0,22 \text{ pt.}\end{aligned}$$

#### *Korak 5. Interpretacija rezultata*

Ukupni procjenjeni uticaj na okoliš faze proizvodnje, upotrebe i odlaganja stolice iznosi 0,22 boda. Treba napomenuti da je jedan bod ekvivalent jedne hiljade godišnjeg opterećenja okoliša prosječnog Europljanina. To znači da je uticaj pomenutih faza stolice na okoliš jednak opterećenju okoliša koji uzrokuje 220 prosječnih stanovnika Europe.

### **5. PREPORUKE**

S ciljem smanjenja štetnog uticaja faze proizvodnje stolice i poboljšanja kvaliteta, mogu se izvesti sljedeće preporuke:

1. Izbjegavati upotrebu vijaka i ljepila prilikom montaže stolice, umjesto toga čepove dijelova stolice izrađivati za 2mm većeg prečnika od otvora.
2. Ukoliko se upotreba vijaka ne može izbjeći, koristiti pocinčane vijke za koje proizvođač garantuje da su izrađeni u skladu sa ekološkim zahtjevima.
3. Umjesto boja i lakova koristiti ulja i voskove, te na taj način spriječiti ljuštenje boja i lakova usljed djelovanja UV zračenja.
4. Voditi računa o mogućoj prenamjeni stolice, popravci i restauraciji čime bi se produživo životni vijek stolice.
5. Riješiti način zbrinjavanja stolice kada postane neupotrebljiva.

### **6. ZAKLJUČAK**

Ovaj rad, u opštem smislu, predstavlja doprinos razvoju ljudskog načina razmišljanja u smjeru cjelokupnog životnog ciklusa proizvoda (eng. Life Cycle Thinking - LCT) u kome, pored ostalih bitnih faktora, zaštita okoliša vremenom stiže dominantnu ulogu.

Ostvareni rezultati istraživanja u okviru rada pokazuju, da uticaj faze proizvodnje, upotrebe i odlaganja stolice na ljudsko zdravlje, osiromašenje resursa i kvalitet ekosistema iznosi 0,22 boda, što je jednako opterećenju okoliša koji uzrokuje 220 prosječnih stanovnika Europe.

Kako bi se opterećenje okoliša umanjilo potrebno je uraditi poboljšanje stolice u smislu unaprjeđenja montaže, demontaže, vijeka trajanja, te načina odlaganja kada stolica postane neupotrebljiva. Realizacijom navedenih unaprjeđenja poboljšati će se kvalitet proizvoda i njegova konkurentnost na tržištu.

### **7. LITERATURA**

- [1] Karišić M.: Utjecaj procjene životnog ciklusa proizvoda pri projektiranju tehnološkog procesa proizvoda, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2008.
- [2] Goedkoop M.: The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, Pre Consultants, Netherlands, 1999.
- [3] Vištica S.: Model upravljanja procesa proizvodnje podnih obloga na životnu sredinu primjenom LCA metode, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2014.
- [4] Eco Indicator 99, Manual for Designers, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, preuzeto sa: <https://www.pre-sustainability.com/>

- [5] Ibraković E.: Primjena principa ekološkog dizajna u dizajniranju drvene stolice sa procjenom njenog uticaja na okoliš metodom Eko indikatora 99, Diplomski rad, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 2017.