

OCENJIVANJE UTICAJA ŽIVOTNOG CIKLUSA BICIKLA NA RADNIKE ASSESSMENT OF BICYCLE'S LIFE CYCLE IMPACT ON THE WORKERS

Laura Kanas, Boris Agarski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE NA RADU

Kratak sadržaj – U prvom delu master rada opisana je S-LCA metoda. Metoda je poređena sa konvencionalnom metodom ocenjivanja životnog ciklusa (LCA) u okviru kojeg su predstavljeni nedostaci i potrebe za unapređenjem S-LCA metode. Za proračun je korišćena WE-LCA metoda. Metoda WE-LCA omogućava izračunavanje uticaja ljudskih aktivnosti u radnom okruženju na bezbednost i zdravlje radnika koji je izražen preko broja potencijalnih nesreća. Metoda WE-LCA je primenjena kod ocenjivanja uticaja proizvodnog procesa bicikla. Na osnovu diskusije dobijenih rezultata zaključeno je da aktivnosti pri proizvodnji bicikla imaju najznačajniji efekat na „ostale povrede”, sa veličinom uticaja koja je vidno veća nego u ostalim kategorijama uticaja. U kategoriji „ostale povrede”, montaža proizvoda je aktivnost sa najvećim efektom na povrede.

Ključne reči: Radno okruženje, ocenjivanje životnog ciklusa, S-LCA analiza, WE-LCA metoda.

Abstract – In first part master thesis describes the S-LCA method. S-LCA method is compared with the conventional LCA, and afterwards the shortcomings and needs for refinement of the S-LCA method are presented. The WE-LCA method was used for the calculation. WE-LCA method enables calculation of the impact of human activities on workers safety and health, where impact is expressed in the number of potential hazards. WE-LCA method was applied on an example where bicycle production process was analysed. Based on the obtained results and discussion, it was concluded that bicycle production activities have the most significant effect on „other injuries”, with an magnitude of impact that is noticeably larger than in other impact categories. In the category of „other injuries”, product assembly is the activity with the greatest effect on injuries.

Keywords: Working environment, life cycle assessment, S-LCA analysis, WE-LCA method.

1. UVOD

Jedan od načina poboljšanja kvaliteta proizvoda jeste koncept praćenja proizvoda tokom celokupnog životnog ciklusa tj. LCA (LCA - *Life Cycle Assessment* - Procena životnog ciklusa). Rezultati LCA studije omogućavaju kompanijama da saznaju koji aspekti proizvodnje su efikasni, kao i na kojim mestima treba unaprediti efikasnost u cilju smanjenja uticaja na životnu sredinu [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Boris Agarski, docent.

Ocenjivanje socijalnih i socio-ekonomskih aspekata životnog ciklusa dodaje posebnu dimenziju analiziranja uticaja, pružajući korisne informacije za one koji nastoje da proizvode ili kupuju odgovorno.

1.1 Cilj i zadaci

Cilj master rada je ocenjivanje uticaja životnog ciklusa proizvoda na pojavu zdravstvenih problema kod radnika, konkretnom pri slučaju proizvodnje bicikla. U skladu sa navedenim ciljem postavljeni su sledeći zadaci:

- Prikazati teoretske osnove ocenjivanja uticaja životnog ciklusa sa aspekta uticaja na radnika;
- Formirati cilj i predmet studije kao i inventar životnog ciklusa za proizvodnju bicikla;
- Primeniti metodu WE-LCA (WE-LCA - Working Environment Life Cycle Assessment - Ocena uticaja životnog ciklusa radnog okruženja) za ocenu uticaja proizvodnje bicikla na radnika;
- Interpretirati i diskutovati dobijene rezultate.

2. S-LCA ANALIZA

Socijalni aspekti se mogu proceniti kroz razne alate. Postoji mnoštvo različitih setova indikatora održivosti, koji uključuju socijalnu i socio-ekonomsku dimenziju, koji imaju različite ciljeve i fokuse, npr. regioni, nacije, sektori. Osnova za izbor indikatora može varirati i podaci mogu biti različitog kvaliteta. S-LCA (S-LCA - *Social and socio-economic LCA* - Socijalna i socio-ekonomska procena životnog ciklusa) ima za cilj da proceni proizvod i proizvodnju u smislu socijalnih, i u izvesnoj meri ekonomskih uticaja koristeći perspektivu životnog ciklusa [1].

2.1 Socijalni uticaji

Socijalni uticaji su posledice društvenih odnosa vezanih za ljudske aktivnosti (proizvodnje, potrošnje ili odlaganja) i/ili uzrokovanih ljudskim aktivnostima, preventivnim ili pojačanim merama preduzetih od strane zainteresovanih strana (npr. sprovođenje mera bezbednosti u objektu). Takođe, socijalni uticaji su funkcije: politike, ekonomije, etike, psihologije, pravnih pitanja, kulture, itd. Pored toga, utiču na proizvodni sistem i društvo i na taj način menjaju druge socijalne uticaje i uticaje na životnu sredinu [1]. U narednim poglavljima biće predstavljene na sistematičan način, četiri glavne faze metodologije S-LCA.

2.2 Definisane cilja, predmeta i područja primene

Na početku S-LCA potrebno je jasno definisati cilj i svrhu studije. Definisane treba da opiše cilj, predmet i područje primene. Studija zatim definiše ispunjenje te svrhe, unutar izvesnih granica. U zavisnosti od cilja, može se planirati kritičko ocenjivanje [1].

Drugi korak je definisanje predmeta i područja primene. Kao deo definisanog područja primene, definisani su funkcija i funkcionalna jedinica proizvoda. Na osnovu tih informacija proizvodni sistem će kasnije biti modelovan koristeći proces ili ulazno-izlazne podatke. U fazi definisanja područja primene, studija detaljno definiše i odluke da li se za jedinični proces zahteva generičko ili specifično prikupljanje podataka.

2.3 Analiza inventara životnog ciklusa

Analizom inventara životnog ciklusa podaci trebaju da se prikupljaju za:

- određivanje prioriteta,
- procenu vrućih tačaka,
- procenu specifičnosti lokacije (engl. site specific),
- uticaj procene (karakterizacija) [1].

U fazi inventara S-LCA se prikupljaju podaci, modeliraju sistemi i dobija se LCI (LCI - *Life Cycle Inventory* - Inventar životnog ciklusa).

2.4 Procena uticaja životnog ciklusa

Ocenjivanje socijalnih uticaja životnog ciklusa je treća faza S-LCA. Svrha faze ocenjivanja socijalnih uticaja je da obezbedi kombinaciju:

- a) izračunavanja nekih podataka inventara unutar potkategorija i kategorija, i
- b) korišćenje dodatnih informacija, kako bi pomogli u razumevanju važnosti i značaja prikupljenih podataka u fazi inventara [1].

2.5 Interpretacija životnog ciklusa

Interpretacija životnog ciklusa je proces procene rezultata kako bi se izveli zaključci [2]. U skladu sa ciljem, predmetom i područjem studije, ova faza ima nekoliko ciljeva: da analizira rezultate, donosi zaključke, objasni ograničenja studije, da da preporuke i da adekvatno izveštava.

3. WE-LCA ZA OCENJIVANJE UTICAJA NA RADNO OKRUŽENJE

Metoda WE-LCA se bazira na statističkim podacima. Za metodu WE-LCA koristi se statistika proizvoda da bi se izračunao proizvodni iznos u sektorima. Izvor koji se koristi za izračunavanje su iz statističkih podataka Danske [3].

U Danskoj sve zabeležene profesionalne nezgode i profesionalne bolesti su zavedene u registar profesionalnih povreda koje su deo službe Danske nacionalne inspekcije rada. Za metodu WE-LCA odabrano je 10 kategorija.

Povrede:

- fatalna povreda,
- ostale povrede izazvane nezgodama.

Oboljenja:

- funkcionalni poremećaj CNS,
- oboljenje sluha,
- rak,
- oboljenja vezana za skeletnu strukturu i mišiće,
- oboljenje disajnih puteva (alergeni),
- oboljenje disajnih puteva (nealergeni),
- kožna oboljenja,
- psiho-sociološka oboljenja.

Podaci iz baze inventara su utvrđeni za veliki broj jediničnih procesa i mogu se koristiti u izračunavanju preko tabela ili u programima za LCA.

4. ISTRAŽIVAČKI DEO

Na osnovu LCA studije koja je vrednovala uticaje na životnu sredinu životnog ciklusa bicikla [4], u narednom delu urađena je WE-LCA analiza za isti slučaj. Cilj, predmet studije i LCI su preuzeti iz rada „*Comparative LCA of bicycles, Linear Scenario vs. Circular Scenario*” [4] a za ocenjivanje uticaja na radnika primenjena je WE-LCA metoda.

4.1 Funkcionalna jedinica i granice sistema

Izabrana funkcionalna jedinica je jedan bicikl po ciklusu korišćenja, gde je ciklus korišćenja postavljen na 5 godina. Prilikom analize uzima se period proizvodnje sirovina, proizvodnja komponenti i poluproizvoda, finalni proizvod i transport (Slika 1). Pored navedenih granica uzete su u obzir i vremenske granice, kriterijumi isključenja kako bi se prikupili relevantni podaci.

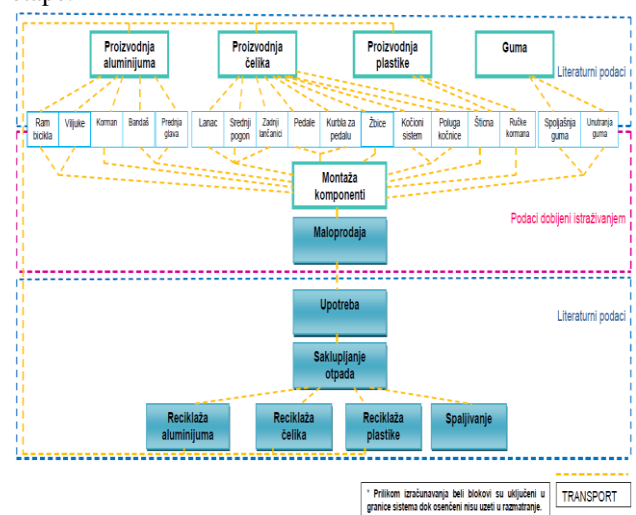
4.1.1 Geografske granice

Geografske granice obuhvataju sve države u kojima se proizvode različite komponente bicikla. Predpostavlja se da su komponente bicikla napravljene u različitim delovima sveta (Kina, Indonezija i Evropa), a zatim da se delovi dovode na mesto gde se bicikl sklapa i šalje ka trgovcima [4].

Proces montaže bicikla odvija se u Holandiji a pretpostavka je da se distribucija, maloprodaja bicikala, odvija u ostalim državama Evrope. Iz praktičnih razloga trgovci se nalaze u proseku na udaljenosti od 1300 km od Amsterdama.

4.1.2 Granice sistema

U nastavku na slici 1 su predstavljene granice sistema životnog ciklusa bicikla. Dijagram je predstavljen u tri etape.



Slika 1. Detaljni dijagram toka linearnog scenarija [4]

4.1.3 Vremenska ograničenja

Vremenske granice se uglavnom odnose na podatke. Podaci su uzeti iz baze podataka inventara životnog ciklusa pri oceni uticaja na radno okruženje. Baza podataka je nastala razvojem Danske metode WE-LCA koja je realizovana u periodu od 1997 do 2003. godine.

4.1.4 Kriterijumi isključenja

Da bi se pojednostavio model neki delovi konvencionalnog bicikla su isključeni iz granica sistema. Kriterijumi isključenja delova koji se koriste bili su bazirani na osnovnoj funkcionalnosti bicikla. Delovi kao što su korpa, zvono ili blatobrani smatraju se nepotrebnim za jednostavnu i osnovnu upotrebu bicikla. Sl. 2 prikazuje delove uključene u studiji, kao i glavne materijale delova [4].



Slika 1. Delovi bicikla uključeni u studiju [5]

4.2 Analiza inventara životnog ciklusa

4.2.1 Podaci

U analizi je korišćena LCI baza podataka razvijena za potrebe WE-LCA metode. Ulazni podaci korišćeni u modelu imaju tri različita nivoa. Počinje sa komponentama koji predstavljaju pojedinačne delove bicikla. Neke komponente su zatim grupisane tako da formiraju podsklopove gde su zatim svi podsklopovi deo gornjeg nivoa, odnosno skupa, koji je sam bicikl.

4.2.2 Transport

Podaci vezani za transport delova bicikla su određeni na osnovu pretpostavka da se svi delovi prevoze iz luke u zemlji u kojoj se proizvode do Amsterdama po najčešćim teretnim putevima, preko Suetskog kanala brodom. Sklopljeni bicikl se takođe kamionom prevozi u maloprodajne objekte u Evropi koji se nalaze na prosečnoj udaljenosti oko 1300 km od Amsterdama [4].

4.2.3 Pakovanje

Pakovanje svake od komponenti sastoji se od određene mase kartona koja je izračunata na osnovu gustine i debljine kartona. Količina artikala po kutiji je izračunata tako da je slagana na drvenu paletu od 80 x 120 x 100 [cm].

4.2.4 Potrošnja fosilnih goriva

Ukupna potrošnja fosilnog goriva je 49,6 kg ekvivalentne (ekv) nafte, pri čemu je 78,6 kg ekv nafte za životni ciklus bicikla od kolevke do fabrike, dok na obradu otpada na kraju životnog ciklusa odlazi 29,2 kg ekv nafte [4].

4.3 Usklađivanje inventara sa bazom podataka

Materijalne i energetske tokove prikupljene u fazi inventara potrebno je povezati sa odgovarajućim sektorima i procesima u LCI bazi podataka kako bi se izračunali uticaji na radnika prema WE-LCA metodi [3]. Tabela 1 prikazuje procese koji su odabrani za proizvodne aktivnosti u životnom ciklusu bicikla.

Tabela 1. Sektori iz baze podataka i njihovo usklađivanje sa inventarom

Materijal	Količina	NACE šifra	Baza podataka procesa/aktivnosti
Aluminijum	10,700 [kg]	274200	Proizvodnja aluminijuma
Plastika	1,150 [kg]	252	Plastični proizvodi
Čelik	5,808 [kg]	271000	Osnovno gvožđe i čelik (Danska)
Guma	1,000 [kg]	251300	Proizvodi od gume
Karton	10,800 [kg]	212500	Ostali proizvodi od papira i kartona
Nafta	78,600 [kg]	/	Sirova nafta
/	16,508 [kg]	2811	Montaža metalnih konstrukcija
Bicikl	17,758 [kg]	297190	Montaža proizvoda (usisivač)
Transport	23140 [kg/km]	631100	Transport robe kamionom
Transport	17,758 [kg]	611010	Transport robe brodom

4.4 Tabelarni rezultati WE-LCA metode

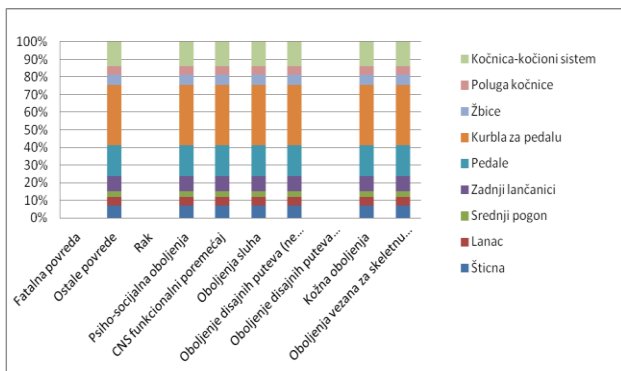
Za izračunavanje rezultata kategorije uticaja potrebno je pomnožiti količine masenih i energetskih tokova inventara životnog ciklusa sa odgovarajućim karakterizacionim faktorima WE-LCA metode za pojedine materijale, procese, energije i emisije. Za potrebe izračunavanja korišten je MS Excel. U tabeli 2 može se videti primer proračuna povrede i oboljenja pri potrošnji nafte, montaži i transportu robe kamionom.

Tabela 2. Povrede i oboljenja pri potrošnji nafte, montaži i transportu robe kamionom

Delovi bicikla	Količina [kg]	Proces životnog ciklusa	Fatalna povreda	Ostale povrede	Rak	Psihosociološka oboljenja	Funkcionalni poremećaj CNS
Deo bicikla	78,6	Nafta	9,43E-11	1,10E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Deo bicikla	17,758	Montaža bicikla	0,00E+00	9,06E-05	0,00E+00	8,35E-07	0,00E+00
Deo bicikla	23140 [kg/km]	Transport kamionom	3,47E-10	6,94E-08	3,47E-10	0,00E+00	0,00E+00

4.5 Grafički prikaz WE-LCA rezultata i diskusija

Rađena je pojedinačna analiza delova bicikla koji su uzeti u razmatranje na osnovu materijala. U nastavku je predstavljen jedan od rezultata proračuna koji se odnosi na proizvodnju delova od gvožđa i čelika. Na grafikonu 1 su prikazani uticaji delova bicikla na povrede i oboljenja kod radnika pri proizvodnji gvožđa i čelika. S obzirom da su rezultati karakterizacije međusobno neuporedivi za kategorije uticaja WE-LCA metode, grafikon 1 je prikazan u procentima.



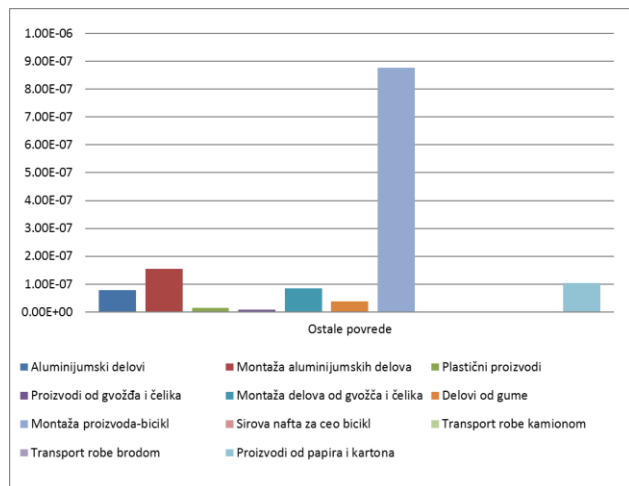
Grafik 1. Uticaj proizvodnje delova od gvožđa i čelika na povrede i oboljenja radnika

Posmatrajući grafikon 1 najizraženiji uticaj na kategorije imaju: kurbila za pedalu, pedale, kočnica-kočioni sistem, zadnji lančanići i šticina. Za pojedine kategorije nisu dostupne informacija za izračunavanje kao što su „fatalna povreda”, „rak” i „oboljenje disajnih puteva (alergeni)” zbog čega se ne može odrediti uticaj pojedinih delova na ove vrste povrede i oboljenja. Uticaji delova bicikla su podjednako raspoređeni unutar kategorija.

4.6 Normalizacija

Kako bi se uporedili rezultati proračuna i da bi se stekao uvid koje kategorije uticaja su najčešće pogođene aktivnostima u životnom ciklusu proizvoda WE-LCA rezultati su normalizovani.

Normalizacija je izvedena množenjem broja očekivanih povreda i oboljenja nastalih kod proizvodnje proizvoda sa faktorom normalizacije (korišćen je faktor normalizacije, *Ekvivalent po osobi opšte populacije (engl. Person equivalent-pe) - populacija Danske*). Na grafikonu 2 je prikazana normalizacija uticaja životnog ciklusa bicikla.



Grafik 2. Normalizovani uticaji životnog ciklusa bicikla (Napomena: Kategorije uticaja koje imaju rezultate normalizacije manje od 01E-08 nisu prikazane).

Pri životnom ciklusu bicikla aktivnosti imaju najznačajniji efekat na „ostale povrede”, sa veličinom uticaja koja je vidno veća nego u ostalim kategorijama uticaja, gde se izdvaja montaža proizvoda-bicikla kao aktivnost sa najvećim efektom na povrede.

5. ZAKLJUČAK

Ocenjivanje životnog ciklusa do nedavno je podrazumevalo analizu efekta proizvoda ili procesa na životnu sredinu. Međutim, danas je velika potreba za sveobuhvatnijom analizom proizvoda koja će u razmatranje uzeti WE-LCA i S-LCA. Da bi se WE-LCA i S-LCA koristili, neophodno je razviti i/ili dopuniti postojeće računarske modele, baze podataka i softverske alate.

Analizirajući pojedinačno procese WE-LCA metodom pri proizvodnji bicikla prepoznale su se aktivnosti i kategorije koje imaju najveći uticaj na radnike. Na primer posmatrajući proizvodnju delova bicikla od gvožđa i čelika najveći uticaj na kategorije povrede i oboljenja ima kurbila za pedalu. Prilikom normalizacije podataka omogućeno je da se procesi međusobno uporede. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da aktivnosti pri proizvodnji imaju najznačajniji efekat na „ostale povrede”. Analizirajući na ovaj način proizvod zainteresovanim stranama je omogućeno da svojim aktivnostima utiču na smanjenje posledica neadekvatnih procesa proizvodnje i da radni procesi budu bezbedniji i manje štetni kako za radnike tako i za okruženje.

6. LITERATURA

- [1] Andrews E. S, Barehel L. P, Beck T, Benoit C, Ciroth A, Cucuzella C, Gensch C. O, Hébert J, Lesage P, Manhart A, Mazeau P, Mazijn B, Methot A. L, Moberg A, Norris G, Parent J, Prakash S, Reveret J. P, Spillemaeckers S, Ugaya C. M. L, Valdivis S, Weidema B. 2009. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative: Guidelines for social life cycle assessment of products, Belgium Federal Public Planning Service Sustainable Development.
- [2] Baumann H, Tillman A. M. 2004. The Hitch Hiker’s Guide to LCA, An orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur, Švedska.
- [3] Schmidt A, Poulsen B. P, Andreassen J, Fløe T, Poulsen E. K. 2004. The working environment in LCA. A new approach, Miljøstzrelsen, Danska.
- [4] Bétex C. E, Claros A. C. C, Cortés E. G, Roci M. 2017. Comparative LCA of bicycles Linear Scenario vs. Circular Scenario. KTH Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment, Stoholm, Švedska.
- [5] Model bicikla Cesta preuzet iz ROETZ-a na <https://roetz-bikes.com/shop/product/road-ladies-3118>

Kratka biografija:



Laura Kanas rođena je u Zrenjaninu 1990. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Inženjerstva zaštite na radu odbranila je 2019. god. kontakt: kanas.laura@gmail.com



Boris Agarski rođen je u Novom Sadu 1980. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. godine, a od 2016 je u zvanju docent. Oblast interesovanja su inženjerstvo zaštite životne sredine, višekriterijumska analiza i ocenjivanje životnog ciklusa proizvoda i procesa.