

ОЦЕЊИВАЊЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА МОДУЛАРНОГ ПРИБОРА ЗА ОБРАДУ ПОКЛОПЦА КУЋИШТА**LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MODULAR FIXTURE FOR MACHINING THE HOUSING COVER**

Александар Милошевић, Борис Агарски, Ђорђе Вукелић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Кратак садржај– У раду је извршено вредновање утицаја производње елемената модуларног прибора за обраду поклопца кућишта на различите аспекте животне средине. Вредновање је извршено применом оцењивања животног циклуса и софтверског алата *openLCA*. На основу спроведеног вредновања може се закључити да је у погледу заштите животне средине од изузетног значаја испитивање процеса обраде сваког елемента модуларног прибора. Главни циљ оцењивања животног циклуса јесте да се проуче потенцијални утицаји и да се предложи одговарајући кораци који треба да се предузму како би се смањила емисија штетних материја у животну средину.

Кључне речи: *Оцењивање животног циклуса, модуларни прибор, животна средина*

Abstract – *The study conducted an evaluation of the environmental impacts of producing components of modular fixture for processing housing covers on various aspects of the environment. The evaluation was performed using life cycle assessment and the software tool openLCA. Based on the conducted evaluation, it can be concluded that, from an environmental protection perspective, examining the processing of each element of the modular accessory is of paramount importance. The primary objective of the life cycle assessment is to investigate potential impacts and propose appropriate steps to mitigate the emission of harmful substances into the environment.*

Keywords: *Life cycle assessment, modular fixture, environment*

1. УВОД

Убрзан раст људске популације и индустријски развој имају штетне последице по животну средину на глобалном нивоу, што представља претњу за опстанак људске врсте. Еколошке катастрофе, загађење животне средине и исцрпљивање необновљивих ресурса постали су све чешћи, што је довело до поопштравања еколошких захтева у свим областима људских активности [1].

Заштита животне средине усмерена је ка очувању природе и спречавању негативног утицаја човека на

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Борис Агарски, ванр. проф.

животну средину. Ова подразумева примену концепта одрживог развоја, који омогућава задовољење потреба садашњих генерација, без угрожавања способности будућих генерација да задовоље своје потребе [3].

Један од добровољних алата који доприноси концепту одрживог развоја је метода оцене животног циклуса, позната као LCA (Life Cycle Assessment). LCA оцењује утицај производа на животну средину током свих фаза његовог животног циклуса, укључујући екстракцију сировина, производњу и рециклажу [4] [7]. Пракса показује да велики део оптерећења животне средине, директно или индиректно, проистиче из машинских система (производње). Негативан утицај може бити последица директног испуштања отпадних материјала и штетних емисија током производње, или потрошње енергије и природних ресурса [5].

Прибор, као основна компонента обрадног система, има кључну улогу у савременој производњи. Основна функција прибора обухвата сигурно и прецизно прихватање и стезање радног предмета или алата током различитих операција обраде [6]. Прибори су у интеракцији са животном средином кроз све фазе њиховог животног циклуса, укључујући производњу, употребу, одржавање и одлагање.

Циљ рада је истражити утицај процеса израде модуларног прибора за операције обраде кућишта на животну средину, примењујући софтверски систем за оцену животног циклуса. У раду је извршено оцењивање животног циклуса модуларног прибора применом програмског система *openLCA*. *OpenLCA* је професионални софтвер отвореног кода за оцену животног циклуса и процену одрживости. Резултати истраживања се приказују табеларно и графички дијаграмима, омогућавајући процену и упоређивање утицаја појединих елемената модуларног прибора на животну средину [5][8].

2. ОЦЕЊИВАЊЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

LCA представља значајан алат за управљање заштитом животне средине. LCA омогућава процену утицаја производа, услуга или система на животну средину током свих фаза њиховог животног циклуса ("од колевке до гроба"). LCA укључује све етапе, од екстракције сировина, производње и дистрибуције, до употребе и одлагања.

LCA укључује сакупљање података о материјалној потрошњи, емисијама, енергији, отпаду и другим

еколошким аспектима током свих фаза животног циклуса. На основу тих података, врши се процена утицаја у различитим категоријама утицаја. LCA има за циљ да обезбеди објективне и количничке информације о еколошком профилу производа или система, ради идентификације потенцијално проблематичних делова и усмеравања ка подизању еколошке одрживости. Резултати LCA се користе за донесе информисаних одлука о дизајну, производњи, материјалном избору, управљању отпадом и другим аспектима који доприносе животној средини [5].

Према ISO 14040 [11] LCA метода се састоји из четири међусобно повезане фазе и то:

1. Дефинисање циља и предмета;
2. Анализа инвентара;
3. Оцењивање утицаја;
4. Интерпретација резултата.

3. ДЕФИНИСАЊЕ ЦИЉА И ПРЕДМЕТА

LCA модуларног прибора за обраду поклопца кућишта има за циљ вредновање утицаја сваког појединачног елемента модуларног прибора на животну средину и сагледавање свих кључних аспеката који могу имати утицај на животну средину и идентификовање потенцијалних области побољшања. Анализиран је поклопац кућишта који захтева бушење и урезивање навоја помоћу CNC бушилице. Материјал кућишта је сиви лив, а радни предмет је великих габаритних димензија и сложене геометрије.

Из тог разлога је изабран модуларни прибор за прихватање и стезање током обраде. На слици 2. је приказан модел поклопца са модуларним прибором. Тело модуларног прибора чини правоугаона плоча која се фиксира за радни сто машине помоћу вијака. Базирање радног предмета се врши преко равних површина, користећи ослони чеп и ослонце, како и два отвора са фиксним чеповима. Стезање радног предмета се постиже помоћу два компактна и једног окретног стезача. У табели 1 је наведен део елемената модуларног прибора са њиховим основним карактеристикама.



Слика 2. 3D модел модуларног прибора

Табела 1. Елементи модуларног прибора и њихове карактеристике – део табеле

Бр.	Назив	Ознака	Материјал	Маса [g]	Количина
1.	Основна плоча	1500.500	Сиви лив	105000	1
2.	Адаптерна плоча	1580.000	Челик	3000	1

Подаци који су анализирани морали су да буду у границама система. Границама система одређују се јединичн процеси који морају да буду укључени у LCA. Границе система обухватају све кораке и активности у вези са производњом елемената, као што су екстракција сировина, транспорт, производња помоћних елемената и сам процес производње. При чему су активности позадинског плана екстракција сировина, транспорт и производња полупроизвода, а производња елемената модуларног прибора активност првог плана као што је приказано на слици 3. Географско подручје обухваћено анализом јесте подручје Републике Србије за примарне податке а географско подручје за секундарне податке припада глобалном нивоу.



Слика 3. Границе система

4. ИНВЕНТАР ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

Инвентар животног циклуса представља детаљан списак свих потребних података и поступака за бројчано исказивање свих улаза и излаза током животног циклуса. За прикупљање података позадинског плана у мастер раду је коришћена Ecoinvent 3.7 Cut-off база података. Ecoinvent је једна од најпознатијих и најчешће коришћених LCI база података, која пружа обимне податке о различитим индустријским секторима, процесима и материјалима. Ecoinvent 3.7 Cut-off је једна верзија Ecoinvent базе података која се односи на одређени временски период и има дефинисане границе система. "Cut-off" у називу значи да је база података ограничена на одређени скуп процеса, материјала или индустријских сектора. То значи да нису обухваћени сви могући процеси или материјали, већ само они који су сматрани најрелевантнијим.

Табела 2. Ознака улазних података из Ecoinvent 3.7 Cut-off базе података

Поступак обраде и материјал	Поступак обраде и материјал преузет из Ecoinvent 3.7 Cut-off
Ливено гвожђе	market for cast iron cast iron Cutoff, S
Челик	market for hot rolling, steel hot rolling, steel Cutoff, S
Бушење	market for steel removed by drilling, computer numerical controlled steel removed by drilling, computer numerical controlled Cutoff, S
Глодање	market for steel removed by milling, average steel removed by milling, average Cutoff, S
Стругање	market for steel removed by turning, average, computer numerical controlled steel removed by turning, average, computer numerical controlled Cutoff, S
Брушење	Grinding [10]

Табела 2. приказује назив производних операција и материјала из Ecoinvent 3.7 Cut-off базе података који су коришћени при LCA елемената модуларног прибора [9].

С обзиром да се брушење не налази у Ecoinvent 3.7 Cut-off бази података, направљен је инвентар за брушење у openLCA софтверу. [10] У табели 3 су представљени улазни и излазни токови материјала и енергије за основну плочу модуларног прибора.

Табела 3. *Инвентар животног циклуса-део табеле*

Назив елемента	Материјал/обрадни процес	Количина	Напомена
Основна плоча	Челик	105000 g	Маса плоче
Основна плоча	Глодање	21890 g	Маса струготине
Основна плоча	Брушење	1020 g	Маса струготине

5. ОЦЕЊИВАЊЕ УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

За LCA анализу модуларног прибора, коришћена је ReCiPe метода LCIA. ReCiPe је једна од популарнијих метода оцењивања утицаја која се користи за квантификацију еколошких ефеката у различитим категоријама утицаја. Категорије утицаја указују на утицај на животну средину по јединици стресора (нпр. по кг коришћеног ресурса или ослобођеној емисији). Стресор се односи на физичке или хемијске факторе који изазвају негативан утицај на животну средину. У табели 4 су представљене категорије утицаја по методи ReCiPe које су узете у разматрање за процену утицаја елемената модуларног прибора на животну средину.

Табела 4. *Категорије утицаја*

Категорија утицаја (српски)	Категорија утицаја (енглески)	Скраћенице
Заузимање пољопривредног земљишта	agricultural land occupation	ALOP
Климатске промене	climate change	GWP100
Потрошња фосилних горива	fossil depletion	FDP
Екотоксичност слатких вода	freshwater ecotoxicity	FETPinf
Еутрофикација слатких вода	freshwater eutrophication	FEP
Токсичност за људе	human toxicity	HTPinf
Јонизујуће зрачење	ionising radiation	IRP_HE
Екотоксичност морских вода	marine ecotoxicity	METPinf
Еутрофикација морских вода	marine eutrophication	MEP
Потрошња метала	metal depletion	MDP
Трансформација природног земљишта	natural land transformation	NLTP
Оштећење озона	ozone depletion	ODPinf
Формирање честица	particulate matter formation	PMFP
Формирање фотохемијских оксиданата	photochemical oxidant formation	POFP
Закишељавање земљишта	terrestrial acidification	TAP100
Екотоксичност земљишта	terrestrial ecotoxicity	TETPinf
Заузимање урбаног простора	urban land occupation	ULOP
Потрошња воде	water depletion	WDP

Постоје два скупа категорија утицаја у оквиру ReCiPe методе: на средњој тачки (midpoint) или на крајњој тачки (endpoint) која су дефинисана стандардом ISO 14040 [11]. Категорије утицаја на средњој тачки се односе на конкретну физичку и хемијску промену у животној средини, док се категорије утицаја на крајњој тачки фокусирају на добробит екосистема и људи. У раду је извршена оцена утицаја на средњој тачки за сваки елемент прибора. График 1. (изражен у процентима за сваку категорију утицаја) приказује оцену утицаја на основној плочи користећи ReCiPe методу.

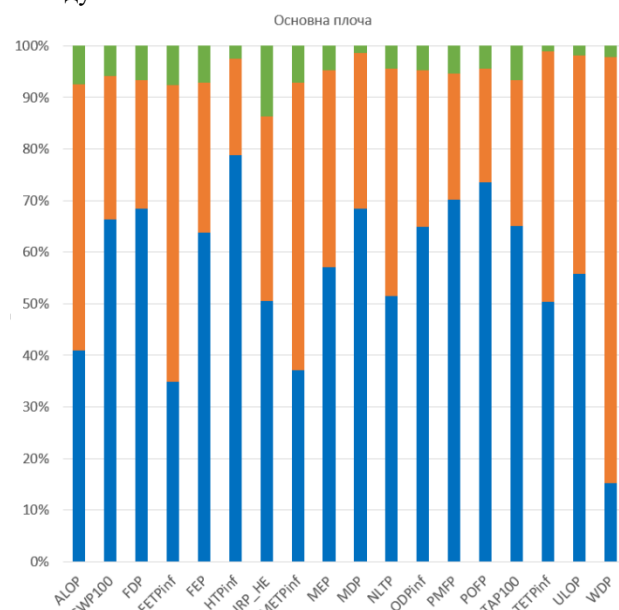


График 1. *Оцењивање утицаја производних операција основне плоче на животну средину*

6. ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА

Оцена утицаја на животну средину елемената модуларног прибора путем графика омогућава визуално идентификовање најкритичније тачке утицаја и усмеравање свих напора на унапређење еколошке одрживости. Графикони могу послужити као смернице за дизајн производног процеса, одабир материјала и примену одрживих пракси у циљу смањења негативног утицаја на животну средину.

На основу графика 1. можемо закључити да су маса елемента и количина отпадног материјала веома важне ставке која утичу на оптерећење животне средине. Приликом разматрања еколошких ефеката, основна плоча се истиче као кључни чинилац због своје велике масе.

С обзиром на то да утицај на животну средину често расте пропорционално са масом материјала, основна плоча има највећи потенцијал за генерисање негативних утицаја на животну средину. Из тог разлога је разматран упоредни утицај основне плоче и свих осталих елемената модуларног прибора на животну средину. На графику 2. је дат процентуални приказ упоредног утицаја основне плоче и осталих елемената модуларног прибора за све категорије утицаја.

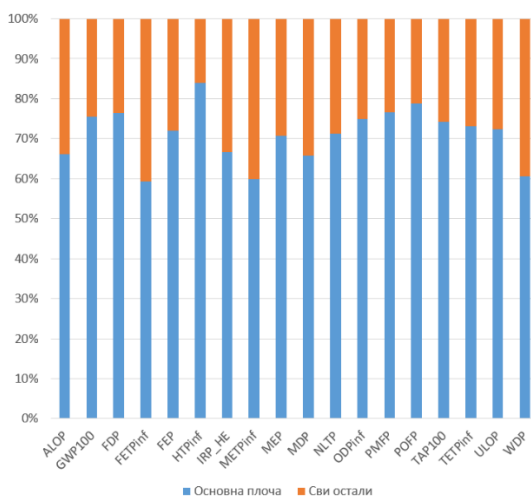


График 2. Утицај производних операција основне плоче на животну средину у поређењу са осталим елементима прибора

Детаљном анализом графика, може се закључити да основна плоча има највећи утицај на животну средину у поређењу са свим осталим елементима модуларног прибора. Из тог разлога, при дизајнирању и производњи модуларног прибора, посебна пажња треба да се посвети утицају основне плоче на животну средину. У циљу смањења негативних еколошких последица, препоручује се разматрање могућности за смањење масе основне плоче или употребу материјала са мањим еколошким оптерећењем. Ово може укључивати истраживање алтернативних материјала или иновативних техника обраде како би се смањило укупан негативан утицај на животну средину.

7. ЗАКЉУЧАК

У раду је детаљно анализирана фаза производње модуларног прибора за обраду поклопца кућишта користећи openLCA софтвер. Користећи openLCA, обављена је целокупна процена еколошких животног циклуса прибора, укључујући набавку материјала, производњу и транспорт. Анализа је извршена коришћењем ReCiPe методе LCIA.

Резултати анализе омогућавају детаљан увид у еколошке аспекте производње модуларног прибора за обраду поклопца кућишта. Највећи утицај има основна плоча, која је најтежи елемент. Из ових резултата се закључује да се при дизајнирању и производњи модуларног прибора мора посебно обратити пажњу на смањење негативног утицаја основне плоче на животну средину. За смањење еколошких последица, препоручује се истраживање могућности смањења масе основне плоче и коришћење еколошки прихватљивијих материјала.

Будућа истраживања могу бити усмерена ка истраживању нових материјала и обрадних техника које можда могу довести до иновативних модуларних прибора са вишом ефикасношћу и мањим негативним утицајем на животну средину.

8. LITERATURA

[1] Prince R., Rajeev A., Jain J. K. : *Life Cycle Assessment in Sustainable Manufacturing: A Review and Further Direction*, Operations Management and Systems Engineering (pp.191-203), 2021.

[2] Vukelic Đ., Agarski B., Budak I., Simunović G., Buchmeister B., Jakovljevic Z., Tadic B.: *Eco-design of fixtures based on life cycle and cost assessment*, International journal of simulation modelling – Vol.18, 2019.

[3] Glumpak I.: *Utjecaj sustava za upravljanje okolišem na životni ciklus proizvoda- diplomski rad*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009.

[4] Hodolić J., Budak I., Hadžistević M., Vukelić Đ., Majernik M., Chovancova J., Pankova-Jurikova J., Čulibrk M.: *Sistemi za upravljanje zaštitom životne sredine*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

[5] Hodolić J., Badida M., Majernik M., Šebo D.: *Mašinstvo u inženjerstvu zaštite životne sredine*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003.

[6] Vukelić Đ., Tadić B.: *Pribori*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2018.

[7] Belošević D. : *LCA analiza staklene boce - završni rad*, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2015.

[8] <https://www.openlca.org/> - 04.07.2023.

[9] <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/#!/content> -04.07.2023.

[10] Murray V. R., Zhao F., Sutherland J. W. : *Life cycle analysis of grinding: a case study of non-cylindrical computer numerical control grinding via a unit-process life cycle inventory approach*, Journal of Engineering Manufacture, Vol. 226, 2012.

[11] ISO 14040: *Управљање заштитом животне средине - Оцењивање животног циклуса - Принципи и оквири*, 2006.

Кратка биографија:



Александар Милошевић рођен је у Прњавору (БиХ) 1998. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Машинско инжењерство одбранио је 2023. год.

контакт:

aleksandar.milosevic@ns.ac.rs



Борис Агарски рођен је у Новом Саду 1980. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2015. год., а од 2021. год. је у звању ванредног професора.

контакт:

agarski@uns.ac.rs



Ђорђе Вукелић рођен је у Новом Саду. Докторирао је на Факултету техничких наука 2010. год., а од 2020. год. је у звању редовног професора.

контакт:

vukelic@uns.ac.rs