

# MFA<sup>1</sup> I LCA<sup>2</sup> KAO ANALITIČKI INSTRUMENTI U OBLASTI ŽIVOTNE SREDINE

*Pregledni naučni rad*  
Hristina STEVANOVIĆ ČARAPINA,  
Nataša ŽUGIĆ-DRAKULIĆ.  
Fakultet zaštite životne sredine,  
Univerzitet Edukons, Sremska Kamenica,  
Anđelka MIHAJLOV,  
Fakultet tehničkih nauka,  
Univerzitet Novi Sad  
Ivana ČARAPINA RADOVANOVIĆ,  
Mašinoprojekt-Beograd

---

*U procesima donošenja odluka po različitim pitanjima od značaja za društvo, kao što je razvoj grada, opštine, regiona, izgradnje naselja i/ili objekata, razvoj i izbor određene industrije, razvoj i upotreba određenog proizvoda potrebno je inkorporirati parametre zaštite životne sredine. Danas su razvijeni brojni analitički instrumenti koji pomažu donosiocima odluka da donesu pravilne i valjane odluke za dobrobit stanovništva uz maksimalnu zaštitu životne sredine. U radu je dat prikaz primene analitičkih alata poznatih kao MFA (Material Flow Analysis – analiza materijalnih tokova) i LCA (Life Cycle Analysis – analiza životnog ciklusa) kao instrumenata za donošenje odluka.*

---

*Ključne reči:* LCA; MFA, opština, region, industrijska ekologija, eko-dizajn, zelena gradnja

## 1. Uvod

*K*LIMATSKE PROMENE I DRUGE PRETNJE PO OPSTANAK živog sveta poslednjih godina su u fokusu interesa i brige javnosti. U cilju sagledavanja tih izazova, razmatranja uticaja na životnu sredinu moraju biti inte-

---

\* hristina.charapina@eco-expert.rs; natasa@educons.edu.rs; anmi@eunet.rs;  
ivana.charapina@gmail.com

1 *Material Flow Analysis* tj. Analiza materijalnih tokova.

2 *Life Cycle Assessment* tj. Analiza životnog ciklusa.

grisana u odluke koje donose poslovni subjekti, pojedinci, javne administracije i donosioci odluka, kao i uspostavljanje politike koja će to postaviti i uvažiti. Da bi se zadovoljili postavljeni zadaci, potrebne su informacije o aspektima stanja i zaštite životne sredine pa su u tom cilju razvijeni različiti setovi instrumenata i indikatora za procenjivanje, (Stevanović Čarapina 2012).

Donošenje odluka, uz uvažavanje potencijalnih posledica po životnu sredinu, važno je na različitim nivoima, počev od strateškog do operativnog, zatim od proizvodnje do potrošnje proizvoda. Vrste odluka u kojima treba uvažiti uticaj životne sredine su u oblasti:

1. strateškog planiranja i kapitalnih infrastrukturnih investicija: izgradnja određene industrije, zelenih zgrada (*green building*), upravljanje otpadom;
2. eko dizajna i razvoja proizvoda;
3. operativnog upravljanja – uvođenje zelenih javnih nabavki..

Takođe, odluke se donose i u oblasti komunikacija i marketinga kroz procese ekooznačavanja, pouzdanih „zelenih“ informacija o proizvodima (Stevanović Čarapina 2012; 2013).

### ***1.1. Analitički instrumenti u životnoj sredini***

U procesima donošenja odluka po određenim pitanjima potrebne su različite vrste informacija o životnoj sredini. Pri tom se misli na iznalaženje odgovora na pitanja kao što su, na pr.:

1. da li izabrati određenu supstancu u procesu izrade proizvoda;
2. kakav proizvod dizajnirati
3. koji proces i tehnološki postupak sprovesti;
4. da li izgraditi određene proizvodne objekte, stambene objekte;
5. kakvu infrastrukturu izabrati;
6. koje opcije upravljanja vodama i otpadom uspostaviti;
7. kakav prostorni razvoj opštine ili grada sprovesti i
8. koju strategiju regionalnog i lokalnog razvoja primeniti.

Podaci i pokazatelji stanja i/ili uslova životne sredine u procesima odlučivanja, zbog svoje različitosti, dobijaju se korišćenjem različitih tzv. analitičkih instrumenata iz oblasti životne sredine. Analitički instrumenti „prevode“ podatke iz životne sredine u naučno potvrđen i lako razumljiv oblik, te na taj način pomažu

Podaci o životnoj sredini koji se prikupljaju odnose se na različite prostorne aspekte: lokalne (određena lokacija, opština), regionalne (veći prostorni zahvat sa nedefinisanim lokacijom) i globalne prostore (generisanje na globalnom nivou). Podaci se, takođe, formiraju i sa različitim vremenskim aspektom: oni koji definišu trenutno stanje ili statičko/dinamički podaci koji obrađuju kontinualne promene.

U prošlosti, razvoj analitičkih instrumenata bazirao se na rešavanju problematike detekcije i karakterizacije stanja životne sredine. To se prvenstveno odnosilo na merenje i monitoring, kao i na analizu i praćenje promena u kontekstu uzroka i posledica tih promena. Danas kada je problematika merenja i monitoringa obrađena visoko razvijenim uređajima, javila se potreba za razvojem nove kategorije analitičkih instrumenata. Od tih novih instrumenata očekuje se da će mnogo više, no što je to bio slučaj do sada, da omogućće uspostavljanje decidnih i jednoznačnih veza između stanja životne sredine i dinamike promena, zatim rane najave zagađenja, predikcije zagađenja, kao i uspostavljanja veza zagađenja i drugih aspekata kao što su na primer, zdravlje populacije ili ekonomski razvoj određene teritorije i opštine. Oblast razvoja analitičkih instrumenata treba shvatiti kao proces, stalno otvoren za nove ili modifikovane analitičke instrumente u oblasti životne sredine (Brunner i Rechberger 2004).

Generalna podela instrumenata koji se koriste u životnoj sredini jeste na analitičke i proceduralne. Osnovna karakteristika analitičkih instrumenata u životnoj sredini jeste da transformišu prikupljene podatke u numeričke vrednosti, to jest na pokazatelje koji definišu stanje i/ili utiču na promene u životnoj sredini. Analitički instrumenti koji se danas najviše koriste u procesima donošenja odluka su:

- Fizički pokazatelji: Procena rizika za životnu sredinu (ERA – *Environmental Risk Assessment*), Analiza životnog ciklusa (LCA – *Life Cycle Assessment*), Analiza materijalnih tokova (MFA – *Material Flow Analysis*), Analiza tokova energije (EA – *Energy Analysis*), Ekološki otisak (*Ecological Footprint*).
- Monetarni pokazatelji: Analiza troškova i koristi (CBA – *Cost Benefit Analysis*), Ukupna analiza troškova (TCA – *Total Cost Analysis*), Troškovi životnog ciklusa (LCC – *Life Cycle Costing*), Analiza ulaz-izlaz (IOA – *Input-Output Analysis*).

Proceduralni instrumenti koji se koriste u životnoj sredini u većini slučajeva služe za evidentiranje pitanja o životnoj sredini. Oni se baziraju na katalogu, za-

pravo na listi pitanja koja se postavljaju kada se obrađuje neki važan problem, plan ili program. Primera radi, proceduralni instrumenti su:

- U kompanijskim sistemima za upravljanje: sistem upravljanja kvalitetom (QMS), upravljanje životnom sredinom (revizioni) sistemi (EMAS, EMS), ekološki audit (procena stanja),
- Dozvole: procena uticaja na životnu sredinu (EIA), ekološka dozvola, dozvola za otpad,
- Ostalo: zelene nabavke, dobrovoljni sporazumi između različitih zainteresovanih strana.

Svi alati za merenje ekoloških performansi obuhvataju naučno ustanovljene modele, odnose i podatke iz mnogih oblasti: hemije, ekonomije, toksikologije, itd.

## ***2. Industrijska ekologija***

Industrijska ekologija je relativno novo, interdisciplinarno polje istraživanja, koje analizira interakciju između industrijskih aktivnosti i prirode. Za sada ne postoji standardna definicija industrijske ekologije, ali bilo kako da se definiše, autori se uglavnom slažu u vezi najmanje tri ključna elementa industrijske ekologije/sagledavanja industrijskog metabolizma:

- To je sistemski, sveobuhvatan, integrisan prikaz svih komponenti industrijske ekonomije i njihovog odnosa sa biosferom.
- Naglašava biofizički supstrat ljudske aktivnosti, tj. složene šeme materijalnih tokova unutar i izvan industrijskih sistema, za razliku od dosadašnjih pristupa koji uglavnom posmatraju ekonomski aspekt u smislu apstraktnih monetarnih tokova ili alternativno energetske tokova.
- Uzima u obzir tehnološku dinamiku, tj. dugoročnu evoluciju (tehnološke trajektorije) klastera tehnološkog razvoja kao ključnih (ali ne isključivih) elemenata za prelaz iz stvarnog, neodrživog industrijskog sistema na održiv industrijski ekosistem. (Mihajlov 2011; Eurostat 2001)

Prvi korak za praktičnu primenu industrijske ekologije je proučavanje industrijskog metabolizma, odnosno sprovođenje studija materijala (materijalnih tokova) i energetske tokova. *Ovaj analitički pristup može pokazati koliko se efikasno materijalni i energetske resursi koriste kroz sve društvene sektore – ekonomske aktivnosti, kroz opštine i regione, a ne samo u okviru industrijske proizvodnje.*

U okviru te oblasti, razvijeno je mnoštvo instrumenata od koji su dva najvažnija Analiza životnog ciklusa (LCA) i Analiza toka materijala (MFA).

Industrijska ekologija zasniva se na analizi toka materijala (MFA). Industrijska aktivnost se posmatra kao organizam u koji se unose sirovine, a izbacuju otpad i emisije. Generalna ideja MFA i drugih srodnih instrumenata jeste da se izmeri veličina industrijskog metabolizma.

### ***3. Analiza toka materijala (MFA)***

Analiza toka materijala (MFA)<sup>3</sup> je analitički metod kvantifikacije tokova i zaliha materijala ili materije u dobro definisanom sistemu. Taj sistem može biti industrijski kompleks, region, opština itd. MFA se sprovodi kroz izradu studije i predstavlja važan instrument za procenu fizičkih posledica ljudskih aktivnosti i potreba u oblasti industrijske ekologije, gde se koristi u različitim prostornim i vremenskim dimenzijama.

MFA je sistematska procena tokova i zaliha materijala unutar sistema definisanog u prostoru i vremenu. Drugim rečima, to je način da se utvrdi, opiše i analizira metabolizam npr. privredne grane, regiona ili materijala. Ideja je povezivanje izvora, tokova, kao i prelazne i završne tačke samog materijala. MFA koristi specifičnu terminologiju koja varira od jednog do drugog autora. U ovom radu se koristi terminologija koju su ponudili Pol H. Bruner (Paul H. Brunner) i Helmut Rehberger (Helmut Rechberger) u svom praktičnom priručniku o analizi protoka materijala (Brunner i Rechberger 2004).

Zbog zakona održanja materije, rezultati MFA mogu da se kontrolišu jednostavnim materijalnim bilansom, pri čemu se porede svi inputi, zalihe i rezultati procesa (Boumana i dr. 1999). Primena metoda sastoji se u izradi MFA studije sa sledećim koracima:

- Sistemska analiza sastoji se od definisanja:
  1. Određivanja svrhe (šta je cilj Studije),
  2. Okvira zahvata Studije: prostorni, vremenski, funkcionalni,
  3. Granica sistema: definisanja početka i kraja tokova.
- Analiza procesnih veza: definisanje procesa kroz obračun i bilansiranje:
  1. Određivanje masenih tokova za definisanje ulaza i izlaza,
  2. Izrada modela.

<sup>3</sup> Takođe se naziva analiza toka supstance (SFA).

- Evaluacija, šematski prikaz i tumačenje rezultata
  - Može uključiti i određene uticaje.

### 3.1. MFA i razvoj „Regionalnog sistema“

„Regionalni sistem“ (*Region*) u ovom kontekstu je definisan podsistemima antroposfere i životne sredine. Mehanizam nastajanja regiona je definisan odnosom podsistema. Metabolizam jednog „Regiona“ može se opisati kroz četiri osnovna procesa koji se nalaze u podsistemu nazvanom antroposfera:

- proces **snabdevanja** koji se sastoji od primarnog sektora, uključujući poljoprivredu;
- proces **proizvodnje**, uključujući industriju, trgovinu i komercijalu;
- proces **potrošnje** uglavnom sastavljen od potrošača, pretežno privatnih domaćinstava;
- proces **upravljanja otpadom** koji obuhvata sve tretmane i otpad proizveden u svim ostalim procesima.

Svaki od navedenih procesa povezan je sa procesima koji se nalaze u drugom podsistemu zvanom životna sredina i obuhvata procese atmosfere, hidrosfere i litosfere. Sva tri procesa zajedno čine „Region“.

Za uspešnu analizu „Regiona“ neophodno je: definisati granice sistema, izvršiti izbor procesa i dobara, odrediti međusobne odnose između izabranih procesa. Sve to vrši se saglasno zahtevima na koje treba da se odgovori. U navedenom kontekstu, postavljanje MFA zavisi od postavljenog cilja, tj. od specifične namene Studije. Time se određuje minimalna količina podataka koji su neophodni za kvantifikovanje sistema.

Glavni ciljevi MFA studija su:

- Definirati „sistem“ materijalnih tokova i zaliha u posmatranom „Regionu“;
- Smanjiti složenost „Regiona“ kroz postavljanje osnove za donošenje novih odluka,
- Proceniti kvantitativno relevantne tokove i zalihe, proveriti masene bilanse, osetljivost i neuobičajenosti,
- Predstaviti rezultate analiza na izvodljiv, razumljiv i transparentan način,
- Koristiti rezultate kao osnove za upravljanje resursima, životnom sredinom i otpadom,
- Pratiti akumulaciju ili trošenje zaliha, kao i budućih ekoloških opterećenja.

Očigledno je da je osnov za MFA prikupljanje podataka. To uključuje najpreterensko istraživanje svakog sektora sistema, potom intervju sa učesnicima svakog procesa i konačno agregacijski rad u cilju dobijanja jednog toka podatka.

### 3.2. *Upotrebe MFA*

Što se tiče analize efikasnosti i upotrebe ekološki prihvatljivih resursa, MFA-se primenjuje u Evropi na sledeći način:

- Podaci o vremenskim serijama uvoza, izvoza i domaćoj eksploataciji različitih supstanci, materijala i dobara pokazuju kako se resursna osnova zemlje koristi/razvija tokom godina.
- Podaci o vremenskim serijama domaće potrošnje materijala po glavi stanovnika pokazuju kako se materijalne potrebe domaće proizvodnje i potrošača menjaju tokom vremena.
- Vremenske serije GDP preko direktnog materijalnog inputa pokazuju kako se produktivnost resursa privrede razvija. Nacionalna MFA na osnovu sektorskog razdvajanja pokazuje kretanje materijala između različitih sektora, nagomilavanje ili iscrpljivanje antropogenih zaliha, uspostavljanje reciklaže ili konačnog uskladištenja materijala, domaću eksploataciju materija kao i uvoz i izvoz materija, kao i emisije u životnu sredinu. Na taj način se pokazuje kako analizirani sistem funkcioniše i omogućava identifikaciju najkritičnijih mesta kao fokalnih tačaka za prioritete akcije.

MFA obezbeđuje podatke o indikatorima pritiska na životnu sredinu, ali se ne bavi uticajima na životnu sredinu.

Primena:

#### I. **Industrijska ekologija**

- Kontrola tokova upotrebe materijala i industrijskih procesa;
- Stvaranje zaokružene/povezane industrijske prakse;
- Dematerijalizaciju industrijske proizvodnje;
- Sistematizaciju načina korišćenja energije;
- Uspostavljanje ravnoteže industrijskih ulaza i izlaza prirodnih kapaciteta ekosistema.

#### II. **Ekološki menadžment i inženjerstvo**

- Uticaj na životnu sredinu;
- Sanacija deponija opasnog otpada;
- Izrada strategija za kontrolu zagađenja vazduha;

- Upravljanje nutrijentima u slivovima vodotokova;
- Planiranje sistema monitoringa zemljišta;
- Upravljanje kanalizacionim muljem.

### III. Upravljanje resursima i otpadom

- Upravljanje resursima: analiza, planiranje i raspodela, eksploatacija i unapređenje resursa;
- MFA se koristi u upravljanju otpadom;
- Modelovanje osnovnog sastava otpada;
- Procena učinka upravljanja materijalima u reciklažnim/postrojenjima za tretman;
- Regionalni materijalni bilansi – Analiza pojedinačnih materijala u sistemu.

### 3.3. MFA metode

Analiza toka materijala (MFA) je familija različitih metoda. Zajednička karakteristika im je fokus na materijalnim tokovima, naročito sa strane analize ulaznih tokova. Različite MFA metode imaju različite fokuse:

- Ukupni materijalni zahtevi (*Total Material Requirement –TMR*);
- Intenzitet materijala po jedinici usluge (*Material Intensity Per Unit Service – MIPS*);
- Analiza toka supstanci (*Substance Flow Analysis – SFA*).

U principu, MFA metode mogu da se koriste i u retrospektivnim i prospektivnim studijama. U praksi su objedinjene MFA metode (TMR i MIPS) obično bile primenjene u retrospektivnim studijama koristeći retrospektivnu metodologiju i podatke. SFA studije su primenjene u retrospektivnim i perspektivnim studijama.

### 3.4. Ograničenja MFA

MFA studije imaju ograničenja: Ona agregira podatke o tokovima na osnovu njihove težine, prvo u kategorije ulaza, izlaza i zaliha, a kasnije u skalarne indikatore. Ukoliko se na bazi prikupljenih informacija razmatraju problemi zaštite životne sredine, pretpostavlja se (barem implicitno) i da su „pokrenute” količine materija u korelaciji sa ekološkim problemima. Ta pretpostavka je veoma diskutabilna, odnosno može biti „sumnjivo“ da indikatori koji su dominirali u velikim masama materijala koje su se kretale unutar i izvan tokova proizvodnje veoma do-



kao „crna kutija“. Pri snimanju tokova ulaza, izlaza i zaliha materijala, tokovi unutar metabolizma su zanemareni (napomena : da biste dobili uvid u tok materijala u okviru jedne privrede grane, sektora neophodno je eksplicitno modelovanje sa unutrašnjim tokovima).

## **4. Analiza životnog ciklusa**

### **4.1. Osnovni okvir**

Analiza životnog ciklusa (LCA) predstavlja ključni analitički instrument podrške strateškom upravljanju životnim ciklusom, pre svega, ali ne i samo proizvoda. Naime, LCA je alat za procenu uticaja proizvoda na životnu sredinu. Pod životnim ciklusom se podrazumeva uzastopno i međusobno povezane faze sistema proizvoda, počev od pribavljanja ili nastajanja sirovine iz prirodnih resursa, te kroz ceo tok korišćenja zaključno sa finalnim odlaganjem proizvoda. Životni ciklus proizvoda obuhvata uopšteno različite aspekte kao što su: eksploatacija resursa, proizvodnja materijala i energije, proizvodnja proizvoda, korišćenje, održavanje i postupanje sa otpadom.

Cilj izrade LCA je donošenje/podržavanje odluka u pogledu kupovine, poboljšanja i dizajna proizvoda. LCA daje rezultate koji se dobijaju na osnovu podataka na različitim nivoima, a to su:

- nivo intervencija: podaci o emisijama i korišćenje/vađenje prirodnih resursa;
- nivo definisanja kategorije uticaja; globalno zagrevanje i toksičnost;
- nivo oštećenja; ljudsko zdravlje i materijalno blagostanje;
- nivo jednog pojedinačnog indikatora.

### **4.2. Metodologija LCA**

Analiza životnog ciklusa (LCA) procenjuje uticaj na životnu sredinu proizvoda, procesa ili sistema u skladu sa njihovom funkcijom. To je uglavnom komparativan alat koji se koristi za procenu pritiska na životnu sredinu proizvoda ili sistema, sa ciljem da se definišu proizvodni koraci proizvodnje koji se mogu optimizovati. SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*) i ISO<sup>4</sup> 14040 definišu četiri faze potrebne za izradu LCA studije:

---

4 International Organization for Standardization (Tehnički standardi )

- I. *Definisanje cilja i obima LCA studije* imajući u vidu na koja pitanja treba da se odgovori i koja je ciljna publika
- Definisanje svrhe LCA studije i funkcionalne jedinice koja je kvantitativna referenca za studiju.
  - Definisanje obima studije obuhvata izradu tokova jediničnih procesa sistema proizvoda koji je predmet studije, uzimajući u obzir prvu procenu njihovih inputa i autputa u životnu sredinu (elementarni tokovi ili opterećenja po životnu sredinu).
  - Definisanje potrebnih podataka koje obuhvata specifikaciju podataka za izradu inventara, kao i za kasniju fazu procene uticaja.
- II. *Faza inventara* sakupljanje podataka iz jediničnih procesa sistema proizvoda i njihovo povezivanje sa funkcionalnom jedinicom definisanom Studijom. U ovoj fazi se:
- Prikupljaju podaci sa specifikacijom svih ulaznih i izlaznih tokova iz procesa.
  - Normalizuje se funkcionalna jedinica i vrši se alokacija.
  - Vrš se evaluacija podatka.
- III. *Određivanje uticaja na životnu sredinu* prema definisanim kategorijama kao što su, na primer, emisije gasova, acidifikacija, toksičnost, uticaj na biodiverzitet, itd. Uticaji na životnu sredinu se procenjuju korišćenjem softvera i primenom sledećih metoda: Ecoindicator 99, Impact 2002 +, CML 2002, Colombian ecopoints PIA ili slične metode.
- IV. *Faza interpretacije rezultata LCA studije* ima za cilj da proceni rezultate iz analize inventara ili procene uticaja i da ih upoređi sa ciljem studije definisane u prvoj fazi. Mogu se razlikovati sledeći koraci:
- Identifikacija najvažnijih rezultata iz „inventara“ i procene uticaja.
  - Evaluacija rezultata studije koja se sastoji od niza sledećih provera: provera kompletnosti, analiza osetljivosti, analiza neusaglašenosti i analiza konzistencije.
  - Zaključci, preporuke i izveštavanje, uključujući definisanje konačnog rezultata ishoda; poređenje sa originalnim ciljem studije, sastavljanje preporuka, postupci za kritičkim analizama i konačno izveštavanje o rezultatima.

### 4.3. *Primena i ograničenje*

Vodeća ideja analize životnog ciklusa jeste da evidentira sve uticaje na životnu sredinu izazvane proizvodom tokom njegovog čitavog životnog ciklusa, počev od ekstrakcije sirovina, preko proizvodnje, faze korišćenja proizvoda i odlaganja na kraju „upotrebnog“ veka (pristup „od koevke do groba“).

Trenutno, LCA se prvenstveno koriste same kompanije, za internu upotrebu,. Koristi se da podrži njihovo donošenje odluka u vezi sa zaštitom životne sredine. Najčešće aplikacije se odnose na:

1. dizajn, istraživanje i razvoj,
2. upoređivanje postojećih proizvoda sa planiranim alternativama i
3. pružanje informacija i edukacije potrošačima i zainteresovanim stranama.

Interpretacija rezultata je moguća u svakoj fazi izrade LCA Studije. Ponekad, analiza uticaja na životnu sredinu može se dopuniti i sa uticajem na društvo i na moguće druge štete po stanovništvo, npr. na zdravlje. U tom poslednjem koraku se zapravo LCA tj. aspekt životne sredine povezuje sa ekonomskim i socijalnim aspektima.

Analiza životnog ciklusa ima nekoliko ograničenja u primeni:

- Izračunati uticaji u okviru faze procene uticaja nisu prostorno i vremenski specifični. Dakle, izračunavaju se potencijalni uticaji na životnu sredinu, a ne stvarni uticaji.
- LCA izračunava uticaj na životnu sredinu po jedinici proizvoda. To podrazumeva da uticaj raste linearno sa količinom proizvedenog proizvoda. Takva računica ignoriše, na primer, da mnogi štetni sastojci imaju definisana ograničenja koja, ukoliko se prekorače, čine ih opasnim, što je nelinearni efekat.
- Kompletna analiza „od koevke do groba“ obično nije izvodljiva za složene proizvode, koji su ponekad sastavljeni od hiljada delova. To otvara problem određivanja odgovarajuće postavljene granice sistema koji se analizira .
- Temeljna LCA je skupa i dugotrajna.
- Postoji implicitna pretpostavka o setu proizvodnih funkciji koja se postavlja tokom analize inventara.

## 5. MFA vs LCA

Iako LCA i MFA studija imaju svoja ograničenja, postoje značajne prednosti koje se mogu dobiti njihovim zajedničkim korišćenjem. Pre svega, moguće je saznati šta se dešava na svakom geografskom nivou, regionalnom i nacionalnom, a to se ne može postići samo primenom LCA. Upotrebom MFA se mogu se analizirati interakcije kroz regionalne granice što je od velikog značaja za izrade regionalne MFA. Takođe je moguće razdvojiti procese koji se dešavaju unutar nacionalnih granica, posebno u pogledu eksploatacije i proizvodnje sirovina i energije.

- MFA je metod pogodan za osnivanje inventara za LCA
- LCA može biti procena uticaja rezultata dobijenih kroz MFA
- LCA teži kompletnosti – uzima u obzir veliki broj supstanci, po principu „što više – to bolje“, dok je MFA usmeren ka smanjenju broja supstanci što je više moguće da bi se održala transparentnost i mogućnost upravljanja takvim sistemom.
- MFA teži transparentnosti i upravljivosti – koristi ograničen broj supstanci.

Današnje LCAstudije su zapravo hibridni modeli, jer ne samo da koriste LCA okvir, već uzimaju u obzir rešenja iz konceptualno vezanih programa. Takvi hibridni modeli mogu biti od velikog značaja budući da omogućavaju da se obrati pažnja na *ad-hoc* probleme u kontekstu pristupa životnom ciklusu.

### 5.1. Da li alati industrijske ekologije utiču na kreiranje politike?

Postoje zalaganja da se MFA uvede kao informacioni alat za kreiranje politike (Boumana i dr. 1999). Takva tendencija zasniva se na pretpostavci da su ekološki problemi u korelaciji sa težinom materijalnih tokova. MFA takođe tretira privredu kao „crnu kutiju“ ne uvažavajući druge aspekte. To podrazumeva da se ništa ne može reći o ekonomskim posledicama određenih zakonskih (regulatornih) intervencija. Kao posledica toga, MFA se može koristiti jedino kao instrument za merenje fizičke veličine ekonomije, ali ne i kao sredstvo za kreiranje politike.

Trenutno, glavna uloga LCA u razvoju politike je u ekološkom označavanju i formulisanju propisa o politici proizvoda i upravljanju otpadom. Međutim, postoje velika očekivanja njenog budućeg značaja u brojnim drugim oblastima (primena na zelene nabavke vlade, eko-menadžment, eko-dizajn, kao i sektor benčmar-kinga). Značaj LCA će se povećati kada ona postane deo standardne procedure

donošenja odluka. U pojedinim zemljama, javni sektor preduzima izradu LCA u procesu razvoja određenih politika, u politici proizvoda i upravljanja otpadom (Velika Britanija i Nemačka); za nabavku ekološki poželjnih proizvoda (SAD); u direktivama za upravljanje otpadom (EU direktiva za otpad) i čistijoj proizvodnji, EU IPPC-*Integrated Pollution Prevention and Control*. Osim toga, LCA je korišćena u sektorskim sporazumima između javnih i industrijskih sektora, poput holandskog *packaging covenant*. U osnovi, vlade bi trebalo da promovišu izradu LCA zbog potencijala poboljšanja životne sredine u procesu izgradnje održivog razvoja. LCA je jedan od retkih alata koji se mogu primeniti u ekonomskim i ekološkim aspektima proizvoda. Upotreba dobro razvijenih LCA okvira će omogućiti vladama da se rešavaju socijalni i ekonomski indikatori održivosti na nivou proizvoda.

Inače, LCA se već koristi u kreiranju politike, uglavnom kao sredstvo za otkrivanje proizvoda sa velikim uticajima na životnu sredinu, odnosno za postavljanje prioriteta u kreiranju politika.

Industrijska ekologija u celini i analiza životnog ciklusa dobijaju sve veći značaj u kreiranju politike. S tim u vezi, ovaj rad upravo nastoji da razjasni ulogu alata industrijske ekologije pri ovom cilju. U praksi, obe metode koriste se u cilju postizanja glavnog cilja za pravilno donošenje odluka.

## 6. Zaključak

Na osnovu procene dva analizirana alata u ovom radu, može se zaključiti sledeće (Bauer 2009; Boumana i dr. 1999; Brunner i Rechberger 2004; Stevanović Čarapina, Jovović i Stepanov 2011; Kirchain 2006):

- Da svaki od alata služi u sopstvene svrhe i stoga ima svoje jake tačke, kao i sopstvena ograničenja.
- Teme su u većini slučajeva komplementarne, pre nego protivrečne. SFA/MFA može da se koristi da proceni da li neke opcije, kao tehničke mere, mogu da reše problem u načelu. LCA može da se koristiti da proceni da li određena tehnička rešenja ne dovode do drugih, takođe ozbiljnih ekoloških problema.
- SFA i LCA modeli obično rukuju mnogo većim sistemima, čak i u teorijskim aplikacijama. SFA uglavnom funkcioniše na makro nivou, koji obuhvata sve privredne sektore utoliko što rukuje uključenim supstancama. LCA je pre svega alat na mikro nivou.

- Oba instrumenta su više fizički i ekonomski modeli, a podlogu za rad dobijaju iz posmatranja mehanizama pre nego iz opisa „realnog sveta“.
- SFA model identifikuje uzročno-posledične mehanizme zasnovane na konzervaciji mase, kao što je stvaranje zaliha, kreirajući i raskidajući veze.
- LCA model identifikuje glavne problematične delove funkcionalnih veza, opcije za poboljšanje veza, kao i „pomeranje“ problema između različitih ekoloških problema.
- Generalne preporuke za primenu ovih instrumenata su:
  - Da se instrumenti ne koriste za potrebe za koje nisu namenjeni.
  - Analiza toka materijala (MFA) je metod analize protoka materijala u dobro definisanom sistemu koji je važan instrument industrijske ekologije i koristi se za bolje razumevanje toka materijala kroz industriju i povezano ekosisteme, izračunavanje indikatora, kao i razvijanje strategije za poboljšanje sistema materijalnog toka. MFA podaci se mogu koristiti za analizu životnog ciklusa (LCA) i analizu materijalnih troškova protoka (MFCA). LCA je alat za procenu uticaja proizvoda na životnu sredinu tokom celokupnog životnog ciklusa (Stevanović Čarapina, Jovović i Štepanov 2011)

## **Literatura:**

- Bauer, D. 2009. "Environmental Policy. A Growing Opportunity for Material Flow Analysis." *Journal of Industrial Ecology* 13 (5): 666–669
- Bouman, Mathijs, Heijungs, Reinout, Van der Voet, Ester, Van den Bergh, Jeroen C. J. M. i Gjal Huppes. 1999. "Material flows and economic models: An analytical comparison of SFA, LCA and equilibrium models", *Ecological Economics* 32 (2000) 195–216
- Brunner, Paul. H. i Rechberger, Helmut. 2004. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Boca Raton/London/New York/ Washington D.C/Florida: Lewis Publishers CRC press.
- Eurostat. 2001. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001, ISBN 92-894-0459-0, European Communities, 2001*
- Kirchain, Randolph. 2006. *Industrial Ecology Systems Perspectives*. Massachusetts Institute of Technology Department of Materials Science & Engineering. preuzeto sa: <http://ocw.mit.edu/courses/engineering-systems-division/esd-123j-systems-perspectives-on-industrial-ecology-spring-2006/lecture-notes/lec14.pdf>
- Mihajlov, Anđelka. 2011. *Osnove analitičkih instrumenata u oblasti životne sredine*. Sremska Kamenica: Univerzitet Educons.
- Stevanović Čarapina, Hristina 2012. "MFA/LCA/Cleaner production", Review, GIZ Project "IMPACT – Waste and waste water management in Serbia". Belgrade. ---. 2013.

“MFA , LCA i čistija proizvodnja kao analitički instrumenti u životnoj sredini“. VIII Regionalna Konferencija EnE, 13, maj 2013, Beograd.

Stevanović Čarapina, H., Jovović, A. i J. Stepanov. 2011. *Ocena životnog ciklusa LCA (Life Cycle Assessment) kao instrumenta u strateškom planiranju upravljanja otpadom.*

Sremska Kamenica: Educons University.

---

***Summary:***

***MFA and LCA as Analytical Instruments in Environmental Protection***

The growing concern for environmental problems in the current economy has spurred the study of the way materials and substances flow through the economy, resulting in many different types of analysis. A diverse set of tools has been developed in Industrial Ecology to tackle the problems caused by human economic activity. These instruments include Life Cycle Assessment (LCA) and Material Flow Analysis (MFA). The aim of this paper is to make a first step in bridging the gap between the various types of analysis of material flows in the economy, by discussing the main differences and similarities of two employed model types: Material (substance) flow analysis and Life cycle assessment. On the basis of evaluation of analyzed tools and implementation in it decision making, it can be concluded that each of the tools serves its own purposes and therefore has its own strong points as well as its own limitations.

---

***Key words:*** LFA; MFA, municipality, region, industrial ecology, green building, eco-design

*Rad prijavljen: 17. 4. 2014.*

*Rad recenziran: 24. 6. 2014.*

*Rad prihvaćen: 4. 8. 2014.*