

# Metodologija ocene ekološkog kvaliteta materijala i konstrukcija

Linda Hildebrand<sup>1\*</sup> i Alexander Hollberg<sup>2</sup>

\* Autor za korespondenciju

1 Arhitektonski fakultet, Tehnički univerzitet Rajne-Vestfalije u Ahenu, e-mail: lhildebrand@rb.arch.rwth-aachen.de

2 Institut za građevinski i infrastrukturni menadžment, ETH Cirihi, e-mail: hollberg@ibi.baug.ethz.ch

APSTRAKT

**S obzirom na to da arhitekti i inženjeri deluju na različitim nivoima, ekološki uticaj koji je generisan u sklopu njihovih profesionalnih aktivnosti se može razvrstati od nivoa materijala, komponente i zgrade do nivoa grada. Fokusirajući se na materijale i komponente, ovo poglavlje uvodi i detaljno analizira strukturu metode ocene životnog ciklusa (en. Life Cycle Assessment – LCA), koja se koristi za kvantifikovanje ekološkog uticaja. Pregled obuhvata: cilj i obuhvat LCA metode, analizu inventara životnog ciklusa (en. Life Cycle Inventory Analysis – LCI), ocenu uticaja životnog ciklusa (en. Life Cycle Impact Assessment – LCIA) i tumačenje rezultata. Potom se diskutuje o obimu LCA podataka i predlažu i opisuju kriterijumi koji su potrebni prilikom rada sa LCA podacima. Na kraju, poglavlje se bavi primenom LCA podataka, naročito u formi „ekološke deklaracije proizvoda“ (en. Environmental Product Declaration – EPD) i LCA baza podataka, i prikazuje relevantne primere, čime se predstavljanje činjenica potrebnih za primenu metodologije ocene životnog ciklusa u različitim projektantskim i inženjerskim okvirima zaokružuje.**

KLJUČNE REČI

ekološka procena, ekološki uticaj, kriterijum za vrednovanje, LCA, materijal

## 1 Uvod

Razvoj pouzdanih metoda za kvantifikovanje ekološkog uticaja je započet tokom 1970-ih godina. Od tog vremena, težnja da se redukuje antropogeni uticaj na prirodu je u političkim diskusijama i marketingu postajala sve relevantnija. Paralelno su kompanije započele reklamiranje proizvoda i procesa kako bi naglasile ekološku prihvatljivost pristupa, ali su sadržaj i količina dostupnih informacija predstavljali pomešane činjenice koje su često nazivane „zeleno pranje“. Tokom 1990-ih, metode za kvantifikovanje ekoloških uticaja su uvedene u građevinski sektor. U to vreme postojao je samo mali broj stručnjaka koji su razumeli metode za izračunavanje ekološkog uticaja i koji su mogli da iz rezultata izvedu smernice.

Iako su se metode za kvantifikovanje ekološkog uticaja usavršavale tokom vremena (Tabela 1.1), njihov osnovni koncept, zasnovan na listama resursa i emisija, korišćenim u analizama faza životnog ciklusa (analize inputa i outputa), opstao je do danas.

SKRAĆENICA	NAZIV	INSTITUT/ORGANIZACIJA	VEB-STRANICA
C2C	Od koevke do koevke (en. Cradle to Cradle)	Braungart i McDonough	<a href="http://www.c2ccertified.org">www.c2ccertified.org</a>
-	Ekološki otisak (en. Ecological Footprint)	Globalna mreža otiska 2009 (en. Global Footprint Network 2009)	<a href="http://www.eea.europa.eu">www.eea.europa.eu</a>
-	Faktor X	Fondacija Kathy Bays u Ahenu (nem. Aachener Stiftung Kathy Beys)	<a href="http://www.umweltbundesamt.de">www.umweltbundesamt.de</a>
MFA	Analiza toka materijala (en. Material Flow Analysis)	Wassily Leontief	-
MIPS	Input materijala po servisu (en. Material Input per Service)	Institut Wuppertal	<a href="http://www.wupperinst.org/en/a/wi/a/s/ad/141/">www.wupperinst.org/en/a/wi/a/s/ad/141/</a>
LCA	Ocena životnog ciklusa (en. Life Cycle Assessment)	Različiti	Razne
PEF	Ekološki otisak proizvoda (en. Product Environmental Footprint)	Životna sredina i održivost Evropske komisije (en. Environment and Sustainability of the European Commission)	<a href="http://www.ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/policy_footprint.htm">www.ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/policy_footprint.htm</a>

TABELA 1.1 Metode za izračunavanje ekološkog uticaja

Tokom poslednje decenije, brojnost i intenzitet upotrebe metoda za kvantifikovanje uticaja u građevinskom sektoru su značajnije povećani (Hollberg, 2016). Tako danas postoje različiti pristupi a među njima je najzastupljeniji i najbolje dokumentovan *metoda ocene životnog ciklusa* (skr. en. *LCA*). LCA izračunava resurse i emisije koji se pripisuju nekom definisanom proizvodu ili servisu.

### 1.1 Razvoj LCA metode

Iako je LCA metoda nastala kao uzak koncept, njeno značenje je tokom vremena značajno usložnjeno. Metoda za sistematsko posmatranje tokova energije i materijala, koju je 1884. godine razvio biolog i ekonomista Geddes, jedan je od prvih dokumentovanih pristupa koji je doveo do onoga što je danas poznato kao „ocena životnog ciklusa“

(Frischknecht, 2006; Geddes, 1884). Imajući na umu da svaka proizvodnja neizbežno podrazumeva i korišćenje energije, polazište ocene bilo kojeg proizvoda je bila i ostala energija.

LCA metodologija je na međunarodnom planu razvijana proteklih 50 godina. Nakon izbijanja krize nafte tokom 1970-ih godina, različite organizacije su započele istraživanje mogućnosti da se unapredi efikasnost generisanja energije i smanji otpad, npr. upoređivanjem životnog ciklusa staklenih flaša naspram konzervi. Među prvim pomenutim istraživanjima u oblasti LCA je bila studija koju je za Koka-Kola kompaniju 1969. godine izradio Srednjepozapadni istraživački institut (en. Midwest Research Institute – MRI), kojom je bilo obuhvaćeno upoređivanje potrošnje resursa za proizvodnju konzervi za piće prema ekološkim emisijama (Guinée et al., 2011; Jensen, Hoffman, Møller, & Schmidt, 1997). Metod za izračunavanje količine energije upotrebljene u proizvodnji konzervi za piće objasnio je autor Boustead, a publikacija *Priručnik za analizu industrijske energije* (en. *Handbook of Industrial Energy Analysis*) (Boustead & Hancock, 1979) omogućila je prihvatanje metodologije kvantifikovanja energije na fizičkoj bazi u drugim disciplinama u Ujedinjenom Kraljevstvu. Nakon što je 1978. godine termin „ocena životnog ciklusa“ skovan od strane Švajcarske državne laboratorije za testiranje i istraživanje materijala (nem. Eidgenössische Materialprüfanstalt) u St. Gallen-u (Kümmel, 2000), usledilo je uvođenje termina „siva energija“, koji se odnosi na brojčano iskazivanje primarne energije upotrebljene za neki proizvod ili servis, kao indikatora ekološkog uticaja (Spreng & Doka, 1995). Period od 1970-1990. pripada *Dekadi konceptualizovanja osnovnih LCA principa*, a period od 1990-2000. *Dekadi standardizacije* (Guinée et al., 2011). Tokom poslednje decenije 20. veka, osnovano je više organizacija za standardizaciju u oblasti LCA. Na osnovu inicijative Nordijskog veća ministara, 1991. godine su formulisane Nordijske smernice za LCA. Publikacije objavljene kao rezultati dve radionice za koordinaciju LCA metodologije, koje je organizovalo Društvo za ekotoksikologiju i hemiju (en. Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC) tokom 1992. – *Smernice za ocenu životnog ciklusa* (en. *Guidelines for Life-Cycle Assessment*) i *Kod prakse* (en. *Code of Practice*) iz 1993. godine (Consoli, F. et al., 1993) – označile su ogroman napredak u harmonizaciji LCA metoda. 1992. godine je objavljena publikacija *Ocena životnog ciklusa proizvoda* (en. *Environmental Life Cycle Assessment of Products*), često poznata i kao *Vodič* (en. *The Guide*) (Heijungs et al., 1992). Kao odgovor na potrebu za standardizacijom, 1997. godine je objavljen prvi standard *ISO 14040: Upravljanje životnom sredinom – Ocena životnog ciklusa – Principi i okvir* (en. *ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*). Razvojni program Ujedinjenih nacija (en. United Nations Development Programme) i SETAC su 2002. zajedno osnovali Inicijativu životnog ciklusa (en. Life Cycle Initiative), uspostavljajući tako mrežnu platformu za uključivanje u način razmišljanja zasnovan na životnom ciklusu (Hildebrand, 2014). Tokom *Dekade elaboriranja* (Guinée et al., 2011), LCA metoda za kvantifikovanje ekoloških uticaja je našla svoju primenu u različitim disciplinama, od industrije generisanja energije do procesne tehnologije.

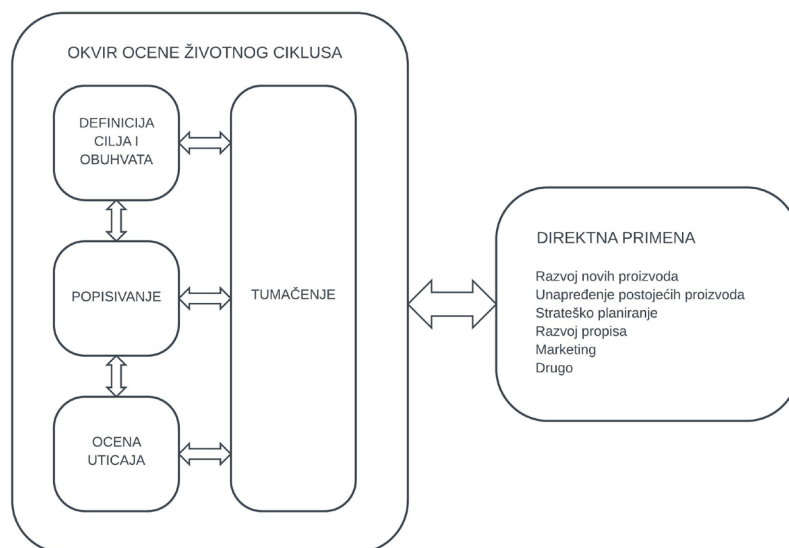
## 2 Struktura LCA

Ocena životnog ciklusa započela je mapiranjem i kvantifikovanjem ekoloških uticaja energetske izvora, pri čemu su podaci u vezi sa vađenjem sirovina i transportom bili zasnovani na informacijama dobijenim iz industrije. Informacije koje se tiču jednog procesa predstavljaju *tok*. Nekoliko tokova formira jedan modul ili proizvod. Nekoliko proizvoda čine sistem. Hijerarhija omogućava dobijanje dovoljno podataka koji će se koristiti u građevinskom sektoru. Po ovoj logici, proizvodi se slažu do nivoa zgrade.

Kao metod za kvantifikovanje uticaja, LCA se može primeniti kod materijala, zgrada i susedstva. Ovaj odeljak opisuje fundamentalne činjenice i specifičnosti LCA metode za materijale i komponente.

Autori Matthews, H. S., Hendrickson i Matthews, D. (2015) obezbedili su jednostavan način za razumevanje postupka uvođenja LCA metode i dali opširan pregled različitih pristupa. Sama procedura je regulisana standardima ISO 14040:2006 i ISO 14044:2006, gde prvi opisuje okvir a drugi pruža detaljnije informacije o primeni LCA (Hildebrand, 2014). U standardu ISO 14040 (2006), LCA je opisana kao „kompilacija i vrednovanje inputa, outputa i potencijalnih ekoloških uticaja sistema proizvoda tokom njegovog životnog ciklusa“. Inputi mogu biti resursi, energija, poluproizvodi i pomoćni materijal. Outputi su obično emisije u vazduh, vodu ili tlo, kao i otpad i nusproizvodi.

Standardi ISO 14040 i ISO 14044 regulišu četiri faze u okviru procedure merenja ekološkog uticaja (Sl. 2.1): a) definisanje cilja i obuhvata, b) analizu inventara životnog ciklusa (en. Life Cycle Inventory Analysis – LCI), c) ocenu uticaja životnog ciklusa (en. Life Cycle Impact Assessment – LCIA) i d) tumačenje. LCA se sastoji od obaveznog (a, b, c) i opcionog (d) dela koji se može prilagođavati specifičnim zahtevima (Hildebrand, 2014).



Sl. 2.1 Struktura LCA prema ISO 14040

## 2.1 Cilj i obuhvat

Precizna definicija i opis cilja i obuhvata predstavljaju početni korak u primeni LCA. Potrebno je utvrđivanje namene upotrebe, kao i motivacije, ciljne publike i konteksta studije (Hildebrand, 2014). Cilj i obuhvat se uspostavljaju u okviru sledećih dimenzija: funkcionalna jedinica, faze životnog ciklusa i granice sistema.

### 2.1.1 Funkcionalna jedinica

Opis objekta evaluacije (proizvoda, servisa ili kompanije), koji se naziva funkcionalnom jedinicom, treba da je precizno utvrđen. Zahtevano utvrđivanje se odnosi na funkcionalni opis koji u detalje obrazlaže ponašanje objekta ekološke evaluacije, korišćenjem serije fizičkih veličina (na primer, deset kvadratnih metara spoljnog zida sa određenom toplotnom otpornošću).

### 2.1.2 Faze životnog ciklusa

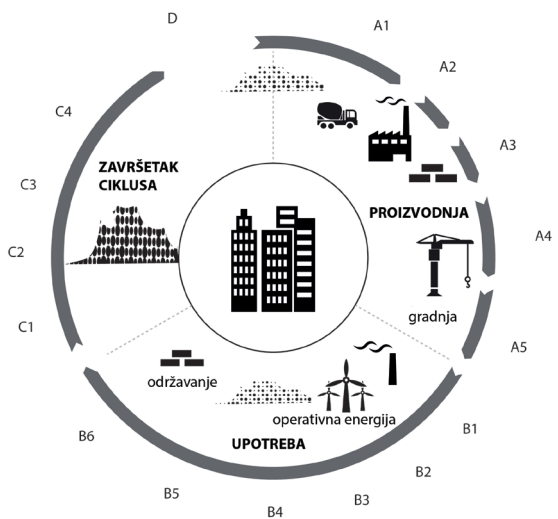
S jedne strane, obuhvat evaluacije je opisan fazama životnog ciklusa. Faze životnog ciklusa proizvoda mogu biti grupisane kao proizvodne, upotrebne i one koje se odnose na završetak životnog ciklusa (Hildebrand, 2014). Kada se porede različiti proizvodi, svi parametri okvira moraju biti poravnati, a pogotovu faze životnog ciklusa.

Ako je cilj da se izvrši vrednovanje samo proizvodnje nekog materijala ili komponente onda se takav obuhvat naziva *od kolenke do kapije* (en. *from cradle to gate*). „Kolevka“ se odnosi na vađenje resursa a „kapija“ na fabriku. Kada je obuhvaćen ceo životni ciklus onda se radi o obuhvatu *od kapije do groba* (en. *from cradle to grave*).

LCA se može baviti razmatranjem faza od kolenke do kapije (proces prema gore), od kapije do kapije (proces proizvodnje), od kapije do groba (proces prema dole), ili može da uključi sve faze od kolenke do groba (Hildebrand, 2014) (Sl. 2.2; Tabela 2.1). Standard BS EN 15804:2012 ove faze definiše detaljnije (DIN, 2012).

Ciklus se primenjuje i kod materijala i kod zgrada. Ciklus građevinskog materijala i ciklus zgrade se naročito razlikuju u pogledu faze upotrebe. Radi poređenja, dok se korišćenje zgrade vezuje za značajnu potrošnju energije, faza upotrebe materijala obuhvata samo energiju potrebnu za njegovo održavanje, zamenu ili popravku.

Najzastupljeniji segmenti LCA materijala su (obavezna) proizvodnja i kraj života. Tekst u nastavku daje pregled najznačajnijih koraka LCA, koji su razvijeni na osnovu standarda BS EN 15804:2012 (DIN, 2012).



A1	Dobijanje sirovina
A2	Transport
A3	Proizvodnja
A4	Transport
A5	Proces građenja/installiranja
B1	Upotreba
B2	Održavanje uključujući transport
B3	Popravka i transport
B4	Zamena uključujući transport
B5	Obnova uključujući transport
B6	Upotreba operativne energije
B7	Upotreba operativne vode
C1	Razgradnja/rušenje
C2	Transport
C3	Obrada otpada
C4	Odlaganje
D	Potencijal za ponovnu upotrebu, oporavak i recikliranje

SL. 2.2 Životni ciklus građevinskih materijala po fazama (Hildebrand, 2014)

TABELA 2.1 Lista faza prema EN 15804

### Proizvodnja (A1-A3)

Život bilo kojeg proizvoda započinje vađenjem resursa. Zatim sledi transport sirovina do postrojenja za proizvodnju, pa proizvodnja. Udaljenost od izvora do fabrike i način transporta zajedno utiču na intenzitet ekološkog uticaja koji transport izaziva. Tokom procesa proizvodnje, korišćenje energije se računa kao glavno ekološko opterećenje, a količine pratećih generisanih emisija preventivno zavise od primarnih izvora energije. Na primer, 1 MJ poreklom iz elektrane koja koristi mrki ugalj oslobađa znatno više emisija od 1 MJ od energije vetra (Hildebrand, 2014).

### Transport i građenje (A4-A5)

Energija i emisije koje se vezuju za transport zavise od udaljenosti između gradilišta i mesta proizvodnje i iznose od 5-8% (Kellenberger & Althaus, 2009). Nedostatak podataka, međutim, uglavnom vodi do isključivanja ovog segmenta iz procene materijala. U fazi građenja, sumiraju se sva ulaganja na gradilištu i između proizvodnih postrojenja. Stoga sakupljanje podataka o ovoj fazi životnog ciklusa zahteva dovoljno detalja.

### Upotreba (B1-B7)

Upotreba građevinskih materijala započinje onda kada je zgrada završena i kada njen operativni sistem počne da obezbeđuje korisne oblike energije. Funkcionisanje zgrade nije ključno kada se radi o materijalima i komponentama, ali jesu tokovi povezani sa njihovim održavanjem, popravkom i zamenom. Građevinski elementi retko zahtevaju snabdevanje energijom u funkciji svojih performansi kao što je to, na primer, slučaj sa jastucima od folije sa stalnim naduvavanjem. Domet ekoloških uticaja u fazi upotrebe u velikoj meri zavisi od konteksta zgrade, njene izloženosti vremenu i ostalim silama, kao i od sadržaja materijala.

### Kraj životnog ciklusa (C1-C4, D)

Kraj života nastupa kada jedinica izgubi svoju funkciju. Pošto se stvarni procesi ne mogu predvideti unapred, scenariji kraja životnog ciklusa se uprošćavaju a to donosi preispitivanje njihove tačnosti. Generički scenariji pokrivaju tokove većine građevinskih materijala. Generički scenariji kraja životnog ciklusa su: procesiranje građevinskog šuta, reciklaža, energetska reciklaža i odlaganje (Hildebrand, 2014).

#### 2.1.3 Granice sistema

Granica sistema koji se podvrgava oceni životnog ciklusa identifikuje uključene i isključene parametre. U dodatku faza životnog ciklusa pomenuti su tokovi koji su uključeni ili izostavljeni iz proračuna.

U ocenu treba uključiti samo značajne procese kako bi se izbalansirala složenost sakupljanja podataka. Značaj se određuje preko procentualnog doprinosa pojedinačnog proizvoda celom sistemu, na osnovu mase, energetske ili ekološke relevantnosti (DIN EN ISO 14044, 2006). U okviru ove kategorije treba dokumentovati procenite i jedinice.

LCA metodologija se može klasifikovati kao komparativna ili opisna. Ocena varijanti i dostavljanje podataka o odlučivanju predstavljaju opseg komparativne LCA metode. S druge strane, opisna LCA metoda analizira distribuciju različitih komponenti ocenjenog proizvoda ili servisa (Hildebrand, 2014).

#### 2.2 Analiza inventara životnog ciklusa (LCI)

Svi relevantni procesi su definisani u okviru analize inventara životnog ciklusa (skr. en. LCI). Ovo je obično najintenzivniji stepen ocene u odnosu na resurse i jedan iterativni proces (Klöpffer & Grahl, 2014). U inventaru su svi tokovi kvantifikovani i kategorisani kao input ili output tokovi. Elementarni tokovi su potrošnja resursa i emisije. Inputi i outputi su grupisani kao: energetske inputi, inputi sirovina, pomoćni inputi, drugi fizički inputi; odnosno, kao proizvodi, koproizvodi i otpad; emisije u vazduh, vodu i tlo; i drugi ekološki aspekti (Hildebrand, 2014).

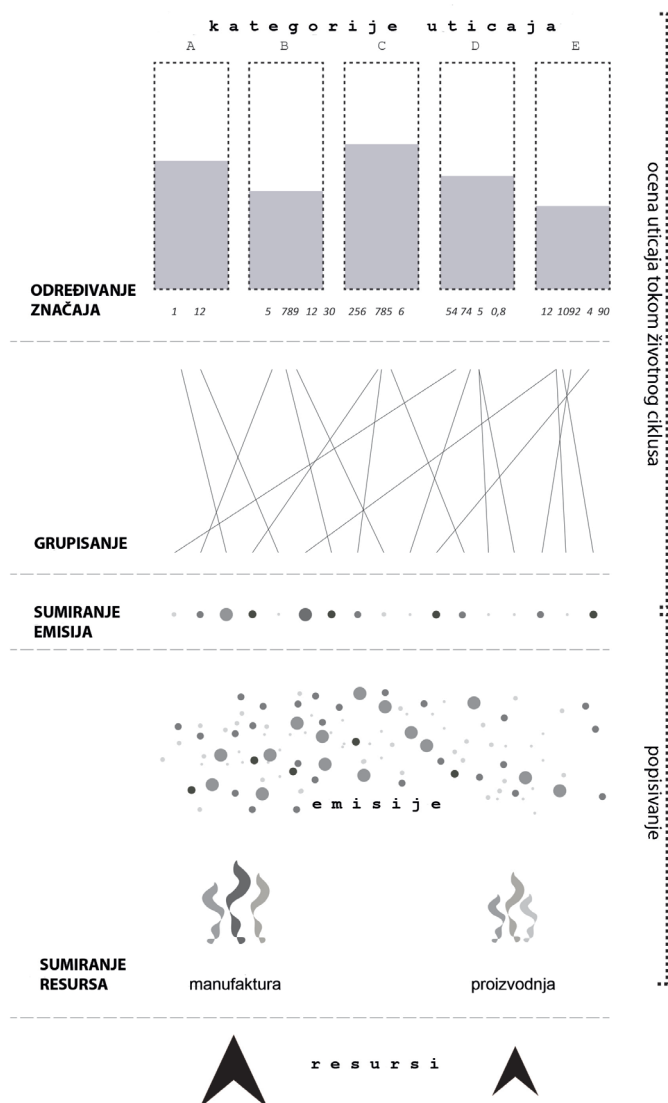
Poseban značaj u procesu sakupljanja podataka je dodeljen vremenu, geografskom poreklu i konzistentnosti podataka. Potvrđivanje u smislu opširnosti i verodostojnosti i odgovarajuće dokumentovanje podataka su obavezni. Prateća analiza osetljivosti, kao deo LCI, omogućava dvostruku proveru i prilagođavanje tamo gde je potrebno.

Većina industrijskih procesa, kao output, ima više od jednog proizvoda. Kada se kod procesa produkta koji se ispituje pojave i koproizvodi, input i output tokovi se onda moraju razdvojiti. Standard ISO 14044 (2006) pomenutu aktivnost definiše kao „podelu input ili output tokova procesa ili sistema proizvoda na onaj sistem proizvoda koji se podvrgava studiji i jedan ili više drugih sistema proizvoda“. Zbog raznovrsnosti

funkcionalnih jedinica, tzv. raspodela postaje složena i zato je treba izbegavati. Podelu na inpute i outpute treba izvršiti prema težini, zapremini ili monetarnoj vrednosti.

### 2.3 Ocena uticaja životnog ciklusa (LCIA)

LCIA predstavlja kvantifikovanje svih input i output tokova koji su povezani sa određenom funkcionalnom jedinicom. Emisije (indikator uticaja) sa različitim stepenima štetnosti se svrstavaju u grupe, prema ekološkom značaju (Sl. 2.3) (Hildebrand, 2014). Rezultati se, na osnovu ekoloških efekata, svrstavaju u kategorije uticaja. LCIA etapa se, prema ISO 14040, deli na tri obavezna koraka: 1) izbor kategorija uticaja, indikatora kategorija i modela karakterizacije, 2) klasifikaciju – dodeljivanje LCI rezultata kategorijama uticaja i 3) karakterizaciju – izračunavanje rezultata indikatora kategorija.



SL. 2.3 Uzajamna nadogradnja LCI i LCIA (Hildebrand, 2014)



### Modeli karakterizacije

U odnosu na emisije koje se mogu pratiti i izračunati, merenje ekološkog uticaja povezanog sa nekim procesom je složenije. Za prevođenje emisija u ekološke poremećaje i procenu štete po prirodu razvijene su različite metode. Ciljevi ekološke zaštite su definisani i sve emisije koje ih ugrožavaju su identifikovane i grupisane prema cilju ili vrsti uticaja. U okviru svake grupe, ekološki značaj emisija je određen na osnovu ekološke štete. Na primer, i ugljen-dioksid i metan doprinose potencijalu globalnog zagrevanja. Ali pošto metan ima jači ekološki uticaj od ugljen-dioksida, za nadomešćivanje razlike koristi se poseban faktor. Kada se pronađe zajednički imenilac, ove dve vrste emisija se mogu izraziti preko iste jedinice (indikatora kategorije, u LCA smislu) (Hildebrand, 2014).

METODA OCENE UTICAJA	INSTITUT/ORGANIZACIJA	DRŽAVA
BEES	Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (Odsek za privredu)	SAD
CML-IA	Univerzitet Leiden CML	Holandija
Eco-indicator 99	PRÉ Consultants bv	Holandija
EDIP 2000/ EDIP 2003	Institut za razvoj proizvoda	Danska
EPS 2000	Švedski institut za istraživanje životne sredine	Švedska
Uticaj 2002+ (en. Impact 2002+)	Centar za nauku o riziku	SAD
Ekološka oskudnost (en. Ecological Scarcity) (metoda UBP)	Öbu/ Federalna kancelarija za životnu sredinu	Švajcarska
ReCiPe	RIVM, CML, PRÉ Consultants, Radboud Univerzitet Nijmegen i CE Delft	Holandija
Traci 2	Agencija za zaštitu životne sredine	SAD
TWIN2010	NIBE/ Fondacija za kvalitet zgrada	Holandija
USEtox	Program životne sredine Ujedinjenih nacija i Društvo za ekotoksikologiju i hemiju	SAD

TABELA 2.2 Međunarodni modeli kategorizacije (Hildebrand, 2014)

U Tabeli 2.2 je dat pregled različitih modela karakterizacije. Svaki od predstavljenih modela sadrži ciljeve zaštite izražene preko kategorija uticaja, indikatora uticaja, liste emisija koje pripadaju kategoriji uticaja i faktora prema kojem ove emisije treba kvantifikovati. Indikatori uticaja se odnose na ciljeve na srednjem ili krajnjem nivou. Na primer, dok se srednji nivo odnosi na potencijal oštećenja ozonskog omotača, krajnji nivo bi se odnosio na doprinos pojavi kancera (za više podataka, videti: Bare, 2002; Finnveden et al., 2009; Guinée et al., 2011; Heijungs et al., 1992; Matthews et al., 2015; Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000).

Većina modela karakterizacije nudi određivanje ekološkog značaja radi normalizovanja, time predstavljajući metod za izračunavanje jednog ili više indikatora. ISO 14040 daje tri opciona koraka: 1) normalizaciju – izračunavanje magnitude rezultata indikatora kategorije u odnosu na referentnu vrednost, 2) grupisanje – sortiranje i rangiranje kategorija uticaja i 3) dodeljivanje ekološkog značaja – multiplikovanje rezultata indikatora.

Radi normalizacije, rezultati indikatora su podeljeni sa izabranom referentnom vrednošću, na primer, rezultati potencijala globalnog zagrevanja su podeljeni sa celim godišnjim potencijalom globalnog zagrevanja na nivou Evrope. Cilj je da se odredi koji indikator više doprinosi sveobuhvatnom području problema (Lützkendorf, 2009).

Grupisanje definiše hijerarhiju kategorija na osnovu izbora u pogledu vrednosti (Klöpper & Grahl, 2014). Određivanje značaja akumulira različite indikatore u one holističke kako bi se obezbedila jasnoća i izbegle kontradiktornosti (Crawford, 2011). Ovaj složeni proces je u istraživačkoj sferi opširno diskutovan. Wegener Sleeswijk, van Oersc, Guinée, Struijsd i Huijbregtsb (2007) opisuju ograničenja kod spajanja različitih faktora u jedinstvenu vrednost i daju pregled primenjenih metoda za normalizaciju. U građevinskom sektoru, ova aktivnost retko nalazi primenu zbog ograničene mogućnosti praćenja. Sertifikati zelenih zgrada pokušavaju da na zahtev odgovore prikazivanjem mnoštva indikatora i njihovim pretvaranjem u jedinstvenu ocenu.

### Indikatori

Karakterizacija je, kako je objašnjeno, organizovana preko kategorija uticaja. One se računaju kao indikatori koji kvantifikuju ekološki uticaj. Najčešće korišćeni indikatori su prikazani u nastavku.

*Ugrađena ili siva energija* opisuje količinu energije iskorišćene za proizvodnju, održavanje i rušenje ili razgradnju zgrade. Za razliku od operativne energije, ovaj tip nije vidljiv iz jednog računa već mora biti izračunat iz različitih koraka procesa. Primarna energija (PE) se sastoji od primarne energije iz neobnovljivih i iz obnovljivih izvora. S obzirom da primarna energija iz neobnovljivih resursa ima veći štetni uticaj na prirodu, ovaj indikator nalazi širu primenu. Neobnovljiva primarna energija (en. skr. PE (nr)) potiče od fosilnih i nuklearnih energetskih izvora. Obnovljiva primarna energija (skr. en. PE(r)) sadrži energiju generisanu od vetra, vode, solarnog zračenja i biomase. PE se obično iskazuje mega džulima (MJ) a ređe kilovat časovima (kWh) (Hildebrand, 2014).

Ugrađena energija nije definisana standardima. U literaturi se mogu naći primeri gde EE iskazuje druge emitujuće parametre. U modelu Eco-Devis, na primer, 2 g rastvora se računa za 1 MJ primarne energije (Pestalozzi, 2014). Ova mešavina parametara dovodi do neuporedivih indikatora. Kako bi se izbegle ovakve komplikacije, Kasser (2003) je razvio a Frischknecht (2006) elaborirao *kumulativni zahtev za energijom* (en. *cumulated energy demand* – CED). CED definiše energetske kategorije i isključuje druge faktore. Regulisan je VDI standardom 4600 (2012): *Kumulativni zahtev za energijom – uslovi, definicije, metode proračuna* (VDI, 2012). CED uključuje potrošnju primarne energije za proizvodnju (CEDH), upotrebu (CEDN) i fazu kraja životnog ciklusa (CEDE) proizvoda ili servisa, slično kao kod EN 15804. VDI 4600 (2012) pravi razliku između primarne energije iz neobnovljivih (KNAR) i obnovljivih (KAR) energetskih izvora. Obe vrste su obuhvaćene CED indikatorom (Hildebrand, 2014).

Osim ugrađene energije, *ugrađene emisije* predstavljaju često upotrebljavani set indikatora za kvantifikovanje ekološkog uticaja proizvoda ili servisa. U ovu grupu se svrstavaju:

- Potencijal globalnog zagrevanja (en. Global Warming Potential – GWP100);
- Potencijal oštećivanja ozonskog omotača (en. Ozone Depletion Potential – ODP);
- Potencijal acidifikacije (en. Acidification Potential – AP);
- Potencijal eutrofikacije (en. Eutrophication Potential – EP);
- Potencijal stvaranja fotohemijskog ozona (en. Photochemical Ozone Creation Potential – POCP) i
- Potencijal abiotskog trošenja resursa materijala (en. Abiotic resource depletion potential (material) – ADP element) i fosilne energije (en. Abiotic resource depletion potential (ADP energy) (fossil)).

Povećanje gasova sa efektom staklene bašte u atmosferi izaziva povećanje temperature i dalje utiče na polove i ubrzava topljenje njihovog leda, što rezultuje podizanjem nivoa mora. Globalno zagrevanje provocira promenu klime i intenzivira pojavu ekstremnih vremenskih događaja. Kao rezultat razvoja svesti o ovim međuzavisnostima uveden je indikator *potencijal globalnog zagrevanja* (en. *Global Warming Potential – GWP 100*) koji se danas najčešće koristi. Budući da je najzastupljeniji gas sa efektom staklene bašte, ugljen-dioksid se koristi kao referenca za ovu kategoriju uticaja (CO<sub>2</sub>-ekvivalent). Druge emisije koje doprinose efektu staklene bašte su faktorisane kako je ranije objašnjeno.

*Potencijal oštećivanja ozonskog omotača* (en. *Ozone Depletion Potential – ODP*). Usled oštećivanja zaštitnog sloja ozona, ultraljubičasto zračenje prodire kroz filter, pospešuje globalno zagrevanje i potencijalno nanosi štetu ljudskom zdravlju i biljnom i životinjskom svetu. U prošlosti je oštećivanju ozona najviše doprinosa hlorofluorokarbonat (CFC) koji je često bio korišćen kao rashladni agens. Sa naredbama o zabrani CFC/halona (OzonAction Programme, 2000), oštećivanje je značajno smanjeno ali su prethodno generisani efekti ostali. Kao ekvivalent u okviru ove kategorije uticaja koristi se trihlorofluorometan (R11).

Konverzija emisija nekih štetnih supstanci kojima se redukuje pH vrednost (kao što su sumpor-dioksid i azotni oksidi) može da isprovocira pojavu kiselih kiša koje zatim vrše uticaj na vodu i zemljište i izazivaju izumiranje šuma. *Potencijal acidifikacije* (en. *Acidification Potential – AP*) je indikovano preko sumpor-dioksid ekvivalenta (SO<sub>2</sub> ekvivalent).

Eutrofikacija predstavlja rast algi na površini vode kao odgovor vodenih ekosistema na povećano prisustvo đubriva. Novoformirani pokrivač blokira prolaz Sunčevom zračenju u dublje slojeve, smanjuje fotosintezu i redukuje nivo kiseonika. Posledično, ribe i biljke gube bazu postojanja i izumiru. Potencijal eutrofikacije (en. *Eutrophication Potential – EP*) se iskazuje preko ekvivalenta fosfata (PO<sub>4</sub>- ekvivalent).

Visoka koncentracija ozona je toksična za ljude i može dovesti od poteškoća sa disanjem, a takođe se smatra potencijalno odgovornom za štete nanete drugim živim bićima. Visoka koncentracija ozona u

troposferi se javlja pri visokim letnjim temperaturama u kombinaciji sa niskom vlažnošću i odsustvom kretanja vazduha. Tipičan primer pojave fotohemijskog ozona u toku kasnog leta je u zatvorenoj zoni puta sa velikim opterećenjem od saobraćaja. Fotohemijski ozon se razvija u komplikovanom hemijskim procesu, kada se CO<sub>2</sub> i SO<sub>4</sub> emituju sa velikim intenzitetom. Potencijal stvaranja fotohemijskog ozona (en. *Photochemical Ozone Creation Potential* – POCP) se meri u eten ekvivalentima (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekvivalent).

*Potencijal abiotskog trošenja resursa materijala i fosilnih goriva* (en. *Abiotic Resource Depletion Potential (material)* – ADPe; *Abiotic Resource Depletion Potential (fossil energy)* – ADPf). Abiotsko trošenje se odnosi na vađenje minerala i fosilnih goriva. Ono razmatra količinu globalnih rezervi koje se mogu ekonomski eksploatisati. Godišnja ekstrakcija se deli sa rezervama na kvadrat. Stoga, količina abiotskih resursa za neki proces u odnosu na globalnu količinu definiše potencijal abiotskog trošenja resursa (Hildebrand, 2014). Autori Oers, Koning, Guinée i Huppes (2002, str. 29) ukazuju da je „abiotsko trošenje resursa smanjenje dostupnosti funkcija resursa, kako u životnoj sredini, tako i u ekonomiji“. Rezultat ADPe je u vezi sa referentnim elementom antimonom (Sb). Aktuelni značaj datog resursa se identifikuje uključivanjem godišnje stope ekstrakcije (JRC, n.d.). ADPf se računa po istom principu, s tom razlikom da je umesto mase materijala iskorišćena niža vrednost zagrevanja fosilnih goriva, pa je jedinica mega džul (MJ).

## 2.4 Interpretacija

Tumačenje nakon LCI ili LCIA ima za cilj identifikovanje značajnih dostignutih rezultata u skladu sa stavkama definisanim u okviru etape „cilj i obuhvat“. Prema ISO 14044 (2006), značajni rezultati mogu biti „podaci iz inventara – kao što su energija, emisije, pražnjenja, otpad; kategorije uticaja – kao što su korišćenje resursa i promena klime; i značajni doprinosi faza životnog ciklusa LCI ili LCIA rezultatima – kao što su jedinični procesi ili grupe procesa poput transporta i proizvodnje energije“. Putem kontrole kompatibilnosti sa ciljevima i obuhvatom, tumačenjem se verifikuje ispunjavanje zahteva.

## 3 Opseg LCA podataka: kriterijumi za vrednovanje

Skaliranje određuje potencijal uticaja na ekološki kvalitet planiranog objekta. Za materijale i komponente ono se kreće od malog do velikog nivoa. Zgrade i urbani nivo ili nivo susedstva su sačinjeni od manjih jedinica.

Na urbanom nivou snabdevanje energijom i mobilnost su relevantna svojstva koja preliminarno definišu ekološki uticaj. Povećanje udela obnovljive energije kod novih naselja i njihova integracija u mreže (npr. pametna mreža ili pametan grad) umanjuju potražnju za (neobnovljivom) energijom a stoga i emisije, u poređenju sa

konvencionalnim snabdevanjem. Odluka o lociranju novog naselja će uticati na potražnju energije za transport. U ruralnim područjima javni transport je neophodan; zgušnjavanje može da uključi opcije za javni transport. Odluke su slične i na nivou zgrada. Ograničenja lokacije i njeni potencijali oblikuju mogućnosti snabdevanja energijom, vrsta mobilnosti, pasivnih svojstava poput orijentacije i izolacije, kao i aktivnih energetske sistema, a sve to utiče na ekološki kvalitet.

Građevinski materijal je najmanji modul u sistemu zgrade. U tom smislu, ekološka analiza na nivou materijala pruža generičko razumevanje uticaja koje tkivo zgrade ima na okruženje. Motivaciju za računanje ili merenje ekološkog uticaja servisa ili proizvoda podupire potreba da se donese odgovorna odluka. Zato je, ne samo na nivou materijala, potrebno imati više opcija koje se mogu vrednovati jedna naspram druge. Kao što je objašnjeno u odeljku *Cilji obuhvat*, ove opcije se u LCA terminologiji nazivaju „funkcionalne jedinice”. Najzastupljeniji scenario korišćenja LCA podataka na nivou materijala je upoređivanje dva ili više različitih proizvoda sa jednakim funkcionalnim karakteristikama.

Rastući broj standardizovanih LCA informacija je uticao na poboljšanje komunikacijemeđuzainteresovanimstranama(kompanijama, planerima i klijentima). Dostupne LCA informacije za građevinske materijale kreću se od baza podataka do ekoloških deklaracija o proizvodima, tj. od koncizne do veoma detaljne prezentacije. Kategorije za iskazivanje LCA rezultata treba da su razumljive i praktične u isto vreme. Kako bi se povećala čitljivost, Hildebrand (2014) je preporučila sledeće kriterijume na koje treba obratiti pažnju pri radu sa LCA podacima:

- Cilj evaluacije;
- Izvor podataka;
- Generički i specifični LCA podaci i njihova validnost;
- Granice sistema;
- Referentna jedinica;
- Faze životnog ciklusa;
- Razmatrani vremenski raspon;
- Indikator.

### **Šta su cilj i svrha evaluacije?**

Ako se vrednuje samo jedan objekat, svrha evaluacije bi mogla biti predstavljanje ekološkog uticaja funkcije, proizvoda ili servisa. Verovatnije, cilj evaluacije je poređenje različitih proizvoda ili servisa. I vrednovanje (gde su uključena najmanje dva objekta) i cilj LCA (gde je uključen jedan objekat) se odnose na kvantifikovanje, tj. definisanje ekološke dimenzije korišćenjem brojeva. Na osnovu poređenja, evaluacija najčešće ima za cilj da pronade rešenje sa najmanjim ekološkim uticajem. Evaluacija se produbljuje identifikovanjem detaljnih (istraživačkih) pitanja. Drugi mogući ciljevi evaluacije bi mogli da budu poređenje generičkih i specifičnih podataka ili varijacija koje se tiču promenljive trajnosti (Hildebrand, 2014).

### **Izvor podataka: odakle dolaze podaci i da li su oni potpuni?**

Na prvom mestu, potrebno je omogućiti praćenje i dostupnost izvora svih podataka, što znači da dokumenti o poreklu podataka treba da budu pristupačni. Sve uključene kategorije uticaja moraju biti objašnjene i faze životnog ciklusa prikazane. Uključivanje informacija o prethodnim lancima u relevantnim slučajevima takođe može biti od koristi.

Konzistentnost predstavlja ključ izbora podataka. Izabrani podaci treba da su u skladu sa obimom i ciljem ocene i da se kao takvi dokumentuju. Kada se koristi više nego jedna baza podataka, treba osigurati njihovo pripadanje istom okviru. Pregled dokumenata od treće strane je poželjniji od informacija o proizvodima dobijenih od proizvođača.

### **Generički i specifični LCA podaci: da li su informacije zasnovane na prosečnoj vrednosti ili specifičnom proizvodu?**

Generički podaci se dobijaju izračunavanjem prosečnih vrednosti na osnovu različitih objavljenih izvora. Za određene proizvode generičke informacije su jedine dostupne jer proizvodnja nije uključila LCA. Specifični podaci povezani sa određenim proizvodom su poželjniji od generičkih. Specifikacija dodatno utiče na validnost podataka. Prema standardu EN 15978 (CEN, 2011) generički podaci ne treba da su stariji od 10 godina, jer je ovo period za koji je predviđeno da se opšta proizvodna linija neće značajno izmeniti, kao i da bilo koja manja izmena neće uticati na prosečne vrednosti u značajnoj meri. S druge strane, specifični podaci treba da su izvedeni tokom prethodnih pet godina jer se bilo koja promena kod proizvodnog procesa potencijalno odslikava preko ekološkog uticaja.

### **Granice sistema: koji granični uslovi su uključeni?**

Kao što je rečeno ranije, granice sistema definišu informacije od značaja za ocenu. Ovde je relevantan pristup recikliranju koji se predstavlja prikazivanjem faza životnog ciklusa.

### **Referentna jedinica: koja jedinica predstavlja bazu za upoređivanje?**

Referentna jedinica za građevinski materijal vezuje se za masu (1 kg), zapreminu (1 m<sup>3</sup>) ili površinu (1 m<sup>2</sup>). Ove jedinice su primenljive i kod opšteg upoređivanja i kod uprošćenog pristupa. Tipično pitanje kojim se ovo ilustruje bi bilo: koji materijal ima veću količinu ugrađenih gasova sa efektom staklene bašte – čelik ili aluminijum?

Dok poređenje materijala predstavlja polaznu tačku, uključivanje funkcionalnosti povećava informativnu vrednost. Uključivanje kapaciteta nosivosti, troškova ili karakteristika transmisije toplote ukazuje na složeniji cilj evaluacije.

### **Koje faze životnog ciklusa su uključene?**

Faze životnog ciklusa koje su uključene u LCA zasnovane su na opisu iz standarda EN 15804. Na nivou materijala, faza proizvodnje i, delimično, faze kraja životnog ciklusa su najzastupljenije. U zavisnosti od životnog raspona mogu se dodati i ciklusi zamene. Energija koja se koristi za funkcionisanje zgrade je obuhvaćena nivoom zgrade.

### Razmatrani vremenski raspon: za koje vreme je obezbeđena funkcija?

Vremenska dimenzija je u ekološkom vrednovanju iskorišćena na tri različita načina. Za opisivanje scenarija i izražavanje očekivanog broja godina trajanja funkcije koriste se termini *životni raspon* i *trajanje*. Životni raspon se može odnositi na neki određeni aspekt ponašanja, npr. tehnički, gde je definisano vreme tokom kojeg objekat funkcioniše kao što je to na početku i predviđeno. *Životni vek* opisuje period postojanja objekta. Kako bi se opisale emisije koje doprinose određenom efektu, koristi se termin *vremenski raspon*. On je definisan po indikatoru kategorije u koju je efekat neke emisije svrstan. Na primer, uticaj CO<sub>2</sub> na atmosferu se ocenjuje za period od sto godina i veruje se da ga je u toku ovog vremenskog raspona moguće trasirati (Hildebrand, 2014). Životni raspon materijala je različit, a kombinacije i veze utiču na cikluse razmene.

### Indikator

Indikatori se biraju u okviru LCA cilja i obuhvata. Najčešće su to potencijal globalnog zagrevanja i primarna energija (neobnovljiva).

## 4 Primena LCA podataka

U građevinskoj industriji, dostupni su generički i oni LCA podaci koji se odnose na određeni proizvod. Javna dostupnost podataka omogućava pregled alternativa zasnovanih na činjenicama i, istovremeno, izbegavanje usvajanja informacija koje su nepouzdanе. Drugi način za obezbeđivanje dostupnosti LCA podataka postiže se sertifikatima koji svedoče o oceni datoj od treće strane; to su tzv. *ekološke deklaracije o proizvodima* (en. skr. EPDs).

Onlajn portali omogućavaju sakupljanje informacija o građevinskim materijalima preko *baza podataka*. Svaka baza podrazumeva određene uslove ocene. Među poznatijim bazama su Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.org>), Popis ugljenika i energije (en. Inventory of Carbon and Energy) (<http://opus.bath.ac.uk/12382/>), Ökobau.dat (<http://www.oekobaudat.de/en.html>) i Wecobis (<https://www.wecobis.de>, na nemačkom jeziku).

Svrha ekološke deklaracije o proizvodu je da „predstavi kvantifikovane ekološke podatke o životnom ciklusu kako bi se omogućilo upoređivanje onih proizvoda koji imaju istu funkciju“ (Belavicqua, Ciarapica, & Giacchetta, 2012, str. 349). Svi proizvodi koji se podvrgavaju poređenju treba da su ocenjeni pod istim okolnostima. *Pravila kategorija proizvoda* (en. *Product Category Rules – PCR*) su tako razvijena s ciljem da regulišu parametre kao što su faze životnog ciklusa, uključeni i isključeni procesi ili proizvodi dodeljeni svakoj kategoriji. Dok se ISO 14025 (2006) stara o definisanju PCR strukture, sadržaj ispunjavaju instituti koji, u saradnji sa partnerima iz industrije, izdaju sertifikate. Uvođenje PCR u suštini pomaže da se obavi objektivno upoređivanje i time pospeši prihvatanje LCA podataka.



Među ostalima, švajcarski Environdec i nemački Istitut za građenje i životnu sredinu su do sada izdali sertifikate u više od 20 kategorija u okviru građevinskog sektora (IBU, n.d). Obično je kompanija ta koja započinje saradnju, obraćajući se institutu zahtevom za EPD. Ako su dostupna pravila kategorije proizvoda konsultantsko LCA preduzeće može da sprovede proračune. U suprotnom, pravila kategorije proizvoda će biti razvijena. Prema ISO 14025, spoljni ekspert će biti pozvan da verifikuje podatke u skladu sa standardom ISO 14040 i pravilima kategorije proizvoda.

EDP zasnovana na standardu ISO 14025 doprinosi integrisanju pristupa životnog ciklusa sa svakodnevnom praksom i pouzdanoj i jasnoj prezentaciji ekoloških informacija. Uvođenjem ekoloških deklaracija o proizvodu i dostupnošću baza podataka postavljen je kamen temeljac za korišćenje LCA podataka u građevinskom sektoru. Kako bi se dostigli najviši standardi, neki sistemi sertifikacije zgrada, poput LEED-a i DGNB-a, danas zahtevaju ocenu životnog ciklusa.

#### 4.1 Vrednovanje i poređenje materijala

Primena ekoloških informacija više nije rezerisana samo za LCA stručnjake jer su baze slobodno dostupne. Pa, ipak, za arhitekte i inženjere koji se bave održivošću fundamentalno razumevanje LCA je i dalje neophodno. U tom smislu, čini se prikladnim davanje pregleda LCA podataka o materijalima.

Hildebrand (2014) je sproveda vrednovanje svih pet osnovnih tipova materijala: minerala, drveta, metala, sintetičkih i izolacionih materijala, grupisanih prema ekološkom uticaju.

Analizirano je ukupno osamdeset materijala iz baze sa otvorenim pristupom *Ökobau.dat*, sa aspekata primarne neobnovljive energije (ugrađena energija, skr. en. EE) i potencijala globalnog zagrevanja (skr. en. GWP) pri proizvodnji jednog kilograma materijala. Da bi se uporedio ekološki kvalitet na nivou materijala i vrednosti primarne energije koja je u njih ugrađena, jedan kilogram je izolovan iz svog funkcionalnog konteksta. Rezultati istraživanja su predstavljani u nastavku.

Vrednost ugrađene energije (EE) se kreće od 0 do 200 MJ za 1 kg, odnosno od 0 do 900,000 MJ za 1 m<sup>3</sup>, kod svih grupa materijala. Mineralni materijali imaju vrednost od 0.5-9 MJ po kilogramu, osim stakla čija je vrednost prosečno 18 MJ/kg. Agregati imaju najnižu vrednost i ona iznosi 0.5 MJ (gipsni kamen). Maksimalne vrednosti ugrađene energije nađene su kod prirodnog kamena. Kod proizvoda na cementnoj bazi vrednost EE raste sa procentom čelične armature. Ovo takođe važi za rastuće vrednosti kod cementnog klinkera, pa šljaka iz visokih peći, agregatni cement ili drugi reciklirani sadržaj mogu biti od koristi pri smanjenju uticaja.

Proizvodi na bazi drveta imaju ugrađenu energiju u opsegu od 5-21 MJ/kg. Vrednost primarne obnovljive energije je još veća, od 8-53 MJ/kg, zbog toga što ovi materijali tokom rasta skladište a onda otpuštaju



CO<sub>2</sub> pri sagorevanju ili raspadanju. Što je vreme skladištenja ugljenika u kontekstu zgrada duže, to će se kasnije on ponašati kao gas sa efektom staklene bašte. Ugrađivanje drvenih proizvoda u strukturu zgrade, u poređenju sa prirodnim raspadanjem, pomaže da se period skladištenja produži a ovo odlaže trenutak oslobađanja (Walz, Taverna, & Stöckli, 2010) i, dodatno, smanjuje korišćenje fosilnih izvora za građevinske materijale.

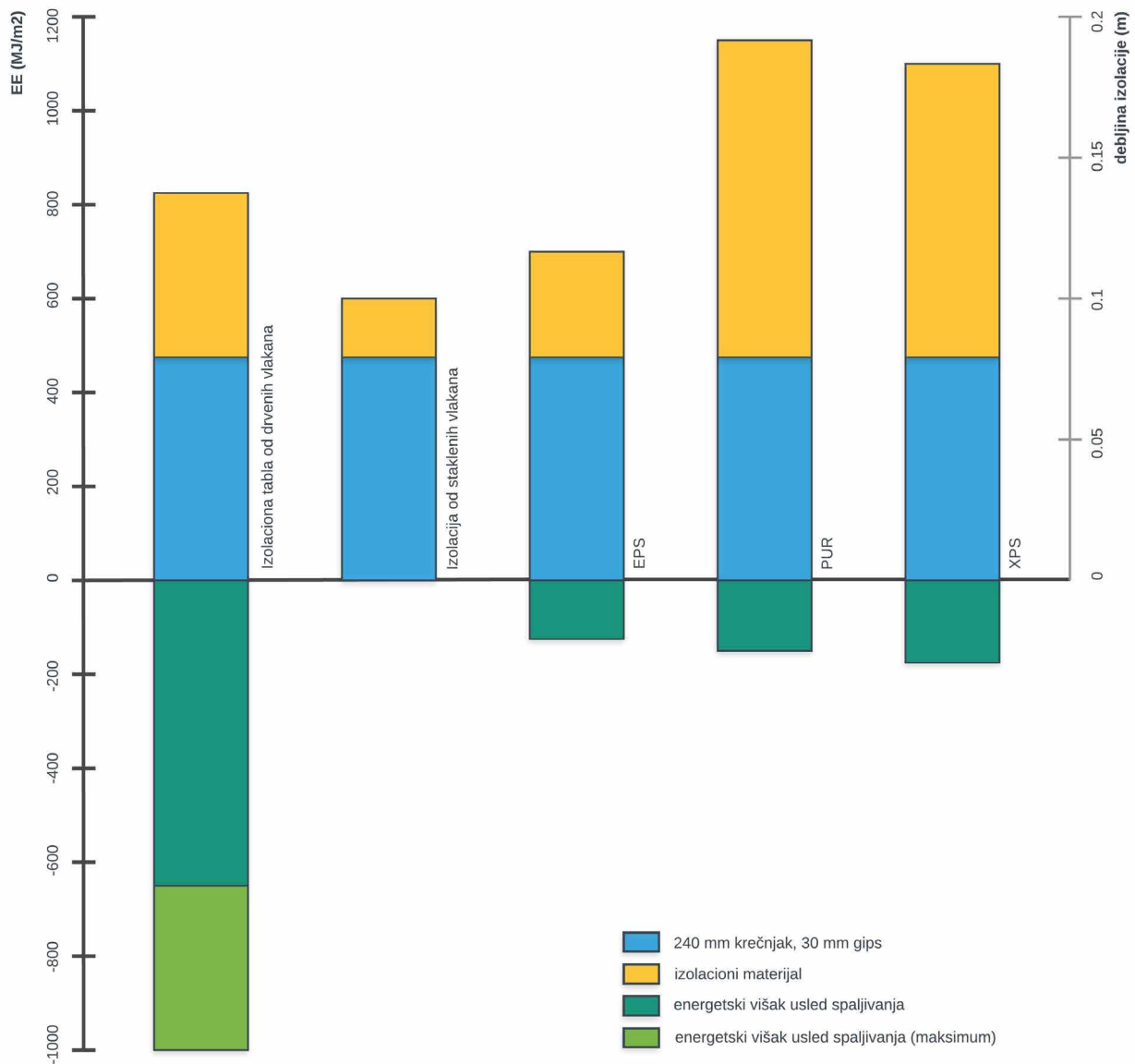
EE metala varira od 14 MJ/kg za bakar (bronzu) do 149 MJ/kg za aluminijumski lim. Kod proizvoda od čelika, EE varira od 20-30 MJ; samo nerđajući čelik ima veću vrednost i ona iznosi 61 MJ/kg. EE aluminijuma je najveća i kreće se od 130-150 MJ/kg. U poređenju sa drugim vrstama materijala, međutim, metal ima najveći potencijal za recikliranje. Čak do 80% EE može biti sačuvano ako se umesto novoproducenog koristi reciklirani aluminijum.

Vrednost EE kod sintetičkih materijala je u rasponu od 30-150 MJ/kg. Najmanju vrednost ugrađene energije ima linoleum. S druge strane, materijali koji su transparentniji imaju najveću vrednost ugrađene energije. Dobijeni rezultati se mogu uporediti sa onima za novoproduceni aluminijum. Osnovni razlog visokog nivoa ugrađene energije je priroda proizvodnog lanca (od sirovine do gotovog proizvoda) koji se sastoji od mnoštva koraka. Što se tiče recikliranja, čistoća materijala u velikoj meri određuje postizanje željenog nivoa kvaliteta, u poređenju sa materijalima proizvedenim po prvi put.

#### 4.2 Funkcionalna jedinica u kontekstu zgrade

Ekološke vrednosti koje su uvedene u prethodnim odeljcima imaju kao cilj omogućavanje sveobuhvatnog razumevanja vrednovanja zasnovanog na poređenju LCA rezultata prema masi. Kako bilo, razmatranje materijala ove vrste je izolovano od konteksta zgrade jer ne uključuje funkcionalnost. Materijali mogu da imaju različite svrhe; objektivno poređenje među njima je moguće samo kada su smešteni u funkcionalni kontekst.

Kada je funkcionalna jedinica definisana, LCA je koristi kao bazu za poređenje višestrukih rešenja. Funkcija jedinice je idealno opisana brojem. Pošto se izolovane funkcije opisuju na jednostavniji način, preporučuje se LCA evaluacija na nivou materijala ili komponenti. Za izolacione materijale, na primer, funkcija može biti definisana na osnovu svojstva provodljivosti toplote (Sl. 4.1).



SL. 4.1 Poređenje različitih izolacionih materijala (0,2 W/m²K, 240 mm krečnjak, 30 mm gips) (Hildebrand, 2014)

Primena LCA se može demonstrirati na primeru gde je zadatak da se odredi izolacioni materijal sa najmanjim ekološkim opterećenjem. Funkcija koja treba da se osposobi je toplotni otpor od 0,2 W/m²K. U tu svrhu, zidu od krečnjaka je dodato pet različitih tipova izolacionog materijala koji su zatim upoređeni prema vrednostima ugrađene energije (skr. en. EE) i potencijalu globalnog zagrevanja (skr. en. GWP). Kako bi se ispunio funkcionalni zahtev i zadržao isti nivo toplotnog otpora upoređenih materijala, debljina sloja izolacije varira od 155 mm kod vlaknaste izolacije do 145 mm kod ekspaniranog polistirena (EPS). EE varira od 134-190 MJ/m². Iako su tanji, sintetički izolacioni materijali zahtevaju više energije pri proizvodnji. Kada se uključi scenario kraja životnog ciklusa, intenzitet postaje dodatno naglašen (Hildebrand, 2014).

Iako kalorijska vrednost sintetičkih materijala dovodi do poboljšanih performansi u vezi sa ugrađenom energijom, opsežna mogućnost

rušenja po delovima predstavlja preduslov ovog scenarija kraja životnog ciklusa. Ista međuzavisnost postoji i kod izolacije sa drvenim vlaknima. Da bi se scenario kraja životnog ciklusa skicirao, povezanost materijala, stoga i potencijal za ponovnu upotrebu i reciklažu, definišu se na nivou objekta koji se gradi. Kada se usaglase tip konstrukcije i pojednostavljeni scenario kraja životnog ciklusa, LCA postaje metod za uzajamno poređenje različitih rešenja i za kvantifikovanje ekološke dimenzije svakog pojedinačnog rešenja.

## 5 **Diskusija i zaključak**

### 5.1 **Potencijali i ograničenja LCA**

Svrha ovog rada je da stimuliše svest o ekološkom uticaju građevinskih materijala i da pruži pregled metode koja procesu projektantskog odlučivanja pruža podršku.

Progresivna primena LCA podataka u građevinskom sektoru je podržana dostupnošću različitih tipova sertifikata na osnovu pregleda od trećih strana (skr. en. EPDs), koje zatim kompanije koriste kako bi reklamirale svoje proizvode. Rastuća evaluacija proizvoda, naročito u zapadnoj Evropi, dovodi do veće dostupnosti podataka, kao i skladištenja i ažuriranja rezultata u bazama podataka. U Nemačkoj, Velikoj Britaniji i Holandiji, LCA je često dostupna besplatno.

Dok je pozitivni marketinški aspekt u nekim zemljama unapredio situaciju u pogledu podataka, njihova primena kao baze odlučivanja se ne može precizno dokumentovati zbog dobrovoljne prirode. U skladu sa ekološkom relevantnošću materijala, koja će rasti sa redukcijom potrošnje (neobnovljive) operative energije, LCA podatke treba inkorporirati u građevinske dozvole. Da bi se ovo dogodilo, treba poboljšati uslove na političkom nivou i uključiti ne samo prikazivanje već i referentne vrednosti ugrađene energije i emisija. U postojećim zelenim sertifikatima mogu se naći razni pristupi za referentne vrednosti. Na primer, švajcarski model propisuje svakom stanovniku jednu tonu ugljen-dioksida godišnje, na osnovu granica planete. Ovakvi modeli su potrebni kako bi se klimatski ciljevi sproveli u praksi, kako je dogovoreno Pariskim sporazumom.

Iterativni proces razvoja rešenja, ocene operative i ugrađene energije kao i emisija i poređenje rezultata za više alternativa mogu se uprostiti i ubrzati korišćenjem različitih alata. U tom smislu, broj alata koji LCA podatke integrišu i nude kao osnovu odlučivanja u fazi planiranja je u porastu, kao i broj alata sa otvorenim pristupom za poređenje više opcija na nivou komponente ili zgrade.

Rad sa LCA podacima kao bazom odlučivanja zahteva, naročito u ranoj projektantskoj fazi, definisanje pretpostavki u pogledu zapremine i izbora proizvoda. Međutim, studije su pokazale da neizvesnosti u

pogledu ovih pretpostavki ne utiču značajnije na rezultate. Relevantnost LCA informacija raste zajedno sa nivoom obrade detalja.

Izbor koji se tiče scenarija kraja životnog ciklusa se smatra veoma neizvesnim, zbog vremenskog raspona od planiranja do rušenja, odnosno ekonomskih, tehničkih i pravnih promena, kao i promena u korisničkim zahtevima koje mogu nastati za vreme od 50-100 godina. U svim slučajevima, odlučivanje o scenariju kraja životnog ciklusa mora biti sprovedeno na način da obezbedi zaštitu materijalne vrednosti.

Izazovi smanjenja ekološkog uticaja građevinskih materijala se mogu sumirati kao:

- Sakupljanje dovoljnih nacionalnih podataka, kao preduslov;
- Razvoj pravne osnove uz definisanje referentnih vrednosti;
- Pristup alatima koji podržavaju integraciju na nivou materijala i zgrada;
- Adresiranje neizvesnosti kako bi se definisao opseg;
- Uključivanje scenarija kraja životnog ciklusa pri građenju.

## 5.2 Izgledi

Opšti trend uvećanja složenosti podataka u kontekstu zgrada ukazuje na potrebu da se unaprede sistemi upravljanja podacima koji potpomažu proces donošenja odluka u različitim fazama: projektovanju – preko izbora najboljih materijala i konstrukcija; upotrebe – preko obezbeđivanja podataka o ciklusima zamene; i fazi kraja životnog ciklusa – preko informisanja o izabranom scenariju ponovne upotrebe i reciklaže.

Jedan od najvećih izazova u oblasti je tranzicija između životnih ciklusa. Potencijal za reintegraciju materijala i proizvoda radi daljeg korišćenja na nivou komponente (kroz ponovnu upotrebu) ili na nivou recikliranja treba pospešiti u različitim aspektima. U praktičnom smislu, treba razrešiti pravna pitanja i decentralizovati obezbeđivanje sekundarnih resursa. Pre svega, potrebno je da planeri i klijenti pokažu spremnost da koriste proizvode sa prepoznatljivim tragovima prethodne upotrebe i/ili proizvode koji suštinski doprinose održivosti a ne samo na osnovu vidljivih znakova.

U kontekstu LCA, potrebne su metode koje odlikavaju vrednost materijala nakon njegove prve upotrebe. Ekološke koristi ponovne upotrebe i reciklaže, ili pripreme za ponovnu upotrebu ili reciklažu, treba kvantifikovati. Samo tada se može pronaći razumno rešenje i svrha LCA, koja podrazumeva podršku projektantskim opcijama sa najboljim ekološkim ponašanjem, može biti ispunjena.

## Literatura

- Bare, J. C. (2002). *Developing a consistent decision-making framework by using the U.S. EPA's TRACI*. Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory, US Environmental Protection Agency. Preuzeto sa [https://clu-in.org/conf/tio/lcia\\_092309/AICHE2002paper.pdf](https://clu-in.org/conf/tio/lcia_092309/AICHE2002paper.pdf)
- Belavicqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2012). *Design for environment as a tool for the development of a sustainable supply chain*. London: Springer-Verlag.
- Boustead, I. (1996). LCA- How it came about. The beginning in the UK. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(3), 147-150. <https://doi.org/10.1007/BF02978943>
- Boustead, I. and Hancock, G.F. (1979). *Handbook of industrial energy analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- CEN – European Committee for Standardization. (2011). EN 15978. *Sustainability of construction works -Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*.
- Consoli, F. et al. (Eds.). (1993). *Guidelines for life-cycle assessment: A 'Code of Practice' from the workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March - 3 April 1993, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*. Pensacola, FL: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- Crawford, R. H. (2011). *Life cycle assessment in the built environment*. Abingdon, UK: Routledge.
- DIN – Deutsches Institut für Normung. (2012). *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012*. (Vol. 15804:2012). Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91 (1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Frischknecht, R. (2006). *Umweltverträgliche Technologien: Analyse und Beurteilung. Teil 2: Ökobilanzen*. Zürich: ETH. Preuzeto sa <http://esu-services.ch/fileadmin/download/frischknecht-2006-skript-LCA.pdf>
- Geddes, P. (1884). An analysis of the principles of economics. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Vol. XII, 943-980.
- Guinée, J., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T. & Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: Past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 90-96. DOI: 10.1021/es101316v
- Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Steeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., Duin, R. van, & Goede, H.P. de. (1992). *Environmental life cycle assessment of products. Guide and backgrounds (Part 1)*. Leiden: CML. Preuzeto sa <https://openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/8061>
- Hildebrand, L. (2014). *Strategic investment of embodied energy during the architectural planning process*. Doctoral Dissertation. Rotterdam: Delft University of Technology.
- Hollberg, A. (2016). *Parametric life cycle assessment*. Doctoral Dissertation. Weimar: Bauhaus Universität Weimar.
- IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V. (n.d.). Veröffentlichte EPDs. Preuzeto sa <http://bau-umwelt.de/hp346/Impressum.htm>
- ISO – International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14044:2006 – Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines*; (German and English version EN ISO 14044:2006 [Vol. DIN EN ISO 14044:2006]).
- JRC – Joint Research Centre of the European Commission. (n.d.). LCA Resources Directory. Preuzeto sa <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/>
- Jensen, A. A., Hoffman, L., Møller, B. T. & Schmidt, A. (1998). Life cycle assessment – A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Report No 6. European Environment Agency. Preuzeto sa <https://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C>
- Kellenberger, D. & Althaus, H-J. (2009). Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, 44(4), 818–825. <https://doi.org/10.1016/j.build-env.2008.06.002>
- Klöpffer, W. & Grahl, B. (2014). *Life cycle assessment (LCA) - A Guide to best practice*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Kümmel, J. (2000). *Ökobilanzierung von Baustoffen am Beispiel des Recyclings von Konstruktionsleichtbeton*. Doctoral Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Lützkendorf, T. (2009). Nachhaltige Gebäude – beschreiben, beurteilen, bewerten: die Situation in Deutschland. In: *Nachhaltig Bauen und Bewerten: vom Energie- zum Nachhaltigkeitsausweis; Tagungsband; Kongress, Messezentrum Wien, 19-20. Februar 2009*. Hrsg.: B. Bauer (str. 27-36). Wien: IBO.
- Matthews, H. S., Hendrickson, C. T. & Matthews, D. (2015). *Life cycle assessment: Quantitative approach for decisions that matter*. Preuzeto sa <http://www.lcatextbook.com>
- Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. (2000). *The Eco-Indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Manual for Designers. Preuzeto sa [https://www.pre-sustainability.com/download/EI99\\_Manual.pdf](https://www.pre-sustainability.com/download/EI99_Manual.pdf)
- Nordic Council of Ministers. (1992). *Product life cycle assessment - principles and methodology*. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

- Oers, L. v., Koning, A. d., Guinée, J.B. & Huppes, G. (2002). *Abiotic resource depletion in LCA*. Road and Hydraulic Engineering Institute. Preuzeto sa <http://media.leidenuniv.nl/legacy/report%20abiotic%20resource%20depletion.pdf>
- OzonAction Programme. (2000). *Regulations to control ozone depleting substances: A guidebook*. UNEP/Earthprint.
- Pestalozzi, C. (Ed.). (2014). *Eco-devis. Wichtigste Ergebnisse in Kürze*. Zürich: Geschäftsstelle eco-bau. Preuzeto sa <http://www.crb.ch/crbOnline/CRB-Standards/Anwendungshilfen/eco-devis.html>
- Spreng, D. & Doka, G. (1995). *Graue Energie – Energiebilanzen von Energysystemen*. Zürich: Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2012). *Kumulierter Energieaufwand (KEA) Begriffe, Berechnungsmethoden – VDI 4600*. Berlin: Beuth Verlag.
- Walz, A., Taverna, R. & Stöckli, V. (2010). Holz nutzen ist wirksamer als Vorräte anhäufen. *Wald und Holz*, 4/10, 37-40.
- Wegener Sleeswijka, A., van Oers, L. F. C. M., Guinée, J., Struijs, J. & Huijbregts, M. A. J. (2007). Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. *Science of The Total Environment*, 390 (1), 227-240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.040>