

Principi kružnog gospodarstva u sektoru građevinskog otpada za čišću i konkurentniju Hrvatsku

Barišić, Klara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:736119>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-29**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Klara Barišić

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Irena Žmak

Student:

Klara Barišić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici dr. sc. Ireni Žmak, dipl. ing. na mentoriranju i entuzijazmu oko izbora teme, majci Emiliji Barišić, dipl. ing. građ. na prijedlogu teme te savjetima iz struke i gospođi Suzani Hozmec, dipl. ing. građ. iz Beton Lučko d.o.o. na ustupljenim materijalima i spremnosti na suradnju. Na posljetku, zahvaljujem sama sebi na uloženom trudu i volji.

Klara Barišić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-14/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **KLARA BARIŠIĆ**

Mat. br.: 0035206131

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Principi kružnog gospodarstva u sektoru građevinskog otpada za čišću i konkurentniju Hrvatsku**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Principles of circular economy in the construction and demolition waste for a cleaner and more competitive Croatia**


Opis zadatka:

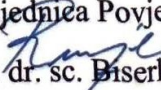
Kružno gospodarstvo preduvjet je za postizanje klimatske neutralnosti Europske unije do 2050. Cilj usmjeravanja na kružno gospodarstvo je smanjivanje potrošnje prirodnih resursa, održiv rast i otvaranje radnih mjesta. U ožujku 2020. Europska komisija donijela je novi Akcijski plan za kružno gospodarstvo (CEAP), koji je temelj za novi europski program održivog rasta, tzv. Europski zeleni plan. Akcijskim planom predviđeno je unaprjeđenje proizvoda tijekom cijelog životnog ciklusa, na način da se razvijaju proizvodi i postupci kružnog gospodarstva, potiče održiva potrošnja, nastoji spriječiti nastanak otpada i zadržavanje upotrijebljenih resursa unutar gospodarstva Europske unije što je dulje moguće. Prosječno na razini Europske unije građevinski otpad (C&DW) čini više od 30 % otpada. Kako bi se postigao obvezujući cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova od najmanje 55 % do 2030. u usporedbi s razinama iz 1990. (tzv. zakonodavni paket "Fit for 55"), ove je godine provedeno javno savjetovanje o prijedlogu revizije Direktive o energetske svojstvu zgrada (EPBD). Cilj revizije Direktive je ubrzati napore u okviru tzv. Vala obnove. Europska komisija je krajem 2020. objavila Strategiju za val obnove, kako bi u sljedećih deset godina barem udvostručila stopu obnove zgrada i time poboljšala energetske učinkovitost zgrada. U okviru diplomskog rada potrebno je proučiti relevantne strategije, zakone i norme koji su povezani s održivim razvojem u građevinskom sektoru. Potrebno je proučiti primjenu norme HRN ISO 21930:2009 „Održivost pri gradnji zgrada -- Izjava o utjecaju građevnih proizvoda na okoliš usmjerena“ u razvoju unificiranih deklaracija proizvoda u građevinarstvu o njihovom utjecaju na okoliš (EPD) i primijeniti je na odabran proizvod iz građevinskog sektora. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
29. rujna 2022.

Rok predaje rada:
1. prosinca 2022.

Predviđeni datum obrane:
12. prosinca do 16. prosinca 2022.

Zadatak zadao: 
prof. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS KRATICA	V
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD	1
2. STRATEGIJE, ZAKONI I NORME POVEZANI S ODRŽIVIM RAZVOJEM UNUTAR EUROPSKE UNIJE	3
2.1. Uvod	3
2.2. Europski zeleni plan	4
2.3. Europski zakon o klimi, 2021.	5
2.3.1. Fit for 55	5
3. ODRŽIVI RAZVOJ U GRAĐEVINSKOM SEKTORU EUROPSKE UNIJE	7
3.1. Uvod	7
3.2. Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada (engl. <i>Energy Performance of Buildings Directive</i> (EPBD))	7
3.3. Val obnove (engl. <i>Renovation wave</i>)	7
4. PROCJENA ŽIVOTNOG CIKLUSA PROIZVODA	11
4.1. Općenito	11
4.1.1. Karakteristike	12
4.1.2. Metodologija	12
4.1.2.1. Definiranje cilja i opsega	13
4.1.2.2. Analiza inventara životnog ciklusa (Life cycle inventory analysis –LCI)	13
4.1.2.3. Procjena utjecaja životnog ciklusa (Life cycle impact assessment – LCIA)	15
4.1.2.3.1. Odabir kategorija utjecaja, pokazatelja kategorija i karakterizacijskih modela	16
4.1.2.4. Interpretacija životnog ciklusa	17
4.2. Softver GaBi	18
4.2.1. Općenito	18
4.2.2. Sustav	18
4.2.3. Baze podataka	18
4.2.4. Princip rada	18
5. ULOGA PROCJENE ŽIVOTNOG CIKLUSA PROIZVODA U STRATEGIJI ODRŽIVOSTI NA RAZINI EUROPSKE UNIJE	21
5.1. Uvod	21
5.2. Metoda mjerenja ekološkog otiska proizvoda (pef-metoda)	22
5.2.1. Općenito	22

5.2.2.	Koraci u metodi	23
5.2.2.1.	Definiranje ciljeva.....	23
5.2.2.2.	Definiranje opsega	23
5.2.2.2.1.	Funkcionalna jedinica i referentni protok	24
5.2.2.2.2.	Granice sustava	24
5.2.2.3.	Inventar životnog ciklusa	24
5.2.2.4.	Procjena ekološkog otiska.....	25
5.2.2.5.	Tumačenje rezultata ekološkog otiska proizvoda	26
5.2.2.6.	Izvešća o ekološkom otisku	26
5.2.2.7.	Verifikacija i validacija.....	27
5.2.3.	Pravila o kategorijama ekološkog otiska proizvoda (PEFCR).....	28
6.	IZJAVA O UTJECAJU PROIZVODA NA OKOLIŠ (EPD)	29
6.1.	Uvod	29
6.2.	Norma HRN ISO 21930:2009, „Održivost pri gradnji zgrada – Izjava o okolišu za građevne proizvode”	29
6.3.	Norma HRN EN 15804:2019/Ispr.1:2021 – Izjava zaštite okoliša – Osnovna pravila za kategorizaciju građevnih proizvoda.....	30
7.	PROVOĐENJE LCA ANALIZE NA PROIZVODU I IZRADA EPD-A	33
7.1.	Uvod	33
7.2.	Procjena životnog vijeka opločnika	33
7.2.1.	Cilj analize životnog vijeka opločnika	33
7.2.2.	Opseg analize	34
7.2.2.1.	Opis proizvoda	34
7.2.2.2.	Funkcionalna jedinica opločnika.....	36
7.2.2.3.	Granice sustava	36
7.2.2.4.	Inventar životnog ciklusa	37
7.2.2.5.	Metodologija procjene utjecaja životnog ciklusa	37
7.2.2.6.	Inventar životnog ciklusa (LCI)	39
7.2.2.7.	Transport.....	42
7.2.3.	Modeliranje sustava u GaBi softveru.....	42
7.2.3.1.	Primjer modeliranja procesa	46
7.2.4.	Procjena utjecaja životnog vijeka	48
7.2.4.1.	Klimatske promjene	48
7.2.4.2.	Osiromašivanje ozona	48
7.2.4.3.	Acidifikacija.....	49
7.2.4.4.	Eutrofikacija.....	49
7.2.4.5.	Fotokemijski smog	49
7.2.4.6.	Osiromašivanje abiotskih resursa.....	50
7.2.4.7.	Uporaba vode.....	50
7.2.4.8.	Interpretacija rezultata LCIA	52
8.	ZAKLJUČAK	60
	LITERATURA	62
	PRILOZI	67

POPIS SLIKA

Slika 1. Europski zeleni plan [8]	4
Slika 2. Pojednostavljeni grafički prikaz izrade inventara [20]	14
Slika 3. Shematski prikaz procjene utjecaja životnog ciklusa [22]	15
Slika 4. Primjer odabira kategorije utjecaja, pokazatelja kategorije i karakterizacijskog modela [8].....	16
Slika 5. Početni zaslon softvera GaBi	19
Slika 6. Dovršen plan analiziranog proizvoda	20
Slika 7. Rezultati analize životnog ciklusa.....	20
Slika 8. Vremenski pregled događaja bitnih za promicanje LCA politike u EU [28].....	21
Slika 9. Primjer analiziranog proizvoda [35]	34
Slika 10. Primjer završnih obrada opločnika [35].....	34
Slika 11. Dijagram proizvodnje opločnika.....	35
Slika 12. Moduli životnog vijeka proizvoda [32]	37
Slika 13. Model životnog ciklusa opločnika s modulima A1-A3 i C	45
Slika 14. Plan proizvodnje sivog cementa	46
Slika 15. Postavke procesa proizvodnje sivog cementa.....	47
Slika 16. Postavke procesa proizvodnje dizela	47
Slika 17. Rezultati analize: klimatske promjene, GWP	53
Slika 18. Rezultati analize: uporaba vode, WDP	53
Slika 19. Rezultati analize: acidifikacija, AP	54
Slika 20. Rezultati analize: eutrofikacija slatkih voda, EP-slatkovodni	54
Slika 21. Rezultati analize: eutrofikacija mora, EP-morski	55
Slika 22. Rezultati analize: eutrofikacija kopna EP-kopneni.....	55
Slika 23. Rezultati analize: osiromašivanje ozona, ODP	56
Slika 24. Rezultati analize: potencijal stvaranja fotokeijskog ozona, POCP	56
Slika 25. Rezultati analize: osiromašivanje abiotskih resursa (fosilna goriva), ADP-fosil	57
Slika 26. Rezultati analize: osiromašivanje abiotskih resursa (minerali i metali), ADP-min.&met.....	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Omjer veličina s funkcionalnom jedinicom proizvoda	36
Tablica 2. Obavezne kategorije utjecaja prema HRN EN 15804:2019.....	38
Tablica 3. Podaci od proizvođača	39
Tablica 4. Podaci o proizvodnji cementa	40
Tablica 5. Podaci o EoL	42
Tablica 6. Podaci o transportu.....	42
Tablica 7. Popis planova, podplanova i procesa	43
Tablica 8. Rezultati LCIA analize: kategorije utjecaja	50
Tablica 9. Rezultati LCIA analize: korištenje resursa.....	51
Tablica 10. Ponderirani rezultati	52

POPIS KRATICA

Kratika	Značenje
ADP	<i>Abiotic Depletion Potential</i>
AWARE	<i>Available Water Remaining</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
CEAP	<i>Circular Economy Action Plan</i>
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
CFC	klorofluorougjik
COP	<i>Conference of the Parties</i>
DPP	<i>Digital Product Passport</i>
EF	<i>Environmental Footprint</i>
EK	Europska komisija
EP	<i>Eutrophication Potential</i>
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i>
EPLCA	<i>European Platform on Life Cycle Assessment</i>
ESR	<i>Effort Sharing Regulation</i>
ETS	<i>Emissions Trading System</i>
EU	Europska unija
GHG	<i>Greenhouse Gases</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HCFC	hidroklorofluorougjik
IBU	<i>Institut Bauen und Umwelt e.V.</i>
ILCD	<i>International Life Cycle Data System</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory (Analysis)</i>
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LULUC	<i>Land Use, Land Use Change</i>
LULUCF	<i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i>
NMVOG	<i>Non-methane Volatile Organic Compound</i>

ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
PCR	<i>Product Category Rules</i>
PEF	<i>Product Environmental Footprint</i>
PEFCR	<i>Product Environmental Footprint Category Rules</i>
PEP	<i>Product Environmental Profile</i>
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>
REPA	<i>Resource and Environment Profile Analysis</i>
SPI	<i>Sustainable Products Initiative</i>
UN	Ujedinjeni narodi
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
WDP	<i>Water Depletion Potential</i>

POPIS OZNAKA

OZNAKA	OPIS	MJERNA JEDINICA
GWP	Potencijal globalnog zatopljenja	kg CO ₂ eq.
ODP	Potencijal osiromašenja stratosferskog sloja ozona	kg CFC 11 eq.
AP	Potencijal zakiseljavanja	mol H ⁺ eq.
EP-slatkovodni	Potencijal eutrofikacije u slatkoj vodi	kg PO ₄ eq.
EP-morski	Potencijal eutrofikacije u moru	kg N eq.
EP-kopno	Potencijal eutrofikacije na kopnu	mol N eq.
PCOP	Potencijal nastajanja troposferskog ozona	kg NMVOC eq.
ADP- minerali&metali	Potencijal abiotskog osiromašivanja za ne-fosilne resurse	kg Sb eq.
ADP-fosil	Potencijal abiotskog osiromašivanja za fosilne resurse	MJ, neto kalorična vrijednost
WDP	Potencijal nedostatka vode	m ³ eq. svijeta u nedostatku vode

SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je izraditi Izjavu o utjecaju odabranog proizvoda na okoliš (engl. *Environmental Product Declaration*, (EPD)) te pojasniti poziciju takvih deklaracija u strategijama Europske unije. Odabrani proizvod je betonski opločnik proizvođača Beton Lučko. U prvom dijelu rada proučena je strategija Europske unije u kontekstu održive proizvodnje u građevinarstvu. Opisani su ciljevi održivosti Unije za 2050. godinu te predviđene metode dostizanja tih ciljeva. Procjena životnog ciklusa (engl. *Life Cycle Analysis*, (LCA)) jedan je od alata održive proizvodnje te je temelj za izradu deklaracija o utjecaju na okoliš. U radu je također opisana metodologija LCA i temeljne norme koje definiraju LCA, uloga LCA u strategiji EU te je opisan rad s GaBi softverom koji služi za izradu procjena životnog ciklusa. U drugom dijelu rada, stečeno znanje primijenjeno je na izradu LCA procjene za betonske opločnike. Na temelju procjene napravljen je primjer EPD-a.

Ključne riječi: EPD, utjecaj proizvoda na okoliš, LCA, analiza životnog ciklusa, GaBi, opločnik, održivost, održiva izgradnja

SUMMARY

The goal of this master's thesis is to create an Environmental Product Declaration (EPD) for a selected product and to clarify the position of such declarations in the strategies of the European Union. The selected product was a concrete paver manufactured by Beton Lučko. In the first part of the paper, the strategy of the European Union was studied in the context of sustainable production in construction. The objectives of the sustainability of the Union for the year 2050 were described, as well as the predicted methods of achieving these objectives. Life Cycle Analysis (LCA) is one of the tools of sustainable production and is the basis for creating environmental impact declarations. The thesis also described the methodology of LCA and the standards that define LCA, the role of LCA in the EU strategy, and the workflow of GaBi software, which is used for creating life cycle assessments, was presented. In the second part of the work, the acquired knowledge was applied to the creation of an LCA for concrete pavers. Based on the assessment, an example EPD was created.

Key words: EPD, Environmental Product Declaration, LCA, Life Cycle Assessment, GaBi, Paver, Sustainability, Sustainable Building

1. UVOD

Usljed prihvaćanja evidentnih promjena u svom prirodnom staništu unazad nekoliko desetaka godina, ljudi su počeli uviđati vlastiti doprinos tim promjenama. Potreba za očuvanjem razine kvalitete života dovela je do globalnih napora u shvaćanju mehanizama kojima ljudsko djelovanje negativno utječe na vlastiti okoliš kako bi se spriječile daljnje promjene i ublažile posljedice promjena koje su nepovratne. Proučavanjem tih mehanizama počele su se razjašnjavati uzročno posljedične veze između promjena poput povećanja temperature na zemlji, stvaranje fotokemijskog smoga ili jačeg ultraljubičastog zračenja i ljudskih aktivnosti poput cestovnog prometa, masovne proizvodnje ili velikih industrijskih pogona. Kompleksnost, slojevitost i temporalno-geografska promjenjivost tih veza zahtijevala je stvaranje sustava kojim će biti moguće razlučiti i kategorizirati najbitnije veze, odnosno ljudske aktivnosti koje su najštetnije po okoliš kako bi se moglo djelovati u svrhu promjena tih aktivnosti. Slijedeći trend u optimizaciji proizvodnje gdje se proizvodni procesi promatraju kao sustavi s određenim ulazima i izlazima, u kontekstu očuvanja okoliša, proizvodi su se počeli promatrati kao sustavi s ulaznim resursima i energijama i izlaznim emisijama, sastavljeni od određenih faza koje zajedno čine životni vijek jednog proizvoda. Secirajući proizvode i njihov životni vijek mjerenjem svih ulaznih i izlaznih veličina, stvorile su se velike baze podataka. Jedna metoda obrade tih podataka pod nazivom „procjena životnog ciklusa“ (engl. *Life Cycle Analysis (LCA)*) postala je jedan od temelja održive proizvodnje. Ukratko, procjenom životnog ciklusa kvantificira se utjecaj nekog proizvoda na okoliš na temelju izmjerenih čimbenika za sve etape njegovog životnog ciklusa. Prva faza razvitka te metode bila je obilježena divergencijom pristupa metodi što je rezultiralo u standardizaciji metode kroz seriju normi Međunarodne organizacije za standardizaciju koji su se reducirali na dva: ISO 14040 i ISO 14044. Ovim potezom LCA je postala općeprihvaćena metoda za određivanje i uspoređivanje utjecaja na okoliš proizvoda. Unificirani pristup omogućio je razvoj ove interdisciplinarnе metode u suveren i moćan alat koji zahtjeva nova znanja, stručnjake i njihove vještine. Sada se LCA metoda sastoji od složenih načina kvantifikacije, slojevitih i dubokih baza podataka za čiju obradu i korištenje obično treba koristiti neki od softvera stvorenih upravo za to. LCA postala je znanstvena podloga za mnoge zakone koji su doneseni u svrhu zaštite okoliša te mnoge inicijative na tržištu proizvoda koje idu u smjeru povećanja konkurentnosti na temelju ekoloških deklaracija ili ocjena. Jedna od tih inicijativa

naziva se Izjava o utjecaju proizvoda na okoliš (engl. *Environmental Product Declaration*, (EPD)). Ova izjava je dokument kojim se na temelju procjene životnog vijeka opisuje utjecaj proizvoda na okoliš, a prema ISO 14025 to je deklaracija trećeg tipa. Ovaj tip deklaracije postigao je zamjetan uspjeh u građevinskoj industriji. Unatoč nepostojanju zakonske obveze izrade EPD-a za građevinske proizvode, trenutno na tržištu postoji velik broj proizvoda koji svoju konkurentnost ostvaruju upravo na temelju svoje ekološke ocjene u okviru EPD-a. Paralelno s razvojem EPD-ova, Europska unija je unutar svoje politike za zaštitu okoliša počela razvijati sličan alat koji se temelji na LCA, a naziva se Okolišni otisak (engl. *Product Environmental Footprint*, (PEF)). U jeku aktualnog povećavanja pritiska na globalnu svijest i djelovanja u cilju „spašavanja“ svijeta od ireverzibilnih i devastirajućih promjena u okolišu, stvaraju se sve jasniji i stroži zakonski okviri kojima se nastoji promijeniti smjer u kojem svijet trenutno ide. EPD i PEF-metode za građevinske proizvode u tim okvirima konkuriraju za isto mjesto: metodu procjene utjecaja nekog građevinskog proizvoda na okoliš kako bi se taj utjecaj mogao uzeti u obzir pri izgradnji građevina u svrhu smanjivanja štetnog utjecaja građevinske industrije. Europska unija i građevinska industrija trenutno se nalaze pred izazovom koji u isto vrijeme predstavlja i potencijal za stvaranjem snažnog sustava temeljenog na ustaljenim i poznatim praksama. Svaka članica Europske unije ima obvezu pratiti i implementirati zakone i ideje Unije, pa tako i Republika Hrvatska. U sklopu ovog rada istražena je pozicija LCA u politici Unije, eventualna implementacija u hrvatskim zakonima i građevinskoj praksi te je izrađen EPD za jedan građevni proizvod jednog hrvatskog proizvođača kako bi se stekao uvid u mogućnosti ove metode te stvorila slika o budućnosti procjene životnog ciklusa u Uniji, Hrvatskoj i na hrvatskom tržištu građevinskih proizvoda.

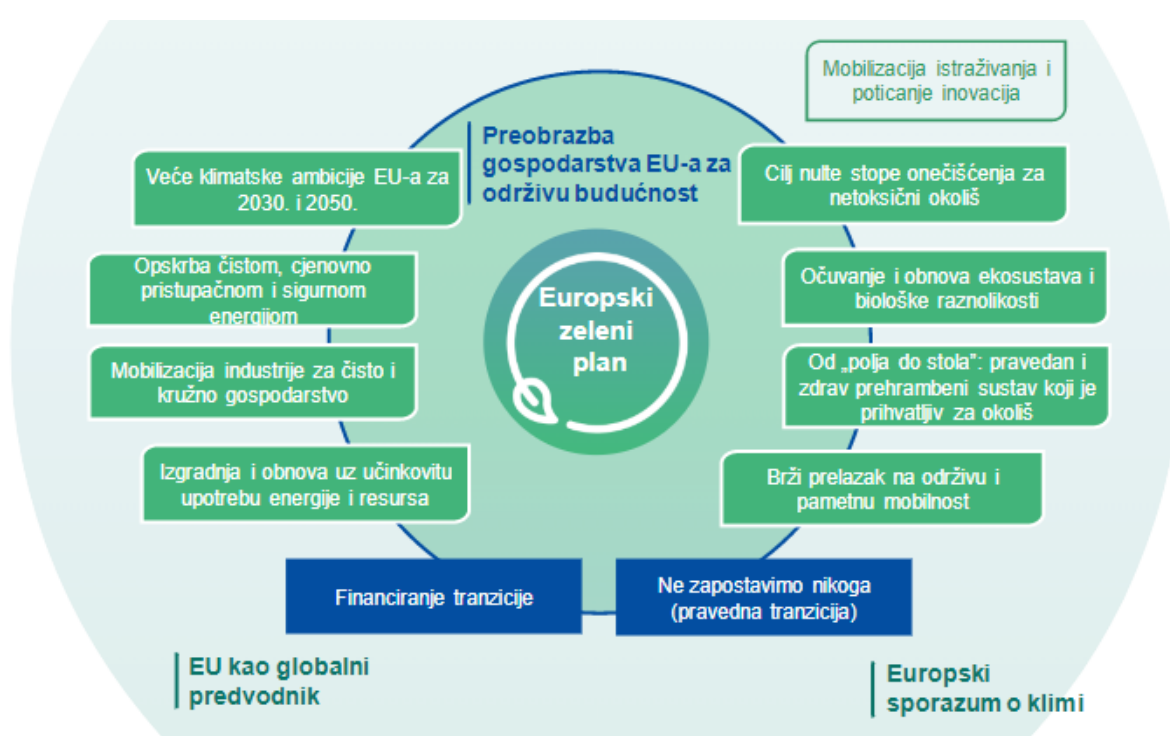
2. STRATEGIJE, ZAKONI I NORME POVEZANI S ODRŽIVIM RAZVOJEM UNUTAR EUROPSKE UNIJE

2.1. Uvod

U jeku borbe protiv globalnog zatopljenja te borbe za očuvanje prirodnog okoliša u svrhu omogućavanja životnih uvjeta koji su osnovno ljudsko pravo svakog pojedinca budućim naraštajima, Europska Unija se svjesno želi pozicionirati na čelo udruženja svjetskih aktera u ovoj borbi te svojim primjerom i suradnjom s ostalim članovima aktivno nastoji doprinijeti rješavanju pitanja zaštite okoliša. Svijest o potrebi očuvanja okoliša javila se u drugoj polovici dvadesetog stoljeća te je direktna posljedica povećanog ljudskog djelovanja na planeti uslijed industrijskog i tehnološkog napretka. Začetci organiziranog angažmana oko pitanja zaštite okoliše obilježeni su Konferencijom o ljudskom okolišu koja se održala 1972. godine u Stockholmu u organizaciji Ujedinjenih naroda [1]. Naredne godine obilježene su osnivanjem međunarodnih organizacija i tijela poput Međuvladinog panela o klimatskim promjenama 1988., donošenjem Montrealskog sporazuma o očuvanju ozona 1987. te prvom Konferencijom stranaka (*engl. Conference of the Parties (COP)*) 1995. koja se od tada održava svake godine kako bi se motrilo i upravljalo globalnim zatopljenjem i emisijom stakleničkih plinova [2]. Na UN-ovoj Konferenciji o okolišu i razvoju u Rio de Janeiru 1992. usvojena je Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (*engl. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*) koju je ratificiralo 198 stranaka, uključujući Europsku uniju te sve njene države članice čime su se obvezale na “stabilizaciju koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi” u zadanom vremenskom okviru [3]. Okviri UNFCCC-a konkretizirali su se najprije 1997. protokolom u Kyotu, zakonski propisujući smanjenje razine emisije stakleničkih plinova za razvijene zemlje u periodu od 2008. do 2012. godine [4], a zatim i Pariškim sporazumom 2015. godine kojim se nastoji ograničiti povećanje temperature na Zemlji na 2°C u ovom stoljeću. Ususret ovom zajedničkom cilju, Europska unija sa svojim zemljama članicama dodatno se obvezala smanjiti razinu emisije stakleničkih plinova do 2030. za 55 % u odnosu na razinu iz 1990. godine. [5] 2019. godine Europska komisija predstavila je set strategija pod imenom Europski zeleni plan (*engl. European Green Deal*) s ciljem ispunjenja ove obveze i postizanja klimatske neutralnosti na kontinentu do 2050. godine [6].

2.2. Europski zeleni plan

Europski zeleni plan je “nova strategija rasta kojom se EU nastoji preobraziti u pravedno i prosperitetno društvo s modernim, resursno učinkovitim i konkurentnim gospodarstvom u kojem 2050. neće biti neto emisija stakleničkih plinova i u kojem gospodarski rast nije povezan s upotrebom resursa.” [7] Iz ove uvodne rečenice pri predstavljanju Europskog zelenog plana jasno se vidi namjera Europske unije da provede tranziciju od sadašnjeg prosjeka stanja svojih članica do univerzalnog stanja klimatske neutralnosti u vrlo kratkom periodu. EU namjerava ispuniti ciljeve transformacijom u četiri područja: klima (klimatska neutralnost), ekonomija (kružna ekonomija), energija (“čista” energija) i resursi (sekundarni odnosno reciklirani). Ove ambiciozne transformacije manifestiraju se u obećanjima danima u zelenom planu, a to su “čist zrak, čista voda, zdravo tlo i bioraznolikost; renovirane, energetske učinkovite zgrade; zdrava i povoljna hrana; više javnog prijevoza; čišća energija i vrhunske tehnološke inovacije; dugotrajniji proizvodi koji se mogu popraviti, reciklirati i ponovno upotrijebiti; dugoročno održiva radna mjesta i osposobljavanje za vještine potrebne za tranziciju; globalno konkurentna i otporna industrija” [8]. Kako bi Zeleni plan bio uspješno implementiran, 2021. godine stupa na snagu Europski zakon o klimi.



Slika 1. Europski zeleni plan [8]

2.3. Europski zakon o klimi, 2021.

U travnju 2021. godine Europsko vijeće i Europski parlament prihvatili su prijedlog Europske komisije o Europskom zakonu o klimi kojim se države članice legalno obvezuju da će zajedno postići klimatsku neutralnost kontinenta do 2050. godine. U okviru zakona legislativno su regulirani i prijelazni klimatski ciljevi, već spomenuto smanjenje neto emisije stakleničkih plinova za 55 % do 2030. te se najavljuje još jedan prijelazni cilj za 2040. godinu koji će biti utvrđen nakon drugog globalnog pregleda stanja koji je određen Pariškim sporazumom, a reflektira strategiju Unije za praćenje i prilagodbu aktualnim klimatskim promjenama. Tako je u članku 6. i definirana ocjena napretka i mjera Unije kojim se svakih 5 godina vrednuje zajednički napredak svih država članica u ostvarenju cilja klimatske neutralnosti. Također, zakonom je predviđena i ocjena nacionalnih mjera na petogodišnjoj razini, uzimajući u obzir nacionalne strategije koje su proizvoljne za svaku državu članicu. Kao potpora donošenju valjanih odluka u cilju postizanja zadanih ciljeva, klimatskim zakonom propisano je osnivanje savjetodavnog tijela pod nazivom Europski znanstveni savjetodavni odbor za klimatske promjene koji je neovisan od Europske komisije i članica EU, a članove je odabrala Europska agencija za okoliš. Zadatak odbora je pružati neovisne, znanstveno utemeljene informacije i znanja relevantna za ostvarivanje ciljeva EU u vidu zaštite okoliša. [9] U lipnju 2021. godine Europska komisija je predstavila zakonodavni paket pod nazivom Fit for 55 kojim predlaže reviziju 13 propisa kako bi se osigurao traženi pad emisije stakleničkih plinova.

2.3.1. *Fit for 55*

Kako bi pooštrila mjere kojima bi se postiglo drastično smanjenje emisije stakleničkih plinova, Europska komisija predložila je Europskom vijeću i Europskom parlamentu reviziju glavnih propisa koji direktno utječu na smanjenje emisije. Sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova (engl. *Emissions Trading System* (ETS)) koji obvezuje velike zagađivače na kupovinu certifikata prema količini emisije stakleničkih plinova trebao bi svake godine do 2050. smanjivati dopuštenu količinu, te bi obvezao i industrije čelika, cementa i kemikalija da uđu u sustav trgovanja. Uredbom o raspodjeli tereta (engl. *Effort Sharing Regulation* (ESR)) cilja se na sektore koji nisu unutar ETS-a te se želi ujediniti napor država članica kako ne bi došlo do nejednakosti među njima. Postizanje klimatske neutralnosti direktno ovisi o tzv. “ugljičnim ponorima”, odnosno mogućnosti šuma i zemlje da skladište ugljik te tako

smanjuju koncentraciju ugljika u atmosferi. Sektor koji regulira odljeve/emisije stakleničkih plinova u šumarstvu i u korištenju zemljišta je sektor Korištenje zemljišta, promjene u korištenju zemljišta i šumarstvo (engl. *Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF)). Fit for 55 uključuje reviziju, izmjenu i dopunu dviju uredbi o upravljanju energijom: Direktiva o obnovljivim energijama i Direktiva o energetske učinkovitosti. Također, planirano je regulirati avio- i pomorski promet kako bi se spriječio rast emisija te postaviti više standarde za nova osobna vozila i cestovni promet, čime bi se uključila i generalna javnost u naume Europske komisije. Svaka komponenta ovog zakonodavnog paketa zasebno je na glasanju u Europskom parlamentu od srpnja 2022. godine, a planirano je da cijeli paket bude potencijalno prihvaćen do kraja ove godine. [10]

3. ODRŽIVI RAZVOJ U GRAĐEVINSKOM SEKTORU EUROPSKE UNIJE

3.1. Uvod

Prema podacima Europske agencije za okoliš, građevinski sektor (izgradnja i korištenje građevina) pokriva 40 % godišnje potrošnje energije Europske unije i 36 % godišnjih emisija stakleničkih plinova energetskeg sektora EU. Kako bi se postigli ciljevi za 2030. i 2050. stav Europske unije je da građevinski sektor mora doživjeti radikalnu promjenu te renovirati preko 90 % sadašnjeg građevinskog fonda uz simultano postavljanje visokih kriterija energetske učinkovitosti za buduće građevine. Ova tranzicija temelji se na Direktivi o energetske učinkovitosti zgrada, a pokrivena je Europskim zelenim planom i paketom regulacija i uredbi pod nazivom Val obnove.

3.2. Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada (engl. *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*)

Direktiva o energetske učinkovitosti je donesena u prosincu 2002. godine. Direktivom su države članice bile obvezane do 2006. godine u svoje zakonodavstvo uvesti zakone kojima bi se regulirala energetska učinkovitost zgrada. Vođena evaluacijom uspješnosti implementacije direktive, Europska komisija 2010. objavljuje preinaku direktive iz 2002. Ovom preinakom uvedeni su energetske certifikati za zgrade, koji služe za klasifikaciju zgrada prema količini energije koju konzumiraju kako bi kupcima/unajmljivačima prostora bilo omogućeno odlučivanje na temelju energetske učinkovitosti zgrade koju žele kupiti/unajmiti. Kako bi se dodatno ubrzala obnova zgrada, 2018. godine EK objavljuje novu Direktivu kojom se stavlja naglasak na definiranje efektivnih strategija i financiranje istih. Također, novom direktivom se potiče korištenje novih tehnologija pri obnovi zgrada i težnja ka “pametnim” zgradama. Nova direktiva djeluje u skladu s već spomenutim aktualnim mjerama Europske unije te je još jedan korak ka postizanju klimatske neutralnosti. [11]

3.3. Val obnove (engl. *Renovation wave*)

Kako bi dodatno potakla članice na uspješno usvajanje Direktive o energetske učinkovitosti zgrada i internalizaciju europskih ambicija ka klimatske neutralnosti, EK je predstavila inicijativu za renovaciju fonda zgrada pod imenom Val obnove. Prema viziji EK, obnova

zgrada u svrhu povećanja energetske učinkovitosti ne bi bila ograničena samo na smanjenje emisija i potrošnje energije, već bi označavala tranziciju prema kružnoj ekonomiji, smanjenje potrebe za novogradnjom, otvaranje novih radnih mjesta i “ozelenjivanje” društva u cjelini. Dobar pokazatelj razine urgentnosti obnove je predviđeno financiranje svih inicijativa koje vode k tome u državama članicama od strane EU. [12]

U tekstu ove Komunikacije Europske komisije često se spominje princip kružnog sustava koji je i jedan od temeljnih principa europskog Zelenog plana. 2020. godine Europska komisija donijela je novi Akcijski plan za kružno gospodarstvo (engl. *Circular Economy Action Plan* (CEAP)) u cilju prelaska na kružno gospodarstvo. Prema tom planu glavne odrednice kružnog gospodarstva u kojima se očitava načelo održivosti su: povećanje trajnosti proizvoda uz mogućnost ponovne uporabe i popravka, povećanje udjela recikliranog sadržaja u proizvodima, omogućavanje recikliranja, smanjenje ugljičnog otiska, ograničavanje jednokratne upotrebe, zabrana uništavanje trajne robe, poticanje modela “proizvod kao usluga”, digitalizacija informacija o proizvodima kroz digitalne putovnice, oznake i vodene žigove, te sustav nagrađivanja na temelju uspješnosti u pogledu održivosti. Akcijskim planom najavljena je revizija Uredbe (EU) br. 305/2011 kojom se utvrđuju usklađeni uvjeti za stavljanje građevinskih proizvoda na tržište. [13] U ožujku 2022. predstavljen je prijedlog Uredbe kojom bi se dopunila Uredba (EU) 2019/1020 (koja zamjenjuje Direktivu 2004/42/EZ i Uredbe (EZ) br.765/2008 i (EU) br. 305/2011) i poništila Uredba (EU) br. 305/2011, potaknut izvješćem komisije iz 2016. u kojem su uočeni nedostaci Uredbe u vidu harmonizacije građevinskih proizvoda na temelju njihovih svojstava i utjecaja na okoliš. U prijedlogu, naglasak je stavljen na stvaranje harmoniziranog i jedinstvenog sustava ocjene građevinskih proizvoda na osnovi svih svojstava proizvoda, uključujući ona svojstva koja imaju utjecaj na okoliš, klimu i sigurnost te osiguravanje pristupačnosti takvim informacijama o proizvodu, kao što se može iščitati iz točke (47): “*In order to be able to make informed choices, users of construction products should be sufficiently well informed about the environmental performances of products, about their conformity with environmental requirements and of the degree of fulfilment of manufacturer’s environmental obligations in this regard. Therefore, the Commission is empowered to adopt delegated acts to establish specific labelling requirements which might include the easily understandable traffic light labelling.*” (Kako bi korisnici građevinskih proizvoda bili u mogućnosti donositi informirane odluke, oni moraju biti dobro informirani o svojstvima proizvoda koja utječu na okoliš, sukladnosti sa zahtjevima o utjecaju na okoliš i o razini ispunjenja proizvođačevih obveza u

očuvanju okoliša. Prema tome, Komisija se osjeća pozvanom usvajati delegirane akte kojima bi se uspostavili specifične zahtjevi o označavanju proizvoda koji mogu uključivati lako razumljive “semaforske” oznake.) [14] Ove oznake bi se trebale temeljiti na procjeni životnog ciklusa građevinskih proizvoda te bi trebale pokrivati iduće osnovne karakteristike analize:

- posljedice klimatskih promjena (obvezno)
- oštećenje ozona
- potencijal zakiseljavanja
- eutrofikacija slatke vode
- eutrofikacija mora i oceana
- kopnena eutrofikacija
- fotokemijski ozon
- abiotsko osiromašivanje – minerali, metali
- abiotsko osiromašivanje – fosilna goriva
- korištenje vode
- čestična tvar
- ionizirajuće zračenje, ljudsko zdravlje
- eko-toksičnost, pitka voda
- toksičnost za ljude, rak
- toksičnost za ljude; osim raka
- posljedice vezane za iskorištavanje zemljišta [15].

Nadograđujući se na potrebu za transparentnošću svojstava proizvoda, u okviru ovog prijedloga Uredbe, otvorila se diskusija o uvođenju tzv. Digitalnih putovnica proizvoda (engl. *Digital Product Passport (DPP)*). Cilj putovnica jest na jednom mjestu definirati sva svojstva nekog proizvoda relevantna za njegovu poziciju na tržištu te time doprinijeti, među ostalim, stvaranju jedinstvenog europskog tržišta. Digitalne putovnice dio su i drugih europskih inicijativa i prijedloga, a detaljan opis potencijalnog sadržaja putovnice dan je u Prijedlogu Uredbe Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn održivih proizvoda i stavljanju izvan snage Direktive 2009/125/EZ, koji je dio Inicijative za održive proizvode (engl. *Sustainable Products Initiative (SPI)*). Prema prijedlogu, putovnice bi trebale sadržavati informacije o podrijetlu i sastavu, mogućnostima

popravka i rastavljanja, te podatke o zbrinjavanju proizvoda na kraju životnog ciklusa. Ovaj prijedlog objavljen je 2022. godine te je još uvijek u fazi javne rasprave u nadi pronalaska odgovarajućeg modela za putovnice.

4. PROCJENA ŽIVOTNOG CIKLUSA PROIZVODA

4.1. Općenito

Procjena životnog ciklusa proizvoda (engl. *Life Cycle Assessment (LCA)*) je alat kojim se nastoji odrediti cjelokupni utjecaj nekog proizvoda na okoliš kroz sve faze njegovog postojanja – od ekstrakcije materijala potrebnog za njegovu izradu do kraja njegovog životnog ciklusa, odnosno do prestanka originalne funkcije proizvoda – ili kroz jasno definirani dio životnog ciklusa tog proizvoda. Ovakvim holističkim pristupom nastoji se riješiti problem do kojeg se dolazi kada se pažnja usmjeri na samo jednu fazu životnog ciklusa – nerijetko se dogodi da se prividnim rješavanjem problema u jednoj fazi rezultat toga manifestira kao novi problem u nekoj idućoj fazi, ne smanjujući tako negativan utjecaj na okoliš.

Životni ciklus proizvoda je pojam koji se počeo koristiti 90-ih godina prošlog stoljeća. Do tada, metode kojima se pokušavao odrediti utjecaj proizvoda na okoliš i resurse energije su bile poznate kao “analize resursnog i okolišnog profila” (engl. *Resource and Environment Profile Analysis (REPA)*) ili kao “ekobalansi” (engl. *Ecobalances*). U skladu s tadašnjim začecima trendova analize toka materijala fokus je u početku bio usmjeren na određivanje utroška energije i materijala u procesima proizvodnje. Razvitkom metoda razvijen je i sustav ocjenjivanja utjecaja proizvoda pomoću indikatora koji označavaju doprinos određenim kategorijama utjecaja. [16]

Danas je procjena životnog ciklusa proizvoda mnogo jasnije definirana, a njena kvantitativna priroda se koristi u svrhu usporedbe proizvoda na tržištu. Serija normi ISO 14040, 14041, 14042, 14043 i 14044 od kojih najveću važnost imaju upravo prva i posljednja iz te serije definiraju metodološki okvir i smjernice za provođenje analize. Budući da su ISO norme izdane u vrijeme kada su LCA metode bile relativno malo razvijene, potreba za detaljnijim uputama navela je Europsku komisiju da 2012. godine izda “Međunarodni sustav podataka o životnom ciklusu” (engl. *International Life Cycle Data System (ILCD)*) koji služi kao priručnik za izradu procjene životnog ciklusa. [17]

4.1.1. Karakteristike

Glavna obilježja procjene životnog ciklusa proizvoda su: sveobuhvatnost utjecaja nekog proizvoda na okoliš kroz sve faze njegovog utjecanja, kvantitativna priroda rezultata analize te velik raspon problema okoliša koji se pokriva. [18]

Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju, LCA nastoji obuhvatiti što više faza života nekog proizvoda kako bi se izbjegle slijepe točke u analizi i propusti u identificiranju uzroka negativnih utjecaja na okoliš. Analogija životnog ciklusa preuzeta je iz biologije – životni ciklus jednog leptira može se promatrati kroz vrlo jasno definirane faze njegove transformacije, te se na isti način može promatrati i životni ciklus proizvoda. Raščlanjivanjem na faze poduzima se prvi korak ka kvantificiranju utjecaja proizvoda na okoliš.

Osnova analize je definiranje parametara utjecaja na okoliš koji se mogu brojčano prikazati kako bi metoda bila osnova za usporedbu proizvoda temeljem njihovog utjecaja na okoliš. U LCA analizi najčešće se koristi oko 15 parametara koji se nazivaju pokazatelji utjecaja (engl. *midpoint impact indicators*). Ovi parametri su: klimatske promjene, osiromašivanje stratosferskog ozona, zakiseljavanje tla i pitke vode, eutrofikacija tla, pitke voda i mora, formacija fotokemijskog smoga, ekotoksičnost, toksičnost za ljude, formiranje lebdećih čestica, ionizirajuća radijacija, gospodarenje obradivim površinama, gospodarenje vodom, korištenje abiotičkih resursa (fosilnih i mineralnih), korištenje biotičkih resursa (npr. sječa šuma ili izlov ribe), buka, uzročnici bolesti. [19]

Iz gore navedenih parametara, odnosno indikatora, može se razabrati raspon problema koji se nastoje analizirati. Razlog uzimanja ovako širokog spektra potencijalnih uzročnika negativnih posljedica za okoliš je analogan razlogu uzimanja u obzir čitavog životnog ciklusa proizvoda – često djelovanje samo u jednoj kategoriji uzročnika problema u okolišu dovodi do toga da se poboljšavanjem jednog utjecaja pogorša neki drugi utjecaj, a cjelokupni negativni utjecaj ostaje isti ili se pogorša.

4.1.2. Metodologija

Temelji za općeprihvaćenu metodologiju izrade procjene životnog ciklusa proizvoda postavljeni su ISO normama. Prema normi ISO 14040 analiza se provodi u 4 faze:

1. Definiranje cilja i opsega
2. Analiza inventara životnog ciklusa (engl. *Life cycle inventory analysis* (LCI))
3. Procjena utjecaja životnog ciklusa (engl. *Life cycle impact assessment* (LCIA))

4. Interpretacija životnog ciklusa

4.1.2.1. Definiranje cilja i opsega

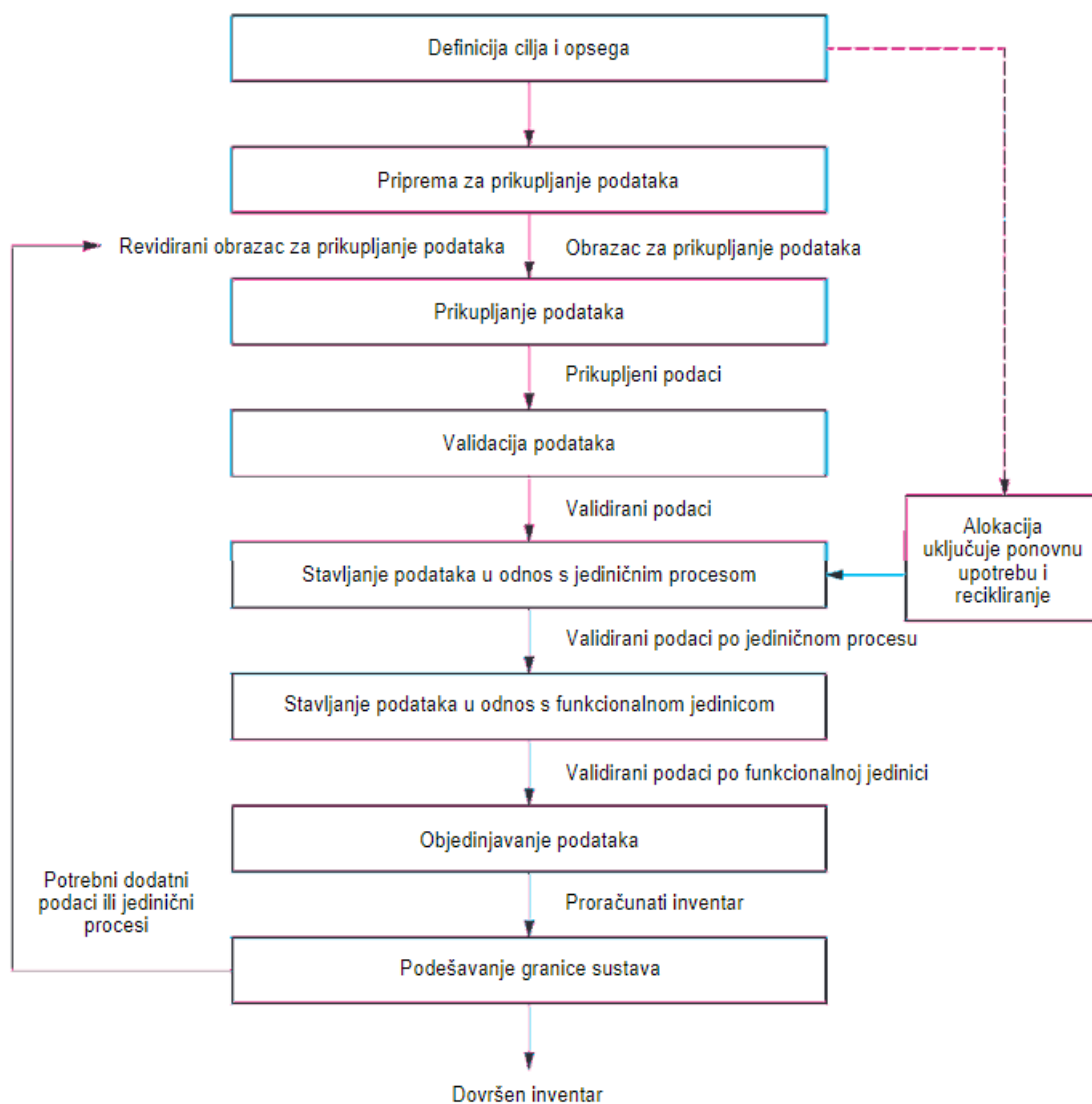
Prije početka rada na studiji potrebno je odrediti razlog i svrhu te analize, odnosno definirati gdje će studija biti primjenjivana, koji su motivi za izradu te studije, kojoj ciljanoj skupini je namijenjena te time treba odrediti i prikladan format za iznošenje rezultata te studije. Opseg studije ponajprije se odnosi na određivanje granica sustava koji će se analizirati. Ovo je ključan korak u procjeni životnog ciklusa proizvoda jer se pravilnim odabirom faza životnog ciklusa koje će biti uzete u obzir može značajno utjecati na rezultate studije. Definiranjem granica prirodno se nameće i potreba za definiranjem funkcionalnih jedinica sustava, a u slučaju LCA uz funkcionalnu jedinicu uvodi se i pojam referentnog toka. Funkcionalna jedinica je kvantitativni izraz funkcije sustava, odnosno izvedena mjera nekog sustava (npr. za funkciju zalijevanja vrta funkcionalna jedinica bila bi neka površina zemlje sa zahtijevanim stupnjem vlažnosti, a vezani referentni tok za tu funkcionalnu jedinicu bi bio prosječna količina vode potrebna za postizanje te vlažnosti na toj površini zemlje). Pažljiv odabir granice sustava, funkcionalnih jedinica i referentnih tokova presudan je za uspješnu provedbu komparativnih studija. [20]

4.1.2.2. Analiza inventara životnog ciklusa (*Life cycle inventory analysis –LCI*)

Inventar životnog ciklusa sadrži sve izmjerene ulazne i izlazne veličine sustava. Prema normi, one se dijele na nekoliko skupina:

- ulazna energija, ulazne sirovine, pomoćne ulazne veličine, ostale fizikalne ulazne veličine
- proizvodi, nusproizvodi i otpad
- emisije u zrak, vodu i tlo
- ostali aspekti okoliša.

Skupljanje podataka vrši se na temelju definiranog cilja i opsega te je ograničeno vremenskim i financijskim mogućnostima. Na slici se može vidjeti pojednostavljeni prikaz skupljanja podataka:



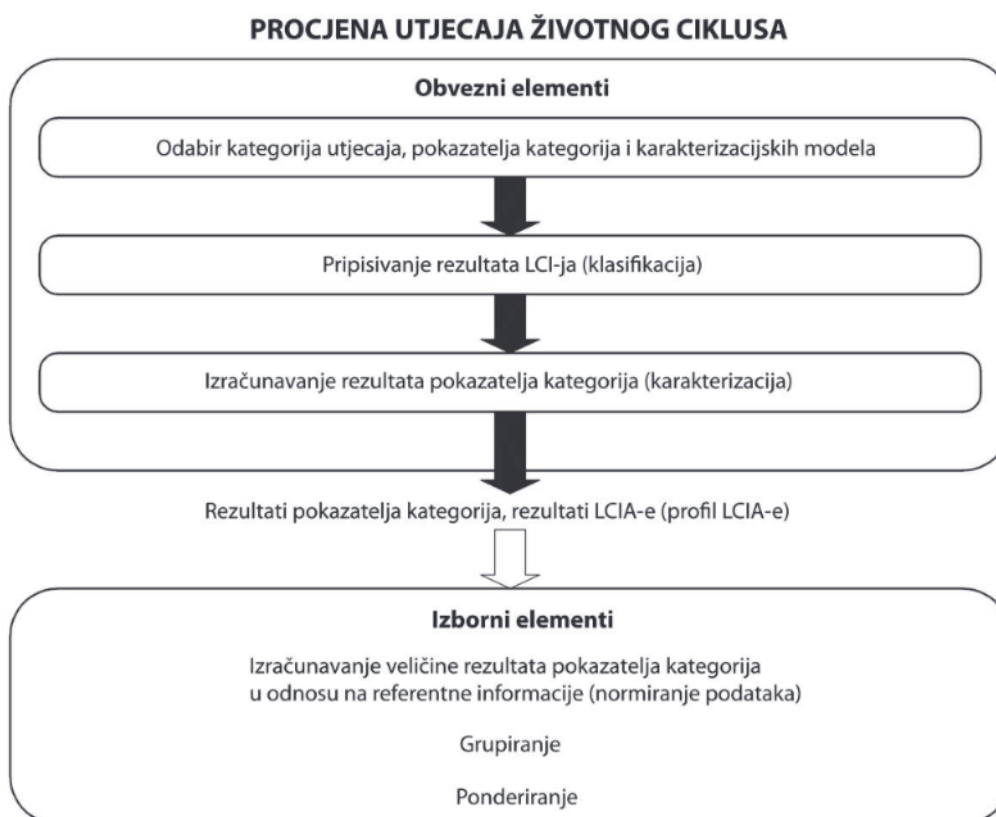
Slika 2. Pojednostavljeni grafički prikaz izrade inventara [20]

Analiza inventara je najdulgotrajniji i najnaporniji korak LCA analize koji obuhvaća definiranje svih tehnoloških aspekata nekog proizvodnog procesa, infrastrukturu i energiju potrebnu za obavljanje tih procesa, ulazne sirovine i proizvode proizvodnih procesa, kao i načine zbrinjavanja proizvoda i nusproizvoda. Potrebno je dobro poznavati sustav i sve njegove dijelove kako bi se mjerile odgovarajuće veličine za vjerodostojno prikazivanje utjecaja na okoliš. Također, potrebno je poznavati i način na koji tržište reagira na promjene u ponudi i potražnji neke sirovine, energenta i sl. kako bi mogli preciznije opisati što se dogodi kao posljedica neke odluke. Npr., povećanje u proizvodnji staklenih čaša neće nužno rezultirati u većoj proizvodnji stakla iz sirovine već može rezultirati u povećanju recikliranja stakla. Ovaj način pristupa LCI analizi naziva se posljedično modeliranje (engl. *consequential*

modelling) za razliku od prvoopisanog primjera koji linearno povezuje procese i tokove i koji se naziva atribucijsko modeliranje (engl. *attributonal modelling*). [21]

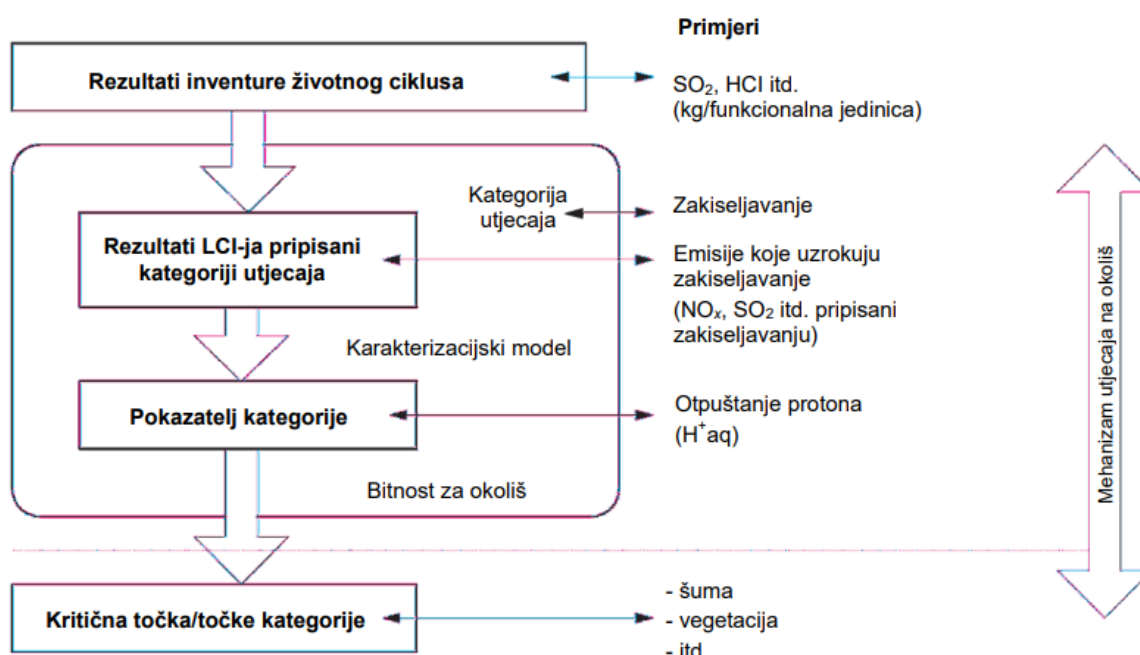
4.1.2.3. Procjena utjecaja životnog ciklusa (*Life cycle impact assessment – LCIA*)

Treća faza LCA-e je povezivanje podataka dobivenih mjerenjem (inventura) s pokazateljima kategorija i kategorijama utjecaja na okoliš, odnosno prevođenje kvantitativnih podataka LCI-e u podatke o utjecaju na okoliš te se naziva klasifikacija. Postoji mnogo načina odnosno karakterizacijskih modela za klasifikaciju inventure te je ovo korak koji je automatiziran i provodi se pomoću integriranih LCIA paketa unutar softvera za LCA-u. Na tržištu postoji mnogo opcija za LCIA-u te je za odabir prikladne metode potrebno znanje i iskustvo. Sve metode rađene su u skladu s normom ISO 14044, a skica procesa nalazi se na slici 3.



Slika 3. Shematski prikaz procjene utjecaja životnog ciklusa [22]

4.1.2.3.1. Odabir kategorija utjecaja, pokazatelja kategorija i karakterizacijskih modela



Slika 4. Primjer odabira kategorije utjecaja, pokazatelja kategorije i karakterizacijskog modela [8]

Na slici 3 primjerom je pokazan postupak LCIA-e. Izmjereni podaci, odnosno rezultati prethodnog koraka pripisuju se jednoj od kategorija utjecaja. U praksi i u većini karakterizacijskih modela su se ustalile sljedeće kategorije:

- klimatske promjene
- oštećenje ozonskog omotača
- toksičnost za ljude
- stvaranje čestica
- fotokemijski smog
- ekotoksičnost
- zakiseljavanje
- eutrofikacija
- iskorištenost zemlje
- iskorištenost voda.

Ove kategorije nazivaju se „mid-point“ kategorije jer se nalaze u sredini okolišnog mehanizma (kronološkog slijeda utjecaja nekog djelovanja na okoliš), npr. zakiseljavanje, a postoje još i „end-point“ kategorije koje su uzete s kraja okolišnog mehanizma, npr. gubitak biodiverziteta, koje se u praksi koriste rjeđe. Pokazatelji kategorije su definirani karakterizacijskim modelima te su u praksi također ustaljeni.

Karakterizacijski modeli se također dijele na „mid-point“ i „end-point“ modele ovisno o tome kakve kategorije koriste. U „mid-point“ modele spadaju CML, EDIP (*Environmental Development of Industrial Products*) i TRACI (*Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts*). „End-point“ modeli su: Eco-indicator 99, Eco Scarcity i JEPIX (*Japan Environmental Policy Priorities Index*). Osim „mid-point“ i „end-point“ modela postoje i kombinirani karakterizacijski modeli ReCiPe, Impact 2002+, LUCAS (*LCIA method Used for a Canadian-Specific context*), MEEup (*Method for the Evaluation of Energy using Products*), BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), Ecological footprint, USEtox, EDP (*Eco system Damage Potential*), IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), CED (*Cumulative energy demand*), CexD (*Cumulative Exergy Demand*), Emergy, CexC (*Cumulative Exergy Consumption*) i CEENE (*Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment*) [23]. Karakterizacijski modeli u sebi sadrže bazu podataka o materijalima i tvarima koja se koristi u procjeni životnog ciklusa. Uslijed razvitka koji je procjena životnog ciklusa doživjela od svojih početaka do danas, ručno računanje utjecaja postalo je presloženo stoga se za LCIA koriste softverski alati. Neki od najpoznatijih su GaBi, SimaPro, GEMIS (*Global Emission Model for Integrated Systems*) i BEES.

4.1.2.4. Interpretacija životnog ciklusa

Zadnja faza procjene je interpretacija dobivenih rezultata. Interpretacija se vrši iz dva fundamentalno različita razloga:

- kako bi se kroz iterativnu prirodu procesa procjene životnog ciklusa dobili rezultati koji što bolje odgovaraju na zahtjeve postavljene u zadanom cilju i opsegu studije, te
- kako bi se dobiveni rezultati studije mogli koristiti dalje u svrhu usporedbe ekološke učinkovitosti proizvoda ili usluga, formuliranje zaključaka i prijedloga na temelju rezultata i sl. [17]

Interpretacija se vrši u tri faze, kako je navedeno u ILCD-u. Prvo se definiraju značajni faktori poput glavnih procesa, parametara, tokova te se zatim ocjenjuju na temelju njihova utjecaja na rezultate analize. U zadnjem koraku formiraju se zaključci i prijedlozi temeljeni na analizi.

Procjena životnog ciklusa bit će detaljnije obrađena kroz primjenu u poglavljima 5.1 i 6.

4.2. Softver GaBi

Za potrebe ovog rada izrađena je procjena životnog vijeka betonskog opločnika koristeći edukacijsku verziju softvera GaBi, što će biti opisano u drugom dijelu rada. U ovom poglavlju dane su generalne informacije o programu.

4.2.1. Općenito

Softver GaBi je na tržište stavila njemačka tvrtka PE International još 1992. godine. Tvrtka je kasnije promijenila ime u thinkstep, a 2019. američka tvrtka Sphera kupuje thinkstep i preuzima GaBi softver. [24]

4.2.2. Sustav

GaBi je modularni sustav napravljen od planova, procesa i tokova. Korisnik stvara dijagrame životnog vijeka proizvoda koristeći ove module, a softver ih analizira prema odabranom karakterizacijskom modelu odnosno izabranoj metodologiji LCIA-e.

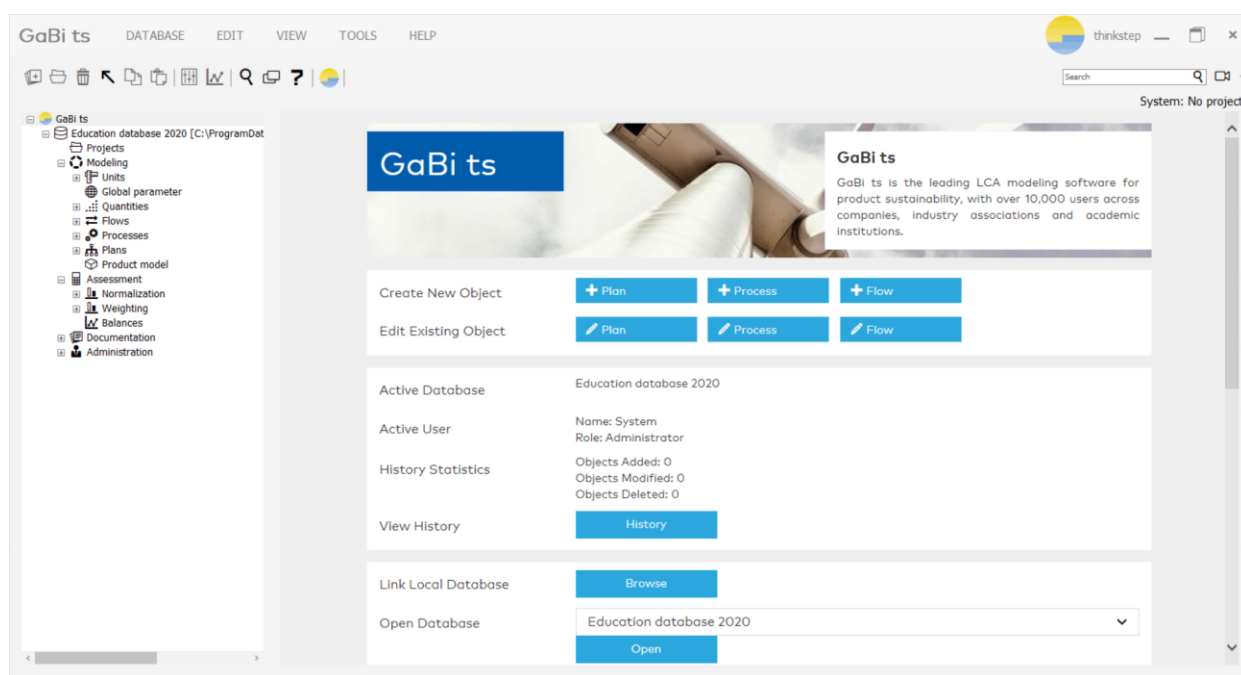
4.2.3. Baze podataka

Osim korisničkog sučelja za modeliranje planova, druga glavna komponenta (svakog) softvera za LCA-u su i baze podataka. [10] Unutar GaBi softvera nalazi se više baza podataka: GaBi baze, švicarska ecoinvent baza podataka, američka U.S. Life Cycle Inventory (LCI), Environmental Footprint (EF) baza podataka kao i opcija za dodavanje bilo koje druge baze podataka. [25]

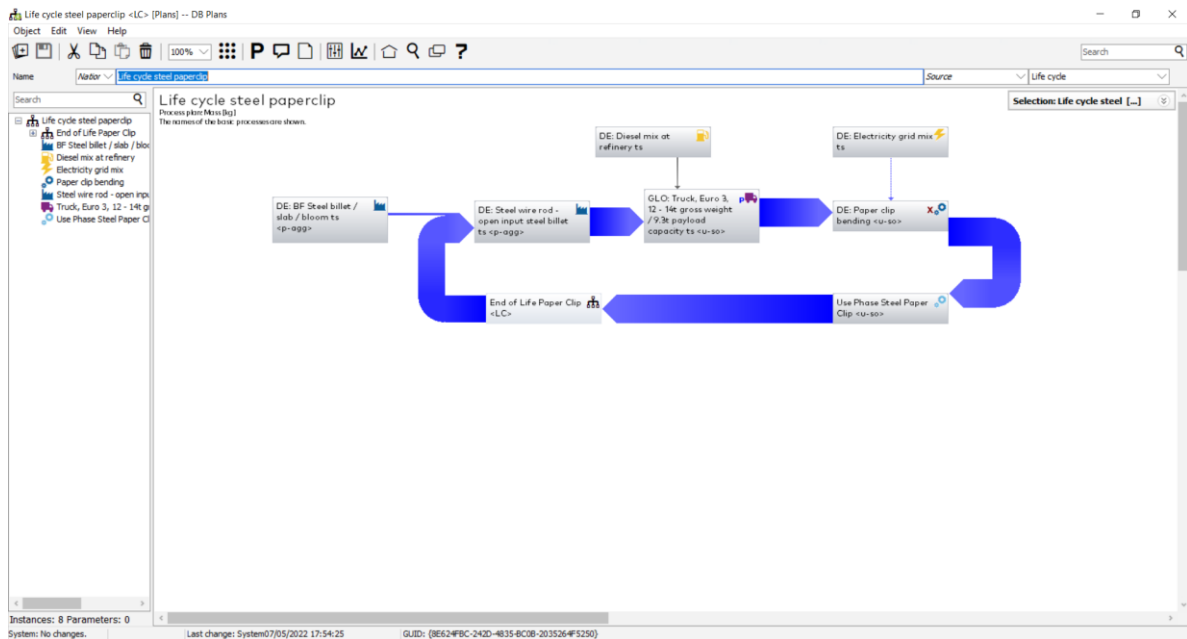
4.2.4. Princip rada

Na slici 5 prikazan je početni zaslon prilikom pokretanja programa. Prvi korak je učitavanje baze podataka, a zatim slijedi kreiranje plana. Osnovni modul plana jest „proces“. U korisničkom sučelju proces je vizualiziran kao pravokutnik. Procesi su faze u životnom vijeku nekog proizvoda (npr. proizvodni procesi, uporaba, oporaba, transport...). Procesi su okarakterizirani tzv. „tokovima“. Tokovi su ulazne i izlazne veličine iz procesa (npr. gorivo, aluminij, električna energija...). Svaki tok može biti okarakteriziran jednom ili više mjernih jedinica, odnosno, tokovi se mogu izraziti u različitim karakteristikama ili „količinama“.

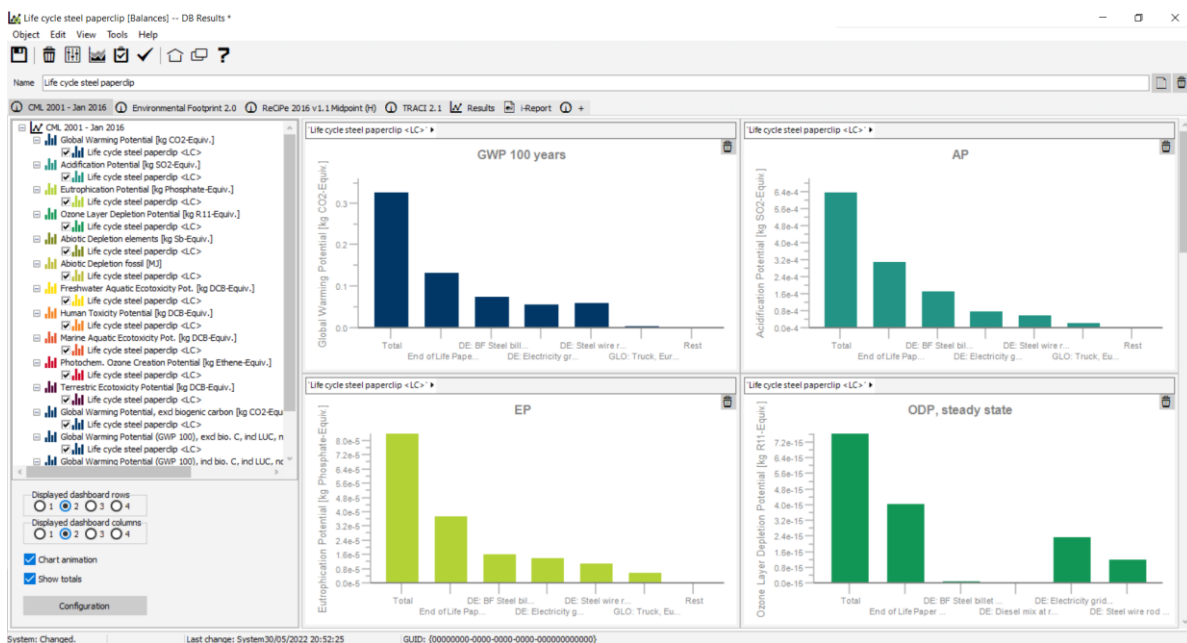
Povezivanjem procesa s tokovima dobiva se „plan“. Prosesi i tokovi se nalaze u bazama podataka. Prilikom odabira procesa i tokova korisnik bira i parametre tih procesa i tokova (npr. količine, udaljenosti...). Ako u bazi nema procesa, korisnik sam dodaje proces te ga definira prema parametrima. Nakon što je plan gotov korisničko sučelje izgleda kao na slici 6, Nakon dovršavanja plana slijedi analiza. Pokretanje analize je jednostavno i vrši se jednim klikom. Rezultati analize izgledaju kao na slici 7. GaBi automatski računa rezultate prema više karakterizacijskih modela, kao što se može vidjeti na slici 7.



Slika 5. Početni zaslon softvera GaBi



Slika 6. Dovršen plan analiziranog proizvoda



Slika 7. Rezultati analize životnog ciklusa

5. ULOGA PROCJENE ŽIVOTNOG CIKLUSA PROIZVODA U STRATEGIJI ODRŽIVOSTI NA RAZINI EUROPSKE UNIJE

5.1. Uvod

Još 2003. godine EK je prepoznala važnost kvantifikacije načina na koji proizvodi i usluge utječu na okoliš, te je objavila Komunikaciju Europskom parlamentu i Vijeću u kojoj zagovara važnost uvođenja procjene životnog ciklusa proizvoda za proizvode koji se kreću na europskom tržištu. [26] Koncept životnog ciklusa proizvoda i usluga pokazao se kao temeljan za razvoj europske politike o zelenoj tranziciji. Na slici 5 prikazan je vremenski tok događaja koji su obilježili razvoj LCA politike unutar Europske unije. Analizom Službenog lista Unije pokazalo se da je Europska Unija od 1990. do 2010. objavila više od 320 službenih dokumenata na temu procjene životnog ciklusa [27].



Slika 8. Vremenski pregled događaja bitnih za promicanje LCA politike u EU [28]

Kao odgovor na Komunikaciju iz 2003. godine, Europska unija osnovala je Platformu za procjenu životnog ciklusa (engl. *European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA)*) čija

je osnovna zadaća promicanje alata, informacija i metoda za procjenu životnog ciklusa, te stručna potpora pri donošenju odluka EU. Od 2013. do 2018. godine EK je u suradnji s EPLCA organizirala pilot-fazu projekta čiji je cilj bio uspostaviti sustav procjene životnog ciklusa proizvoda primjenjiv na sve proizvode na tržištu pod imenom Ekološki otisak (engl. *Environmental Footprint* (EF)). 2013. su objavljeni prvi, općeniti vodiči za izradu ekoloških otisaka za proizvode i organizacija (engl. *Product Environmental Footprint* (PEF), *Organisation Environmental Footprint* (OEF)), a tijekom pilot-faze sastavljena su pravila za neke kategorije ekološkog otiska proizvoda (engl. *Product Environmental Footprint Category Rules* (PEFCRs)) i sektorska pravila o ekološkom otisku organizacija (engl. *Organisation Environmental Footprint Category Rules* (OEFCR)) prema kojima se mjeri ekološki otisak za određene kategorije proizvoda ili organizacija. Nakon testne faze, uslijedila je prijelazna faza koja je trebala trajati do kraja 2021. godine, no prema službenim stranicama EPLCA prijelazna faza i dalje je aktualna. U prosincu 2021. objavljena je preporuka Komisije sastavljena na temelju izvješća iz testne i prijelazne faze u kojoj su objavljene detaljne upute o izradi PEF-a i OEF-a.

5.2. Metoda mjerenja ekološkog otiska proizvoda (pef-metoda)

5.2.1. Općenito

U ovom potpoglavlju detaljno će biti opisana PEF-metoda. Temeljena na LCA, PEF-metoda razvijena je kako bi podržala nekoliko inicijativa Europske komisije koje nastoje doprinijeti postizanju klimatske neutralnosti kroz formiranje harmoniziranog tržišta zelenih proizvoda u Europi, od kojih je za PEF-metodu najznačajnija Inicijativa za jedinstveno tržište zelenih proizvoda (engl. *Single market for green products initiative*). Inicijativa je potaknuta trenutnim stanjem na europskom tržištu koje je obilježeno niskim stupnjem harmonizacije u vidu ocjenjivanja održivosti proizvoda među zemljama članicama Unije, u kojem zbog velikog broja različitih unutar-državnih metoda i načina ocjenjivanja održivosti nekog proizvoda nije moguće jednostavno uspoređivati proizvode na temelju njihovog utjecaja na okoliš što dovodi do konfuzije potrošača i povećava troškove proizvođača koji žele svoj proizvod reklamirati kao zelen ili održiv u različitim državama. Jedinstveno tržište zelenih proizvoda zamišljeno je kao rješenje ovog problema te kao alat za transformaciju potrošačkih navika kako bi svi imali mogućnost doprinijeti postizanju europskih ciljeva za 2050. godinu. PEF-metoda nije stvorena iz nule već su za temelje metode uzeti postojeći standardi poput europskih ILCD uputa i serije normi ISO 14040, te je u pilot-fazi (2013.-2018.) i fazi

tranzicije (2018.-) stavljen naglasak na uključivanje industrije kroz mnogobrojne konzultacije, primjene i testiranja. Razvoj metode dijeli se na dva dijela: razvoj generalne PEF upute za izradu analize i razvoj specifičnih pravila vezanih za kategorije proizvoda, već spomenute PEFCR-ove. PEF-metodologija sadržana je u Vodiču za ekološki otisak (engl. *Product Environmental Footprint Guide*) objavljenom 2013. godine. Vodič je revidiran, te je 2019. objavljena preporuka kojom se izmjenjuju neke stavke Vodiča na temelju istraživanja provedenih u pilot-fazi.

5.2.2. Koraci u metodi

Budući da je PEF-metoda u suštini metoda procjene životnog ciklusa proizvoda, osnovni koraci ove metode odgovaraju generalnim koracima bilo koje LCA-studije, te su sljedeći:

1. definiranje ciljeva PEF-studije
2. definiranje opsega PEF-studije
3. inventar životnog ciklusa
4. procjena ekološkog otiska
5. tumačenje rezultata ekološkog otiska proizvoda
6. izvješće o ekološkom otisku, i na posljetku
7. verifikacija i validacija studije, izvješća i komunikacijskih kanala.

5.2.2.1. Definiranje ciljeva

Definiranje ciljeva služi za postavljanje jasnih smjernice za izvođenje studije, a to uključuje definiranje predviđene primjene, razloga za provedbu studije, ciljane publike, naručitelja studije i verifikatora.

5.2.2.2. Definiranje opsega

Definiranje opsega uključuje definiranje funkcionalne jedinice i referentnog protoka, granice sustava, kategorije učinka ekološkog utiska, dodatnih informacija i pretpostavki, odnosno, ograničenja.

5.2.2.2.1. Funkcionalna jedinica i referentni protok

Funkcionalna jedinica i referentni protok su centralne komponente svake LCA studije pa tako i PEF-a. Funkcionalna jedinica i s njom povezani referentni protok ishode se iz funkcije promatranog sustava. Funkcionalna jedinica imenuje i kvantificira svojstva te funkcije, a referentni protok je količina proizvoda potrebna za izvršavanje funkcije opisane funkcionalnom jedinicom. Za studiju PEF-a jasno je naznačeno što se traži pri određivanju funkcionalne jedinice:

1. “što”, odnosno koja je funkcija pružena
2. “koliko”, obujam funkcije
3. “koliko dobro”, razina kvalitete
4. “koliko dugo”, životni vijek proizvoda.

Nakon raščlanjivanja funkcije sustava na ova četiri aspekta, funkciji se pripisuje referentni tok koji se mjeri u nekoj mjerljivoj jedinici (SI sustava).

5.2.2.2.2. Granice sustava

Kako bi kvantifikacija sustava bila moguća potrebno je odrediti njegove granice, a u terminima procjene životnog ciklusa to se odnosi na odabir dijelova životnog ciklusa proizvoda i povezanih faza i procesa koji ulaze u analizu. Dijelovi životnog ciklusa koje zahtjeva PEF-metoda su svi: dobavljanje i praoblikovanje sirovina, proizvodnja, logističke faze (distribucija, skladištenje), uporaba i obrada na kraju životnog vijeka. Ovaj pristup se u LCA naziva engl. *cradle to grave* analiza, odnosno od kolijevke do groba. Uobičajen način prikazivanja faza i granica životnog ciklusa je pomoću dijagrama tokova.

5.2.2.3. Inventar životnog ciklusa

Poznat pod kraticom LCI (engl. *Life Cycle Inventory*), inventar životnog ciklusa označava skup svih ulaznih i izlaznih tokova sustava. Tokovi su materijali, energija, otpad te emisije u zrak, vodu i tlo. Tokovi se dijele na elementarne i neelementarne tokove. Neelementarni tokovi, npr. tokovi otpada modeliraju se do razine elementarnih tokova, npr. emisija. Inventar se gradi prema fazama životnog ciklusa. Svaka faza jasno je definirana:

- dobavljanje sirovina i praoblikovanje započinje s vađenjem resursa iz prirode, a završava ulaskom komponenti u proizvodni pogon proizvoda koji se procjenjuje;

- proizvodnja započinje s krajem prve faze, a završava kada proizvod izađe iz proizvodnog pogona
- faza distribucije započinje izlaskom proizvoda iz pogona, uključuje prijevoz do korisnika i moguće skladištenje na putu
- kada proizvod stigne do korisnika započinje faza uporabe. U fazi uporabe razmatra se samo utjecaj korištenja proizvoda, a otpad koji nastane nakon uporabe ulazi u iduću fazu, a to je
- faza kraja životnog vijeka koja uključuje odlaganje, uporabu ili recikliranje.

U okvirima PEF-metode objavljene su detaljne smjernice za modeliranje zasebnih faza ciklusa te one uključuju smjernice za: poljoprivrednu proizvodnju, uporabu električne energije, prijevoz i logistiku, kapitalna dobra (infrastrukturu i opremu), skladištenje u distribucijskom centru ili maloprodajnom objektu, postupak uzorkovanja, fazu uporabe, modeliranje kraja životnog vijeka, produljenje životnog vijeka, ambalažu, emisije i uklanjanja stakleničkih plinova, kompenzacije, upravljanje multifunkcionalnim procesima, zahtjeve za prikupljanje podataka i zahtjeve za kvalitetu te razgraničenje.

5.2.2.4. Procjena ekološkog otiska

Procjena ekološkog utiska, odnosno LCIA (engl. *Life Cycle Impact Assessment*) dijeli se na četiri koraka:

1. klasifikacija
2. karakterizacija
3. normalizacija
4. ponderiranje.

Ukratko, klasifikacija je proces kojim se svi zabilježeni ulazni/izlazni tokovi materijala i energije (inventar životnog ciklusa) dodjeljuju jednoj od šesnaest kategorija učinka ekološkog otiska. Kategorije učinka definirane u PEF-u su: klimatske promjene – ukupno, oštećenje ozonskog omotača, toksičnost za ljude – kancerogeni učinci, toksičnost za ljude – nekancerogeni učinci, čestice, ionizirajuće zračenje – ljudsko zdravlje, fotokemijsko nastajanje ozona – ljudsko zdravlje, acidifikacija, eutrofikacija – kopnena, eutrofikacija – slatkovodna, eutrofikacija – morska, ekotoksičnost – slatkovodna, uporaba zemljišta, uporaba vode, uporaba resursa – minerali i metali, uporaba resursa – fosilna goriva. Svaka kategorija učinka ima vezan pokazatelj kategorije i pripadajuću mjernu jedinicu, npr. pokazatelj

kategorije klimatskih promjena je potencijal globalnog zagrijavanja (GWP100), a mjeri se u kilogramima ekvivalenta ugljičnog dioksida ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}$), što će detaljnije biti opisano u drugom dijelu rada. Također za svaku kategoriju je odabran i model karakterizacije. Karakterizacija je “izračun opsega doprinosa svakog klasificiranog ulaznog i izlaznog toka odgovarajućim kategorijama učinka (...) i agregiranje doprinosa unutar svake kategorije”, a modeli karakterizacije su postavljeni matematički modeli koji opisuju tu vezu. Na temelju tih modela definirani su faktori karakterizacije koji “predstavljaju intenzitet učinka tvari u odnosu na zajedničku referentnu tvar za kategoriju učinka ekološkog otiska”, odnosno na pokazatelj kategorije. Koristeći ove faktore, dobiva se agregirani (zajednički) doprinos svih tokova određenoj kategoriji učinka, što pojednostavljuje rezultate te omogućava jednostavniju usporedbu. Nakon karakterizacije, rezultati se normaliziraju dijeljenjem faktorima normalizacije čime se dobivaju bezdimenzijski rezultati koji govore o doprinosu u odnosu na referentnu jedinicu, po stanovniku na temelju globalne vrijednosti. Na koncu, rezultati se ponderiraju s faktorima ponderiranja prema kategorijama učinka u koju spadaju kako bi se uračunala relativna važnost pojedinih kategorija. Ponderirani rezultati smiju se zbrojiti kako bi se dobila jedna konačna ocjena utjecaja na okoliš.

5.2.2.5. Tumačenje rezultata ekološkog otiska proizvoda

Kao što je spomenuto ranije u tekstu, tumačenje rezultata svake LCA studije pa tako i PEF studije vrši se iz dva razloga: za poboljšanje same studije te za izvođenje zaključaka na temelju kojih se mogu uspoređivati proizvodi ili raditi preporuke za poboljšanje ispitivanog proizvoda. Za ispunjavanje oba razloga potrebno je procijeniti solidnost modela provjerom potpunosti, osjetljivosti i dosljednosti te utvrditi najrelevantnije kategorije učinka, faze ciklusa, procese i elementarne tokove prema uputama danim u vodiču. Budući da je PEF-metoda stvorena kako bi se LCA studije harmonizirale i počele koristiti u svrhu uspoređivanja različitih proizvoda ili poboljšavanja postojećih na temelju jasno definiranog i strukturiranog utjecaja na okoliš, tumačenje rezultata gotovo je tek kada se na temelju analitičkih rezultata formiraju zaključci i odgovori na pitanja postavljena u opisu cilja studije te nakon što se formuliraju preporuke za korištenje rezultata studije.

5.2.2.6. Izvješća o ekološkom otisku

U izvješću o studiji o ekološkom otisku moraju se nalaziti sažetak, glavno izvješće s općim informacijama, ciljem i opsegom, analizom inventara, rezultatima i tumačenjima rezultata,

agregirani skup podataka usklađen s ekološkim otiskom i prilozi. Izvješće se usklađuje s predloškom izvješća koji se nalazi u prilogu Vodič za ekološki otisak.

5.2.2.7. Verifikacija i validacija

Svaka studija PEF-a mora biti verificirana i validirana ako je namijenjena bilo kojoj vrsti vanjske komunikacije. Verifikacija je ocjena sukladnosti s PEF vodičem, a validacija je provjera vjerodostojnosti i točnosti informacija i podataka iznesenih u studiji. Verifikaciju provode neovisni verifikatori koji ispunjavaju minimalne zahtjeve dane u vodiču. [29]

5.2.3. **Pravila o kategorijama ekološkog otiska proizvoda (PEFCR)**

PEF vodič je generalni dokument za sve proizvode na tržištu u kojem se nalaze opće metodološke smjernice, a PEFCR-ovi su specijalizirane upute razvijene za specifične kategorije proizvoda. Ideja je da se u okviru tranzicije ka jedinstvenom tržištu zelenih proizvoda razvije PEFCR za svaku kategoriju proizvoda. Za sada su razvijeni PEFCR-ovi za 19 kategorija. Primjenom PEFCR-ova omogućena je relevantna usporedba dvaju ili više proizvoda iz iste kategorije te određivanje superiornosti jednog proizvoda nad drugim ili pak u odnosu na neku referentnu vrijednost. Rangiranjem proizvoda prema njihovom ekološkom otisku moguće je ostvariti zelenu nabavu (javnu ili privatnu), što je još jedan od ciljeva održivog gospodarstva.

Među 19 kategorija za koje su razvijeni PEFCR-ovi ne nalazi se kategorija građevnih proizvoda. Naime, u sektoru građevinarstva i građevnih proizvoda već postoji ustaljeni sustav ocjene životnog ciklusa proizvoda, a temelji se na normama HRN ISO 21930:2009 i HRN EN 15804:2019, odnosno na Izjavama o utjecaju proizvoda na okoliš (engl. *Environmental Product Declaration* (EPD)), koje su generalno definirane u normi HRN EN ISO 14025:2010, [30] [29]

6. IZJAVA O UTJECAJU PROIZVODA NA OKOLIŠ (EPD)

6.1. Uvod

Izjava o utjecaju proizvoda na okoliš, poznatija pod kraticom EPD proizlazi iz norme HRN EN ISO 14025 gdje je definirana kao izjava o okolišu tip III. Temelji se na principima LCA prema seriji normi ISO 14040 te je namijenjena svim proizvođačima koji imaju želju deklarirati svoj proizvod ili uslugu prema kvantificiranom utjecaju na okoliš. U svijetu postoji mnogo EPD projekata koji su uglavnom vezani za države. Prvi EPD u povijesti objavila je švedska organizacija The International EPD System 2.2.1998. godine. U protekle 24 godine objavljen je velik broj EPD-ova, najviše u industrijama građevinarstva i agronomije [31], a u Europi su se na području izrade i verifikacije EPD-ova etablirale iduće organizacije: The International EPD System (Švedska), INIES (Francuska), IBU (Njemačka), PEP Ecopassport (Francuska), BRE Group (Velika Britanija), EPD-Norge (Norveška), EPD Denmark (Danska), EPD Ireland (Irska), EPD Italy (Italija) i dr. Izrada EPD-ova je dragovoljna te je prepuštena na odluku proizvođačima. Iako ne postoji strogi regulativni okvir kao za PEF-ove, javila se prirodna potreba za harmonizacijom različitih shema EPD-ova, koja je rezultirala u usklađivanju mnogih organizacija kroz zajednička prepoznavanja. Iako se generalno bilježi pomak prema naprijed u korištenju okolišnih deklaracija i EPD-ova, i daljnje nepostojanje unificiranog sustava dovelo je do potrebe EK da krene u stvaranje unificiranog EF sustava. Industrija koja se čini kao iznimka iz ovog jest upravo građevinarstvo u kojem je razina harmonizacije između EPD-ova na zadovoljavajućoj razini, a to je postignuto komplementarnim normama HRN ISO 21930:2009 i HRN EN 15804:2019,

6.2. Norma HRN ISO 21930:2009, „Održivost pri gradnji zgrada – Izjava o okolišu za građevne proizvode”

Ova norma nadograđuje se na normu HRN EN ISO 14025 u kojoj su dane generalne smjernice za izradu EPD-ova, a tiče se građevnih proizvoda, npr. krovnih pločica, betonskih zidova itd. Prema normi cilj izrade EPD-ova je omogućiti sudionicima tržišta građevnih proizvoda donošenje odluka pri odabiru proizvoda na način koji stavlja manje opterećenja na okoliš i resurse, što je u skladu i s ciljevima EF metode. HRN ISO 21930:2009 predviđa korištenje EPD-ova u tzv. b2b (engl. *business to business*) komunikaciji te u svrhu ocjenjivanja ekološkog učinka zgrada (što je definirano normom HRN ISO 21931-1:2010),

čime se djelomično udaljava od EF metode koja (zasad) ne veže analizu životnog ciklusa građevnih proizvoda za ocjenjivanje zgrada te je predviđena i za b2c (engl. *business to customer*) komunikaciju te interne potrebe firme. Ideja ekološkog učinka zgrada temelji se na ideji informacijskih modula, odnosno EPD-ova određenih komponenti zgrade (proizvoda) čijim se agregiranjem dobiva ekološki učinak čitave zgrade, što je opisano normom HRN ISO 21931-1:2011. Analogno PEFCR-ovima u PEF-metodi, izrada EPD-ova se u građevinarstvu naslanja na dokumente koji su poznati pod kraticom PCR (engl. *Product Category Rules*), pravila o kategoriji proizvoda. ISO norma 21930 ne može se smatrati PCR-om te je radi boljeg usklađivanja EPD-ova bilo potrebno jasnije odrediti metodu izrade pa se pojavila i jedna europska norma koja se smatra temeljnim PCR-om za građevne proizvode. Kako se svi građevni proizvodi zapravo mogu smatrati jednom velikom kategorijom proizvoda tako je izrađena norma EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 – Osnovna pravila za kategorizaciju građevnih proizvoda. Sve relevantne i ustaljene metode izrade EPD-ova u Europi podliježu toj normi. U nastavku će biti opisana ta norma kroz usporedbu s PEF-metodom.

6.3. Norma HRN EN 15804:2019/Ispr.1:2021 – Izjava zaštite okoliša – Osnovna pravila za kategorizaciju građevnih proizvoda

Norma EN 15804 prvotno je izdana od strane Europskog odbora za normizaciju (franc. *Comité Européen de Normalisation* (CEN)) 2012, godine kao temeljna pravila o kategoriji proizvoda za sve građevne proizvode i usluge. Tijekom pilot-faze EF-a Europska komisija zatražila je od CEN-a da revidira normu kako bi se bolje uskladila sa zahtjevima PEF-metode, čime je europska norma 15804 postala relevantnija od ISO norme 21930. Zadnja revizija provedena je 2019. godine te se njome EN 15804 još malo približila PEF-metodi. Normom su definirane informacije koje se moraju navesti u EPD-u, uključujući obavezne pokazatelje kategorija, obavezne faze životnog ciklusa koje moraju biti uključene u analizu, karakterizacijske modele koji se moraju koristiti, način izvještavanja, te su definirani zahtjevi na kvalitetu podataka koji se koriste i uvjeti pod kojima se proizvodi mogu uspoređivati na temelju EPD-ova [32].

Prema normi, analiza životnog ciklusa mora sadržavati minimalno tri faze: proizvodnju (dobavljanje sirovina, transport i samu proizvodnju), kraj života (rastavljanje, transport, rukovanje otpadom, odlaganje), prednosti i opterećenja izvan granica sustava (potencijal za ponovno korištenje, oporabu i recikliranje). Te faze nose oznake A1-A3 za tri dijela proizvodnje, C1-C4 za kraj života i D za zadnju fazu, odnosno opterećenja i koristi nakon

kraja životnog vijeka. S druge strane, PEF-metoda zahtjeva da se u analizu uvrsti i faza eksploatacije (uporabe) proizvoda.

Usporedba EPD-ova za građevne proizvode predviđena je da se vrši na razini čitave građevine, odnosno na temelju utjecaja proizvoda na LCA građevine u koju će biti ugrađen. EN 15804 ovime prepoznaje da građevni proizvodi nisu finalni proizvodi već su u svojoj namjeni dio veće cjeline, odnosno građevine. U kontekstu PEF-a ne postoji PEFCR za građevne proizvode te je za sada predviđena usporedba za te proizvode temeljena na generalnim smjernicama PEF-metode.

Objektive metode dopuštaju iznošenje bilo kakvih dodatnih informacija o utjecaju proizvoda na okoliš te zahtijevaju da se takve dodatne informacije jasno naznače u završnom izvještaju EPD-a.

Funkcionalna jedinica definirana je gotovo isto u obje metode, a zanimljivo je primijetiti kako se u prvoj verziji PEF-a funkcionalna jedinica nazivala jedinicom analize što se, uz još neku terminologiju, 2019. prilagodilo terminologiji CEN-ove norme u svrhu usklađivanja. U slučaju nemogućnosti definiranja funkcionalne jedinice zbog multifunkcionalne prirode proizvoda, odabire se jedna od deklariranih jedinica: komad, masa (kg), duljina (m), površina (m²) ili volumen (m³).

Pri odabiru podataka prednost se daje specifičnim podacima za proizvod koji se obrađuje. Ovdje se uzima u obzir nemogućnost pristupa specifičnim podacima za faze na koje proizvođač nema utjecaja, odnosno module A1 i A2, A4, A5, B1-B7 i C1-C4, Prema PEF-metodologiji ovi procesi se još nazivaju *upstream* i *downstream* procesi, te opisuju ostale faze uz fazu proizvodnje. *Upstream* (uzvodni) procesi odnose se na procese koji prethode samoj proizvodnji proizvoda (dobivanje materijala i proizvodnja poluproizvoda, prijevoz materijala do postrojenja A1, A2), a *downstream* (nizvodni) procesi se odnose na faze životnog vijeka koje dolaze nakon proizvodnje (A3), a to su prijevoz do mjesta korištenja, eventualna ugradnja na mjestu korištenja, samo korištenje proizvoda, održavanje, popravak, zamjena i renovacija, potrošnja energije i vode pri korištenju (A4, A5, B1-B7), kraj životnog vijeka, odnosno razgradnja, transport do postrojenja za obradu otpada, obrada otpada (ponovno korištenje, recikliranje, uporaba) i odlaganje (C1-C4). Sva dokumentacija i podaci koji se koriste moraju biti u formatu koji je propisan ILCD priručnikom, što važi i za podatke koji se koriste za PEF-metodu. Za usporedbu, ISO norma 21930 ne oslanja se na ILCD priručnik. Dok u normi 15804 nisu propisani izvori iz kojih se mogu uzimati sekundarni podaci, PEF

dopušta uzimanje sekundarnih podataka jedino iz izvora koji su u skladu s EF metodom, a koji se mogu naći na stranicama Europske platforme za procjenu životnog ciklusa [33].

HRN EN 15804 propisuje 13 obaveznih kategorija utjecaja i 6 dodatnih. U PEF-metodi obavezno je 16 kategorija. Budući da je PEF namijenjen *b2c* komunikaciji, kao što je već opisano u poglavlju o PEF-u, moguće je kategorije utjecaja normalizacijom i ponderiranjem pribrojiti te pokazati kolektivni utjecaj, dok EN 15804 to ne dopušta.

Obje metode zahtijevaju da se rezultati analize predaju u obliku izvještaja sa svim podacima korištenim u analizi, a PEF zahtijeva da ti izvještaji budu javni. Svaki EPD mora biti verificiran od treće nezavisne strane kako bi bio valjan. Verifikatori podliježu normi HRN EN ISO/IEC 17065– Ocjenjivanje sukladnosti – Zahtjevi za tijela koja provode certifikaciju proizvoda, procesa i usluga, a moraju biti upoznati s normama vezanim za LCA metodologiju (ISO 14040/14044), normama o izjavama o okolišu (ISO 14020, ISO 14025, EN 15804) te imati generalno znanje o industriji i proizvodu u pitanju, iskustvo u procjeni životnog ciklusa. [32,34]

7. PROVOĐENJE LCA ANALIZE NA PROIZVODU I IZRADA EPD-A

7.1. Uvod

U ovom poglavlju bit će opisan proces izrade LCA analize na konkretnom proizvodu te proces izrade EPD-a na temelju te analize životnog ciklusa. Analizirani proizvod je opločnik proizvođača Beton Lučko. Beton Lučko je proizvođač betonske galanterije i specijalnih betonskih elemenata s postrojenjima u Lučkom i u Karlovcu. Osim proizvodnje betonske galanterije i elemenata, Beton Lučko ulaže u istraživanje i razvoj novih proizvoda te surađuje s Građevinskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu na europskim projektima u području inovativnih građevinskih materijala.

7.2. Procjena životnog vijeka opločnika

U ovom odlomku detaljno će biti opisan proces izrade LCA analize opisanih opločnika pomoću GaBi softvera i vodeći se principima iz norme HRN EN 15804 i ICLD Handbook-a, koliko je to bilo moguće u vremenskim okvirima i s vještinom autorice ovog rada.

7.2.1. Cilj analize životnog vijeka opločnika

U okviru ovog diplomskog rada, provedena je izrada studije životnog vijeka opločnika s dva cilja:

- 1) procijeniti utjecaj životnog vijeka opločnika za izradu EPD-a za internu upotrebu proizvođača
- 2) upoznavanje s metodom LCA na praktičnom primjeru s realnim proizvodom kako bi se stekao uvid u primjenu teorijskog znanja stečenog u izradi prvog dijela ovog rada u industriji građevinarstva.

Ciljana publika je isključivo akademska zajednica, te zbog ograničenosti poznavanja metode te ograničenosti s pravima korištenja edukacijske verzije Gabi softvera, rezultati izneseni u ovom radu nisu namijenjeni za korištenje u *b2b* ili *b2c* komunikaciji.

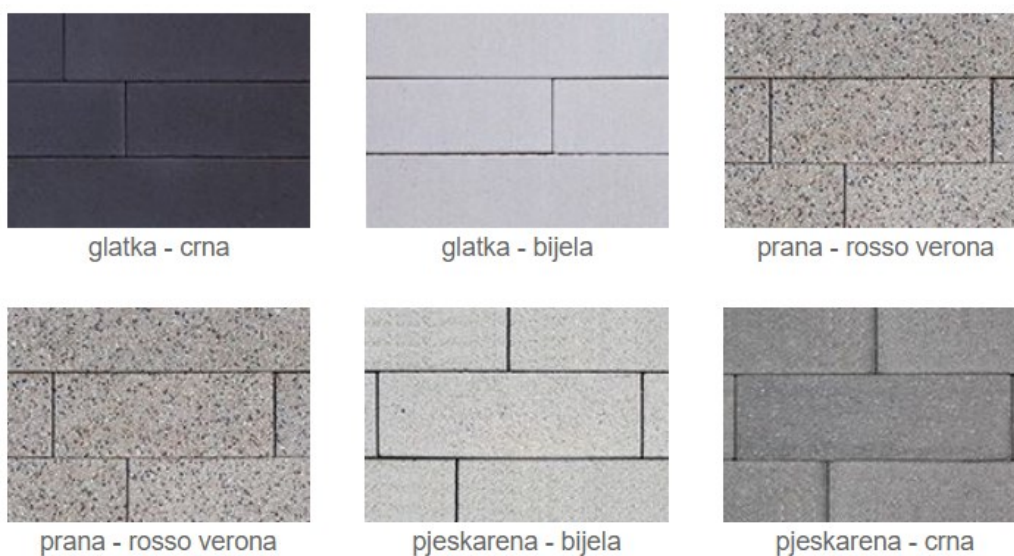
7.2.2. Opseg analize

7.2.2.1. Opis proizvoda



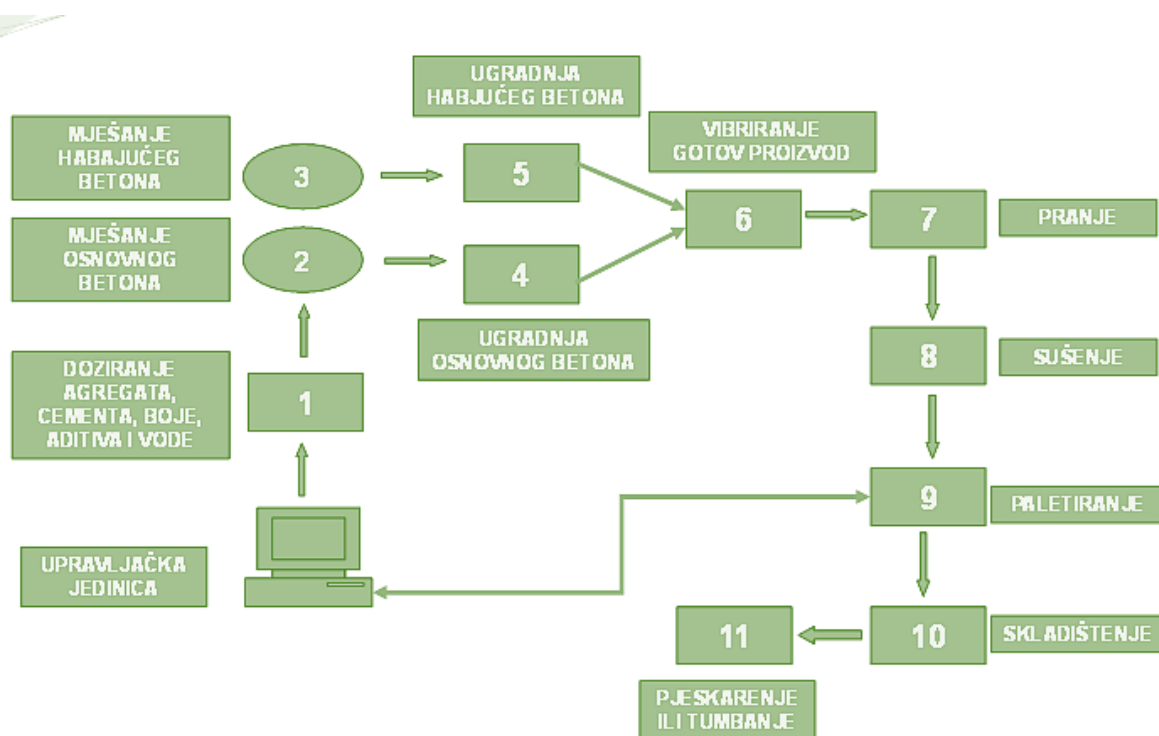
Slika 9. Primjer analiziranog proizvoda [35]

Opločnici su betonski elementi namijenjeni opločavanju vanjskih podnih površina sistemom polaganja. Uobičajeno se veličinom kreću u rasponu od nekoliko desetaka centimetara dužine i širine, te desetak centimetara debljine. Beton Lučko proizvodi 15 vrsta opločnika, te se oni razlikuju po završnoj obradi i boji. Na slici 10 dan je primjer različitih završnih obrada pločnika preuzet s internetske stranice proizvođača.



Slika 10. Primjer završnih obrada opločnika [35]

Opločnici Beton Lučkog izrađeni su od dva sloja betona – osnovnog i habajućeg. Osnovni sloj jednakog je sastava za sve opločnike, a habajući varira u sastavu kako bi se dobio željeni izgled i tekstura gornje površine opločnika. Budući da se svi opločnici izrađuju u istom pogonu istim proizvodnim procesom, za potrebe analize životnog vijeka pretpostavljeno je da su razlike u utjecaju na okoliš zasebnih vrsta opločnika zanemarive, te je analiza napravljena za čitav asortiman opločnika s modelom „City Line“ kao predstavnikom. Opločnici se proizvode u postrojenju u Lučkom. Proizvodni proces prikazan je na dijagramu na slici 11. Dijagram je dobiven od proizvođača.



Slika 11. Dijagram proizvodnje opločnika

Proces proizvodnje započinje doziranjem agregata, cementa, vode i dodataka (kemijski dodaci i boje) u miješalice. Za proizvodnju opločnika potrebne su dvije smjese. Za donji sloj koristi se sivi cement CEM II/B-M (S-V) 42,5 N, agregat 0/4 i 0/8 te aditivi. Svi materijali za donji sloj dobavljeni su od proizvođača iz Hrvatske. Za gornji sloj koristi se sivi ili bijeli cement, ovisno o modelu opločnika, a za potrebe analize uzet je bijeli cement jer on zbog udaljenosti s koje se dobavlja ima veći utisak na okoliš. Bijeli cement je tip CEM II/A-S 52,5 N te se dobavlja iz Slovačke, dok agregati i dodaci ostaju od istih dobavljača.

Nakon miješanja, beton se ugrađuje u kalupe. Jedan opločnik sastoji se od sloja osnovnog betona debljine 7 cm i sloja habajućeg betona debljine 1 cm. Nakon ugrađivanja slijedi vibriranje gotovog proizvoda. Vibriranje se provodi u cilju zbijanja betona. Masa svježe

miješanog betona odloženog u neki oblik obično je protkana zarobljenim zrakom. Ako se ostavi da očvrstne u tom stanju, beton će biti neujednačen, slab i porozan. Osim toga imat će i slab izgled. Smjesa se mora homogenizirati ako treba imati svojstva koja se normalno žele i očekuju od betona. Zbijanje za postizanje homogenosti je proces uklanjanja zarobljenog zraka iz svježeg betona. Zarobljeni zrak su nehotične i slučajne zračne šupljine u betonu. Vibracija kalupa se kombinira sa statičkim tlakom primijenjenim na gornje površine. Vibracija se sastoji u podvrgavanju betona brzim izmjeničnim impulsima koji „omekšavaju“ cementni mort i smanjuju unutarnje trenje između čestica agregata. Dok je u tom stanju, beton se sliježe pod djelovanjem tlaka i sile teže. Kada se vibracija prekine, trenje se ponovno uspostavi. Nakon zbijanja vibriranjem, beton se sabija tlakom pomoću uređaja koji se sastoji iz niza pečata (preša), te odlazi na sušenje. Nakon sušenja, betonski opločnici spremni su za eventualnu naknadnu obradu površine, te paletiranje i skladištenje. Po opločniku predviđen je otpad od 2 % proizvedenog opločnika.

7.2.2.2. Funkcionalna jedinica opločnika

Funkcija opločnika može se definirati kao sposobnost za prekrivanjem 1 m^2 podne površine u periodu od 50 godina u svrhu stvaranja podloge pogodne za opterećivanje hodanjem ili vožnjom. Kada bi se uzela funkcionalna jedinica od 1 m^2 opločnika ne bi se uzela u obzir dimenzija debljine opločnika. Kako bi se izbjegla nedoumica te omogućila usporedba rezultata s opločnicima drugih debljina uzeta je proglašena jedinica (engl. *declared unit*) od 1 m^3 opločnika.

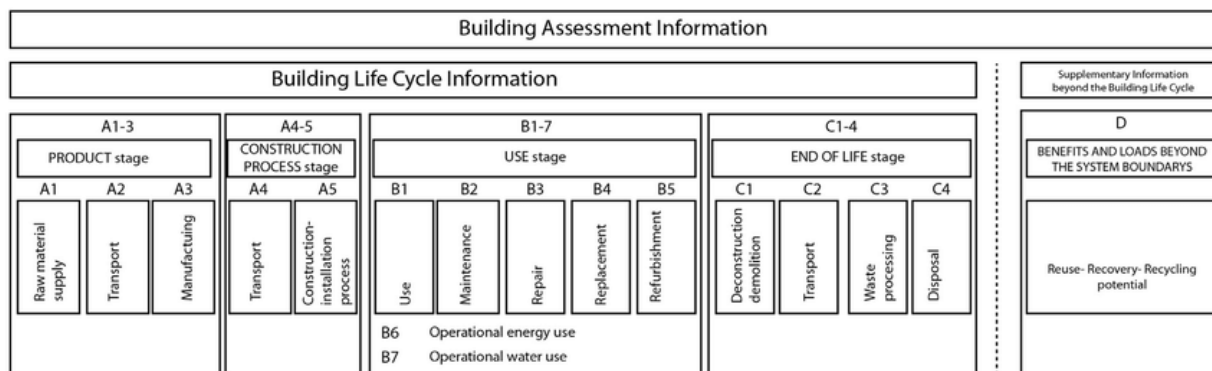
Tablica 1. Omjer veličina s funkcionalnom jedinicom proizvoda

	kg/m^3 opločnik	m^3/m^3 opločnik
Osnovni sloj	2080,00	0,89
Habajući sloj	298,00	0,13

7.2.2.3. Granice sustava

Opseg analize uključuje module životnog vijeka proizvoda pod oznakama A1- A3, C1-C4 . Prema normi HRN EN 15804 EPD mora sadržavati još i modul D, no zbog nedostatka podataka o emisijama i resursima potrebnim za oporabu građevinskog otpada modul D nije izračunat. Pregledom postojećih EPD-ova i PCR-ova koji se koriste u struci uočeno je kako mnogi EPD-ovi sadrže samo module A1-A3. Vodeći se primjerom iz struke, u EPD koji je

napravljen za potrebe ovog rada uvršteni su samo rezultati za te module, a LCA analiza je napravljena za sve module za koje su nađeni odgovarajući podaci, odnosno za navedene module A1-A3 i C1-C4. Na slici 12 mogu se vidjeti svi moduli i što oni obuhvaćaju:



Slika 12. Moduli životnog vijeka proizvoda [32]

Za navedene module opseg analize uključuje izradu inventara (LCI) i procjenu utjecaja životnog ciklusa (LCIA) kako je i traženo za EPD. Zbog manjka podataka iz analize su isključeni sljedeći procesi iz modula A3: paletiranje i skladištenje. Također, modul C je modeliran pod pretpostavkom da se nakon eksploatacije opločnika, 50 % mase opločnika reciklira, a 50 % mase odlaže na odlagalište otpada.

7.2.2.4. Inventar životnog ciklusa

Podaci za inventar vezani za sami proces proizvodnje opločnika dobiveni su direktno od proizvođača, dok su za uzvodne procese podaci djelomično uzeti iz Gabi Educational 2020, baze podataka, a djelomično iz literature. Podaci koje je ustupio proizvođač su količine i vrste ulaznih materijala, dobavljači ulaznih materijala, količina ulazne električne energije, količina utrošene vode te dobiveni proizvodi. Podaci o ulaznim materijalima, utrošenoj energiji i vodi, te emisijama za korištene cemente nađeni su u literaturi [36–40], podaci o kraju životnog vijeka su uzeti iz literature [41], a za agregate, transport i izvore energije su uzeti podaci iz baze podataka.

7.2.2.5. Metodologija procjene utjecaja životnog ciklusa

Prema HRN EN 15804 obavezne kategorije utjecaja dane su u tablici 2, te je prema njima provedena procjena utjecaja životnog ciklusa. Ove kategorije bit će detaljnije objašnjene u točki 7.2.5.

Tablica 2. Obavezne kategorije utjecaja prema HRN EN 15804:2019

KATEGORIJA UTJECAJA	INDIKATOR	MJERNA JEDINICA
Klimatske promjene – ukupno	Potencijal globalnog zatopljenja – total	kg CO ₂ eq.
	GWP-total (engl. <i>Global Warming Potential</i>)	
Klimatske promjene – fosilne	Potencijal globalnog zatopljenja – fosilna goriva	kg CO ₂ eq.
	GWP-fosil	
Klimatske promjene – biogene	Potencijal globalnog zatopljenja – biogeni	kg CO ₂ eq.
	GWP-biogeni	
Klimatske promjene - LULUC	Potencijal globalnog zatopljenja – LULUC	kg CO ₂ eq.
	GWP-luluc	
Osiromašivanje ozona	Potencijal osiromašenja stratosferskog sloja ozona	kg CFC 11 eq.
	ODP (eng. <i>Ozone Depletion Potential</i>)	
Acidifikacija	Potencijal zakiseljavanja	mol H ⁺ eq.
	AP (eng. <i>Acidification Potential</i>)	
Eutrofikacija – slatka voda	Potencijal eutrofikacije slatkovodni, sadržaj razgradivog organskog materijala u slatkoj vodi	kg PO ₄ eq.
	EP-slatkovodni (eng. <i>Eutrophication Potential</i>)	
Eutrofikacija –morska voda	Potencijal eutrofikacije-morski, sadržaj razgradivog organskog materijala u moru	kg N eq.
	EP-more	
Eutrofikacija - kopno	Potencijal eutrofikacije na kopnu	mol N eq.
	EP-kopno	
Fotokemijski smog	Potencijal nastajanja troposferskog ozona	kg NMVOC eq.
	PCOP (eng. <i>Photochemical Ozone Creation Potentials</i>)	
Osiromašivanje abiotskih resursa – minerali i metali	Potencijal abiotskog osiromašivanja za ne-fosilne resurse	kg Sb eq.
	ADP-minerali&metali (eng. <i>Abiotic Depletion Potential</i>)	
Osiromašivanje abiotskih resursa – fosilna goriva	Potencijal abiotskog osiromašivanja za fosilne resurse	MJ, neto kalorična vrijednost
	ADP-fosil	

Uporaba vode	Potencijal nedostatka vode	m ³ eq. svijeta u nedostatku vode
	WDP (engl. <i>Water Depletion Potential</i>)	

7.2.2.6. Inventar životnog ciklusa (LCI)

Kao što je već spomenuto u prethodnoj točki, inventar je sastavljen iz tri izvora:

- 1) podaci o procesu od proizvođača opločnika
- 2) javno dostupna literatura
- 3) baza podataka Gabi Education 2020,

Podaci pod brojem 1) dani su u tablici 3, Količine su dane u odnosu na funkcionalnu jedinicu, odnosno 1 m³ opločnika. Zbog nedostatka točnih podataka pretpostavljena gustoća betona je 2400 kg/m³. Vrijednost količine električne energije dobivena je iz mjesečne potrošnje pogona. CEM II oznaka je za cement koji u sebi osim klinkera sadrži i određenu količinu zamjenskog materijala prema normi HRN EN 197-1:2012.

Tablica 3. Podaci od proizvođača

PROCES	MATERIJALI/ RESURSI	ENERGIJA/ GORIVO	KOLIČINA	MJERNA JEDINICA
OPLOČNIK	Beton osnovnog sloja		2080,00	kg/m ³
	Beton habajućeg sloja		298,00	kg/m ³
BETON OSNOVNOG SLOJA	CEM II sivi		295,00	kg/m ³
	Prirodni agregat		1734,00	kg/m ³
	Voda		110,00	kg/m ³
			Električna energija	2,00
BETON HABAJUĆEG SLOJA	CEM II bijeli		46,60	kg/m ³
	Prirodni agregat		216,00	kg/m ³
	Voda		110,00	kg/m ³
			Električna energija	2,00

Podaci pod brojem 2) dani su u tablici 4. Literatura za CEM II sivi cement je studija o utjecaju na okoliš izrađena od strane proizvođača tog cementa u lipnju 2022. [36]. Proizvođač je Holcim cementara u Koromačnom u Hrvatskoj, a izrađivač studije IVICOM Consulting d.o.o. U studiji su nađeni podaci o potrošnji goriva i toplinske energije, te emisijama iz 2020. godine, te podaci o ulaznim sirovinama i materijalima iz 2009. godine. Ovi podaci smatraju se relevantnima budući da su podaci o gorivima, toplinskoj energiji i emisijama recentni, a pretpostavka je da se ulazni materijali i sirovine nisu značajno promijenili od 2009. godine. Literatura za CEM II bijeli cement je obavijest o povećanju kapaciteta rotacijske peći za proizvodnju bijelog portland klinkera povezano s proširenjem gorivne baze novim vrstama alternativnih goriva koju je objavio proizvođač, cementara Rohožnik u Slovačkoj u vlasništvu CRH (Slovensko) a.s.

Tablica 4. Podaci o proizvodnji cementa

PROCES	MATERIJALI/ RESURSI	ENERGIJA/ GORIVO	KOLIČINA	MJERNA JEDINICA	
CEM II SIVI	Kotlovska šljaka		0,0066	kg/kg _{cem}	
	Željezni oksid		0,0037	kg/kg _{cem}	
	Lapor visoki		0,4094	kg/kg _{cem}	
	Lapor niski		0,7847	kg/kg _{cem}	
	Lapor ukupni		1,1942	kg/kg _{cem}	
	Vapnenac iz lapora		0,8956	kg/kg _{cem}	
	Glina iz lapora		0,2985	kg/kg _{cem}	
	Pijesak		0,0070	kg/kg _{cem}	
	Vapnenac		0,0517	kg/kg _{cem}	
	Zgura		0,1006	kg/kg _{cem}	
	Gips		0,0390	kg/kg _{cem}	
	Leteći pepeo		0,0684	kg/kg _{cem}	
	Filtarska prašina		0,0239	kg/kg _{cem}	
	Aditivi (željezo sulfat)		0,0007	kg/kg _{cem}	
	Voda		0,0400	kg/kg _{cem}	
	Tehnološka voda		0,1260	kg/kg _{cem}	
		Dizel		0,5510	kg/kg _{cem}
		Lako lož ulje		0,5450	kg/kg _{cem}

Tablica 4. - nastavak

		Petrol koks	0,0153	kg/kg _{cem}
		Otpadne gume	0,0097	kg/kg _{cem}
		Otpadno ulje	0,0053	kg/kg _{cem}
		Otpadne emulzije	0,0011	kg/kg _{cem}
		Mulj iz otpadnih voda	0,0003	kg/kg _{cem}
		Teško lož ulje	0,0004	kg/kg _{cem}
		Električna energija	0,0974	MJ/kg _{cem}
		Toplinska energija (ugljen)	1,5300	MJ/kg _{cem}
	Vapnenac (klinker)		1,2381	kg/kg _{cem}
CEM II BIJELI	Vapnenac (cement)		0,0164	kg/kg _{cem}
	Gips (klinker)		0,0566	kg/kg _{cem}
	Gips (cement)		0,0410	kg/kg _{cem}
	Zgura		0,1802	kg/kg _{cem}
	Prašina iz peći		0,0124	kg/kg _{cem}
	Dietilenglikol		0,0005	kg/kg _{cem}
	Glinav(kaolin)		0,1847	kg/kg _{cem}
	Pijesak		0,1267	kg/kg _{cem}
	NaHCO ₃		0,0062	kg/kg _{cem}
	NH ₃		0,0026	kg/kg _{cem}
	Voda (ukupno)		1,0000	kg/kg _{cem}
		Petrolkoks	0,1041	kg/kg _{cem}
		Prirodni plin	0,0187	kg/kg _{cem}
		Lož ulje	0,0001	kg/kg _{cem}
		Otpad	0,0098	kg/kg _{cem}
		Električna energija	0,3800	MJ/kg _{cem}

Iz literature su također uzeti podaci o kraju životnog vijeka, odnosno podaci za EoL (engl. *End of Life*) model [41]. Ovi podaci nisu potpuno adekvatni zbog geografsko temporalnih izvora iz kojih dopiru, no u nedostatku boljih uzeti su za potrebe analize. Podaci prikazani u tablici 5. dani su u MJ po metru kubnom betona.

Tablica 5. Podaci o EoL

EoL			
PROCES	GORIVO	KOLIČINA	MJERNA JEDINICA
Rušenje	Lako lož ulje	91,70	MJ/m ³ betona
Odlaganje	Lako lož ulje	9,30	MJ/m ³ betona
Recikliranje	Lako lož ulje	17,50	MJ/m ³ betona

Iz baze podataka uzeti su procesi za proizvodnju agregate. Budući da je korištena edukacijska verzija softvera i pripadajuće baze podataka, izbor nije bio velik, no uslijed proučavanja literature zaključeno je da najveći utjecaj na okoliš u proizvodnji betona ima cement, te da je za potrebe ove studije prihvatljivo uzeti gotovi model za procese proizvodnje agregata.

7.2.2.7. Transport

Transport je zasebna kategorija u inventaru životnog ciklusa. Modelira se prema opterećenju (masi koja se prevozi) te udaljenosti, a koriste se modeli prijevoza iz baza podataka. U slučaju ove analize sav transport je cestovni prijevoz kamionima, a kratak pregled dan je u tablici 5. Budući da nije poznat scenarij na kraju životnog vijeka opločnika pretpostavilo se da su udaljenosti 100 km za odlagalište i 100 km za reciklažno dvorište.

Tablica 6. Podaci o transportu

TRANSPORT			
PUT	VRSTA VOZILA	UDALJENOST [km]	OPTEREĆENJE [kg]
Dostava CEM II sivi do pogona	Kamion s prikolicom	230,00	295,00
Dostava CEM II bijeli do pogona	Kamion s prikolicom	450,00	49,60
Dostava agregata (ukupno)	Kamion	172,00	1950,00
Odvoz na odlagalište	Kamion	100,00	1166,50
Odvoz na recikliranje	Kamion	100,00	1166,50

7.2.3. Modeliranje sustava u GaBi softveru

Postupak modeliranja sustava uključuje modeliranje procesa proizvodnje samih opločnika, modeliranje procesa proizvodnje cemenata, te odabir odgovarajućih procesa iz baze podataka za procese proizvodnje agregata. Također, uključuje odabir odgovarajućih modela transporta i energije iz baze, te odabir elementarnih protoka potrebnih za stvaranje procesa. Na slici 13 na

idućoj stranici prikazan je izrađeni plan za proizvodnju opločnika. Plan se sastoji od procesa i podplanova koji su dani u tablici 6.

Tablica 7. Popis planova, podplanova i procesa

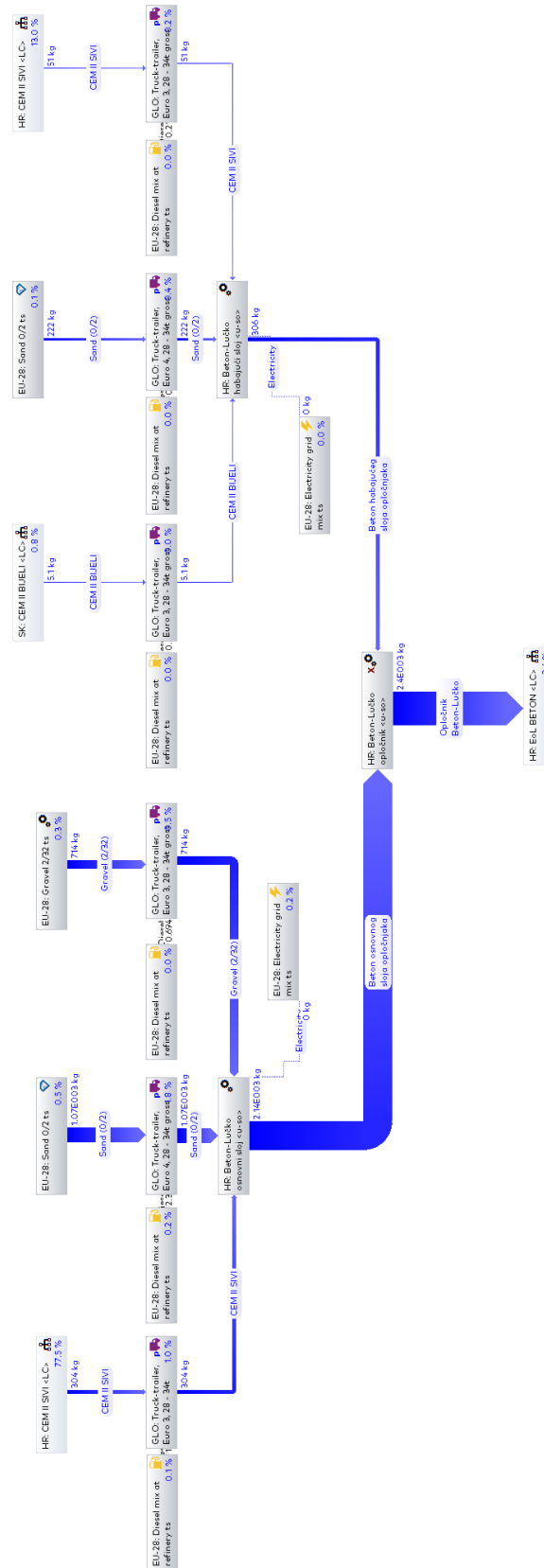
PLANOVI	PODPLANOVI	PROCESI	NAZIV PROCESA U BAZI PODATAKA	
Proizvodnja opločnika		Beton Lučko habajući sloj		
		Beton Lučko osnovni sloj		
		Beton Lučko opločnik		
		Dizel	Diesel mix at refinery (EU-28)	
		Agregat grubi	Gravel 2/32	
		Agregat fini	Sand 0/2	
		Kamion	Truck-trailer, Euro 3, 28-34 gross weight/22t payload capacity	
		Kamion	Truck-trailer, Euro 4, 28-34 gross weight/22t payload capacity	
		Električna energija	Electricity grid mix (HR/SK)	
		CEM II SIVI	CEM II sivi	
		Dizel	Diesel mix at refinery (EU-28)	
		Lako lož ulje	Light fuel oil at refinery (EU-28)	
		Petrol koks	Petroleum coke at refinery (EU-28)	
		CEM II BIJELI	CEM II bijeli	
		Petrol koks	Petroleum coke at refinery (EU-28)	
		Dietilenglikol	Diethylene glycol by product ethylene glycol from ethene and oxygen via EO(DE)	
		Amonijak	Ammonia (NH ₃) production mix, without CO ₂ recovery (carbon dioxide emissions to air)	
		EO L BETON	Vađenje i lomljenje opločnika	
		Odlaganje betonskog otpada		
		Recikliranje betonskog otpada		
		Dizel	Diesel mix at refinery (EU-28)	

Tablica 7. - nastavak

		Toplinska energija iz lakog lož ulja	Thermal energy from light fuel oil (LFO)
		Kamion	Truck, Euro 3, 20-26t gross weight/17,3 payload capacity
		Kamion	Truck, Euro 3, up to 7,5 gross weight/2,7 payload capacity

Ovi procesi odgovaraju procesima na planu sa slike 13 te su označeni pravokutnicima. Centralni proces proizvodnje opločnika na ovom planu je pravokutnik pod nazivom HR: Beton Lučko opločnik. Ulazni procesi su s lijeve i desne strane pod nazivima Beton Lučko osnovni sloj i Beton Lučko habajući sloj, te oni označavaju miješanje dvije vrste betona (osnovni i završni) potrebne za izradu opločnika. Ulazni procesi u te procese su procesi proizvodnje cementa i agregata. Između se mogu vidjeti procesi pod imenom GLO: Truck-trailer, te oni opisuju transport materijala do pogona. Zadnji proces je proces kraja životnog vijeka, te se on nalazi ispod centralnog procesa. Procesni proizvodnje cementa i kraja životnog vijeka zapravo izvedeni su kao podplanovi glavnog plana, unutar kojih su izrađeni navedeni procesi. Izrada procesa radi se onda kada se u bazi podataka ne može pronaći proces koji prikladno opisuje proces u pitanju ili kada postoje konkretni podaci za taj proces, čime se povećava točnost čitave analize. Kada se proces izrađuje samostalno onda se uzimaju podaci npr. iz literature ili od proizvođača, odnosno iz prve ruke. Postupak izrade procesa će biti objašnjen na primjeru sivog cementa. U tom primjeru bit će objašnjeni i procesi koji su integrirani u baze podataka kao i funkcija tokova u procesima.

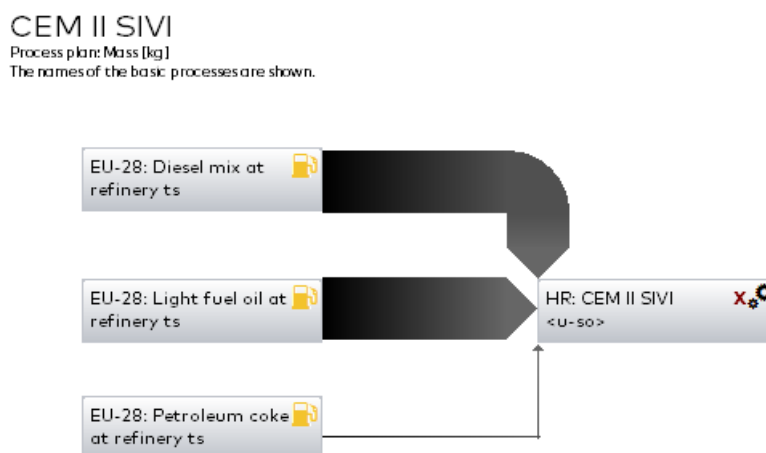
PROIZVODNJA OPLOČNIKA; BETON-LUČKO
 Process from MacroEg | Jan 2016, Global Warming Potential (GWP100) year0
 LCA viewer: CML2001 | Jan 2016, Global Warming Potential (GWP100) year0
 The remainder of the data is processed on demand.



Slika 13. Model životnog ciklusa opločnika s modulima A1-A3 i C

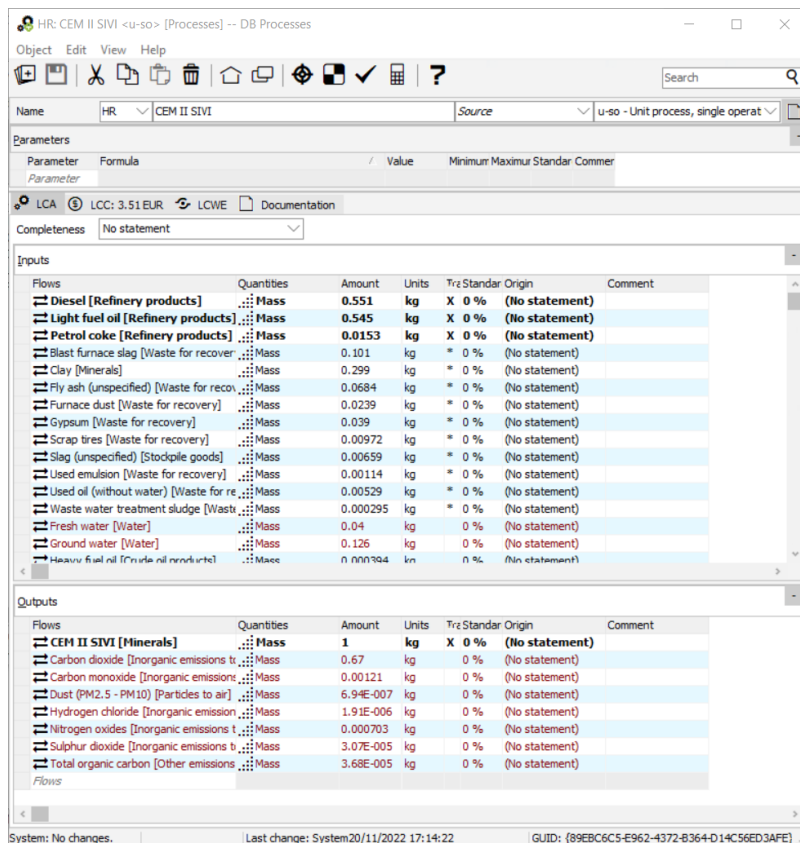
7.2.3.1. Primjer modeliranja procesa

U 4.2.4. ukratko je opisan proces stvaranja planova. Na slici 14 prikazan je plan kojim se opisuje proizvodnja sivog cementa (CEM II SIVI). Polazna točka ovog plana je proces koji je na slici prikazan desnim pravokutnikom pod imenom HR: CEM II SIVI.

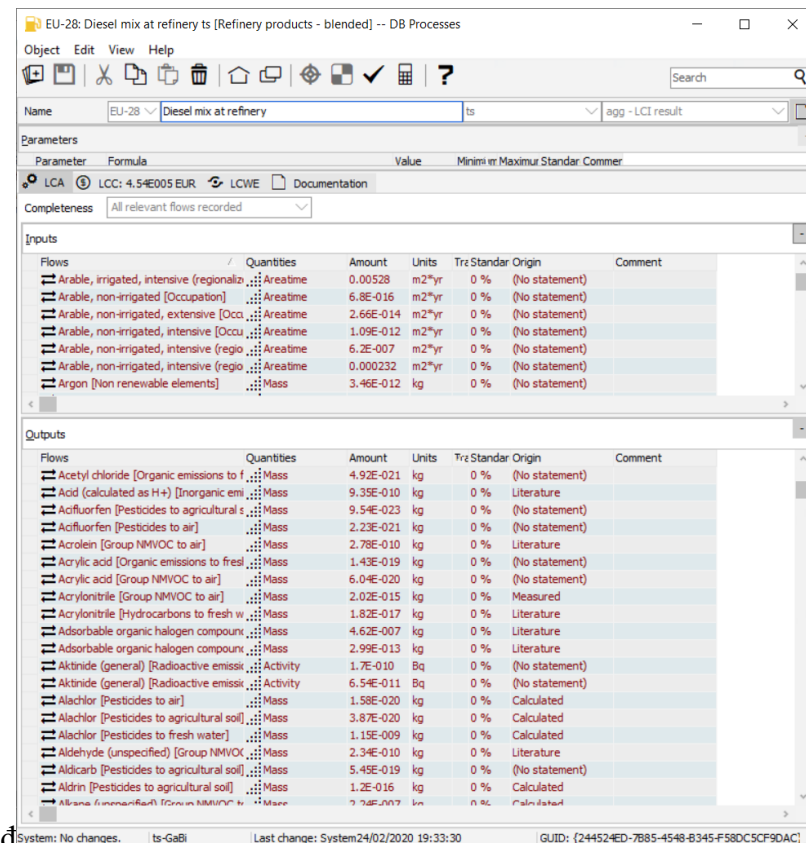


Slika 14. Plan proizvodnje sivog cementa

Kada se otvore detalji tog procesa prikaže se prozor sa slike 14. U tom prozoru vide se postavke procesa. Proces je definiram s ulaznim (engl. *Inputs*) i izlaznim (engl. *Outputs*) tokovima (engl. *Flows*). Proces se definira tako da se iz baze podataka biraju tokovi koji odgovaraju onim tokovima kojima mi želimo definirati proces (v. tablicu 4 za proces proizvodnje sivog cementa). Svaki tok u bazi podataka u sebi nosi izračunati utjecaj na okoliš, te su upravo tokovi temelj za procjenu životnog vijeka. Dakle, odgovornost autora je odabrati reprezentativni tok iz baze podataka te ga definirati odgovarajućom veličinom te odlučiti hoće li taj tok biti „praćen“ (engl. *tracked*) ili neće. Praćeni tokovi su oni koji se mogu povezati dalje u planu. U ovom slučaju odabrani su praćeni tokovi za dizel, lož ulje i petrol koks jer za njih postoje gotovi procesi u bazi podataka što znači da se ti tokovi imaju gdje povezati. Povezivanje tokova na planu prikazano je strjelicama čija je debljina proporcionalna s količinom toka koji se povezuje. Pokraj strjelica može biti navedena vrsta i količina toka. Na slici 15. prikazane su postavke procesa pod imenom EU-28: Diesel mix at refinery kao primjer procesa iz baze podataka. EU-28 označava da je ovaj proces izrađen kao prosjek 28 europskih zemalja te se kao takav koristi u slučaju kada nije poznato točno mjesto proizvodnje. Ovaj prikaz zorno prikazuje razinu detalja koja je potrebna za kvalitetnu analizu životnog vijeka; što se više izmjerenih podataka uvrsti u analizu to će rezultat biti vjerniji stvarnosti.



Slika 15. Postavke procesa proizvodnje sivog cementa



Slika 16. Postavke procesa proizvodnje dizela

7.2.4. Procjena utjecaja životnog vijeka

Nakon izrade inventara potrebno je izračunati utjecaj pojedinih procesa na okoliš prema kategorijama danim u tablici 2. U nastavku je dan kratak pregled kategorija prema [19]. Sve kategorije su „mid-point“ (v. 4.1.2.3.1).

7.2.4.1. Klimatske promjene

Klimatske promjene određene su zagrijavanjem klime uslijed ljudskih aktivnosti. Glavni doprinos zagrijavanju klime imaju emisije stakleničkih plinova (engl. *greenhouse gases* (GHG)). Staklenički plinovi su plinovi koji imaju sposobnost apsorpcije i emisije toplinske energije. Primarni GHG-ovi u Zemljinoj atmosferi su: vodena para (H_2O), ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4), dušikov oksid (N_2O) i ozon (O_3). Indikator ove kategorije je potencijal globalnog zatopljenja (GWP). GWP je razvijen od strane IPCC-a, te se smatra jednim od bolje definiranih indikatora. Koristi se u svim LCIA metodologijama. GWP, mjereno u $kg\ CO_2\ eq.$, predstavlja potencijale klimatskog zagrijavanja stakleničkih plinova u odnosu na potencijal ugljičnog dioksida u nekom vremenskom razdoblju (20, 100, 200, 500 godina, odnosno GWP_{20} , GWP_{100} itd.). Potencijal klimatskog zagrijavanja opisan je apsorbiranim Sunčevim infracrvenim zračenjem. GWP ugljičnog dioksida je 1, GWP_{20} metana 62 itd. Zanimljivo je spomenuti kako se GWP ne povećava linearno proporcionalno povećanju promatranog razdoblja već ovisi o mehanizmima raspada određenih plinova. Npr., GWP_{100} metana je 23, što je gotovo tri puta manje od $GWP_{20}\ CH_4$. Ovaj primjer ukazuje na kompleksnost metodologije koja stoji iza LCIA.

7.2.4.2. Osiromašivanje ozona

Stratosferski ozon je sloj ozona koji štiti Zemlju od UVB (ultraljubičasto tip B) zračenja. Osiromašivanje ozona opisuje proces kojim se taj sloj smanjuje te prestaje štiti Zemlju. Do osiromašivanja omotača dolazi uslijed reakcija između molekula ozona i atoma klora ili broma iz klorofluorouglijika (CFC), hidroklorofluorouglijika (HCFC) i halogeniranih ugljikovodika (halona). Upotreba plinova koji sadrže ove spojeve postepeno je zabranjena Montrealskim protokolom iz 1987., što je rezultiralo u smanjenju tzv. ozonskih rupa. Osim ovih spojeva, na ozon utječu i N_2O , CH_4 i CO_2 . Dušikov oksid ulaskom u stratosferu također razara molekule ozona. CO_2 usporuje osiromašivanje ozona. Kao GHG on apsorbira toplinu iz stratosfere te jeemitira u troposferu čime usporava oslobađanje slobodnih radikala iz prethodno navedenih plinova. CH_4 utječe i pozitivno i negativno. Poput CO_2 , metan usporava

formiranje slobodnih radikala, no u isto vrijeme dovodi do raspada ozona drugim kemijskim mehanizmima. Za sada se pri računanju ODP-a uzimaju u obzir samo plinovi zabranjeni Montrealskim protokolom. Osiromašivanje se mjeri potencijalom osiromašivanja ozona (ODP). To je omjer promjene u ozonu uzrokovane jedinicom emisije određene tvari u odnosu na promjenu u ozonu uzrokovanom emisijom triklorofluorometana (CFC-11), a mjerna jedinica je $\text{kg CFC-11}_{\text{eq}}$.

7.2.4.3. Acidifikacija

Acidifikacija, odnosno zakiseljavanje, je smanjivanje pH vrijednosti kopna, mora i slatkih voda. Acidifikacija vodenih masa uzrokovana je apsorpcijom povećanih razina ugljičnog dioksida u atmosferi, dok je acidifikacija kopna uzrokovana kiselim kišama, odnosno deponiranjem anorganskih tvari poput oksida sumpora ili dušika te kemijskih spojeva fosfora koji se koriste u gnojivima. Posljedica ovih kemijskih mehanizama je povećana razina H^+ iona u vodi ili kopnu. Mjerna jedinica, H^+_{eq} odnosi se na utjecaj zakiseljavanja 1 kg neke tvari u odnosu na 1 kg vodikovih iona.

7.2.4.4. Eutrofikacija

Povećana razina nutrijenata, poglavito fosfora i dušika u vodenom i kopnenom okolišu dovodi do promjena u ekosustavima. Na kopnu se to očituje smanjenjem biodiverziteta. Eutrofikacija vodenih okoliša uzrokuje tzv. cvjetanje mora ili slatkih voda. Povećana količina nutrijenata dovodi do rasta biomase (algi i drugih vodenih biljnih vrsta). Odumiranjem ove povećane količine biomase troši se kisik u tijelima vode te dolazi do odumiranja drugih vrsta kojima je potreban kisik za život te se time smanjuje biodiverzitet vodenih okoliša. Kopnena eutrofikacija se mjeri u akumuliranom prekoračenju kritičnih opterećenja eutrofikacije što se izražava u ekvivalentima 1 mola dušika po hektaru po godini. Morska eutrofikacija se mjeri u ekvivalentima kilograma dušika, a slatkovodna u ekvivalentima kilograma fosforovog oksida.

7.2.4.5. Fotokemijski smog

Ova kategorija bavi se utjecajem troposferskog ozona koji nastaje iz antropogenih izvora dušikovih oksida i hlapljivih organskih spojeva (bez metana) (NMVOC) pod utjecajem Sunčevog zračenja. Dušikovi oksidi i hlapljivi organski spojevi nalaze se u ispušnim plinovima vozila na unutarnje izgaranje. Nastanak fotokemijskog smoga vezan je za cestovni promet te vremenske uvjete. Najčešće se javlja ljeti u vrijeme gužvi na prometnicama.

Indikator fotokemijskog smoga je potencijal stvaranja fotokemijskog ozona (POCP) te on pokazuje potencijal neke tvari da stvori ozon u troposferi u odnosu na etilen. Potencijal je zbroj emisija NMVOC-ova i ekvivalentnih dušikovih oksida.

7.2.4.6. Osiromašivanje abiotskih resursa

Abiotički prirodni resursi su neživi resursi poput metala, minerala, fosilne i nuklearne energije, atmosferskih resursa (npr. argona) i energija koje se dobivaju iz protoka tvari (npr. energija vjetra). Trošenje resursa mjeri se potencijalom abiotskog osiromašivanja (ADP). ADP se temelji na omjeru korištenja i zalihe resursa. Potencijal se izražava u odnosu na referentnu tvar antimon za elementarne vrste (metali, minerali), a za fosilnu energiju se izražava u MJ.

7.2.4.7. Uporaba vode

Kategorija koja opisuje uporabu vode na Zemlji temelji se na AWARE-metodi (engl. *Available Water Remaining*). Metoda se temelji na razlici između dostupnosti vode i potražnje za vodom, a mjeri se potencijalom uskraćenosti vode (WDP). Izražava se u m³ površine svijeta koji je depriviran od potrebne vode.

U idućoj tablici dane su bročane vrijednosti rezultata LCIA analize.

Tablica 8. Rezultati LCIA analize: kategorije utjecaja

INDIKATOR	MJERNA JED.	TOTAL	EOI	CEM II SIVI	CEM II BIJELI	AGREGAT	STRUJA	TRANSPORT
GWP-total	kg CO ₂ eq.	4,58E+02	6,23E+01	3,40E+02	3,16E+01	4,09E+00	8,02E-01	5,70E+01
GWP-fosil	kg CO ₂ eq.	4,78E+02	6,20E+01	3,62E+02	3,16E+01	4,19E+00	7,99E-01	5,49E+01
GWP-biogeni	kg CO ₂ eq.	-2,61E+01	-6,01E-02	-2,60E+01	1,80E-02	-1,13E-02	2,66E-03	1,89E+00
GWP-luluc	kg CO ₂ eq.	5,26E+00	3,51E-01	4,74E+00	3,62E-04	1,84E-02	1,16E-03	1,50E-01
ODP	kg CFC 11 eq.	1,98E-13	6,26E-15	1,32E-13	2,44E-15	3,72E-14	1,76E-14	2,20E-15
AP	mol H ⁺ eq.	1,57E+00	4,46E-01	8,63E-01	8,37E-02	2,87E-02	1,76E-03	4,37E-01

Tablica 8. - nastavak

EP-slatkovodni	kg PO ₄ eq.	2,11E-03	1,34E-04	1,90E-03	4,97E-06	1,31E-05	2,13E-06	5,63E-05
EP-morski	kg N eq.	5,30E-01	2,26E-01	2,03E-01	2,67E-02	1,13E-02	3,92E-04	2,25E-01
EP-kopneni	mol N eq.	6,02E+00	2,49E+00	2,39E+00	3,17E-01	1,24E-01	4,11E-03	2,47E+00
PCOP	kg NMVOC eq.	1,44E+00	4,65E-01	7,51E-01	7,23E-02	3,29E-02	1,07E-03	4,10E-01
ADP-min.&met.	kg Sb eq.	6,52E-05	3,38E-06	5,92E-05	3,70E-07	6,69E-07	2,31E-07	1,33E-06
ADP-fosil	MJ	1,72E+04	7,06E+02	1,60E+04	2,08E+02	6,21E+01	1,40E+01	2,46E+02
WDP	m ³	1,69E+01	4,16E-01	8,46E+00	2,17E+00	4,64E-01	1,74E-01	1,65E-01

U tablici su prikazani ukupni rezultati te rezultati po modulima. Prema normi HRN EN 15804 uz rezultate po kategorijama utjecaja potrebno je još izračunati indikatore koji prikazuju korištenje resursa. Te vrijednosti dane su u tablici 9.

Tablica 9. Rezultati LCIA analize: korištenje resursa.

INDIKATOR	MJERNA JED.	TOTAL	EOI	CEM II SIVI	CEM II BIJELI	AGREGAT	STRUJA	TRANSPORT
PERE	MJ	5,32E+02	3,29E+01	4,63E+02	9,02E-01	1,50E+01	6,22E+00	1,39E+01
PERT	MJ	5,32E+02	3,29E+01	4,63E+02	9,02E-01	1,50E+01	6,22E+00	1,39E+01
PENRE	MJ	1,72E+04	7,07E+02	1,60E+04	2,08E+02	6,22E+01	1,40E+01	2,47E+02
PENRT	MJ	1,72E+04	7,07E+02	1,60E+04	2,08E+02	6,22E+01	1,40E+01	2,47E+02
FW	m ³	8,51E-01	3,85E-02	6,01E-01	5,15E-02	1,88E-02	7,19E-03	1,60E-02
HWD	kg	4,02E-04	2,69E-05	3,63E-04	1,82E-08	1,15E-06	5,81E-09	1,15E-05
NHWD	kg	8,35E+01	1,17E-01	2,03E+00	1,78E-02	8,13E+01	9,96E-03	3,78E-02
RWD	kg	2,62E-02	8,57E-04	1,85E-02	2,84E-04	4,14E-03	2,13E-03	3,05E-04
PERE = renewable primary energy ex. raw materials PERM = renewable primary energy used as raw materials PERT = renewable primary energy total PENRE=non-renewable primary energy ex. raw materials PENRM = non-renewable primary energy used as raw materials PENRT = non-renewable primary energy total								
FW = use of net fresh water HWD = hazardous waste disposed NHWD = non-hazardous waste disposed RWD = radioactive waste disposed								

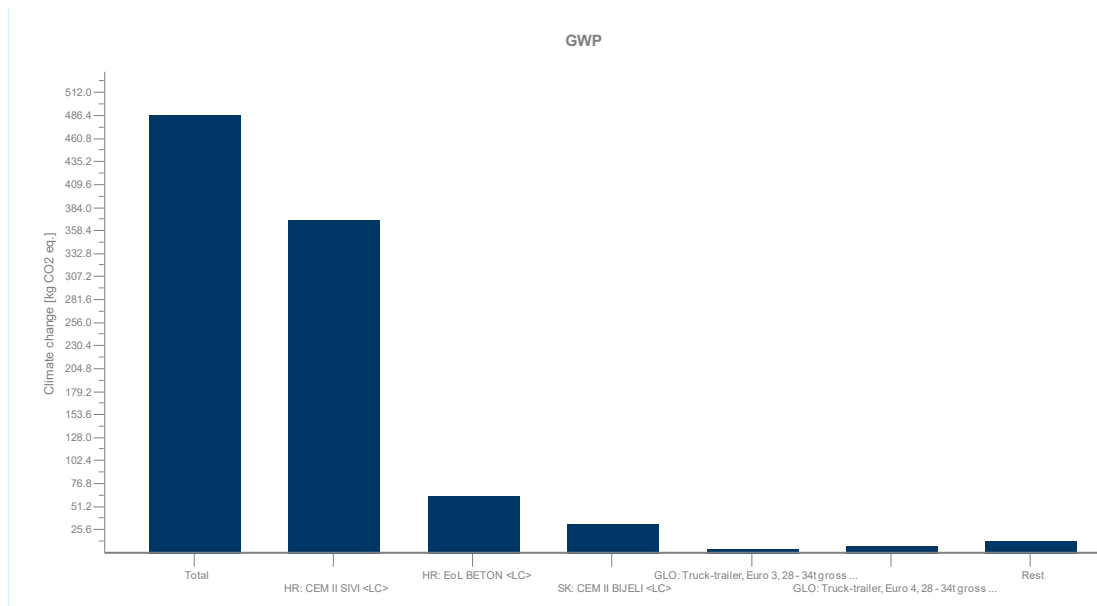
7.2.4.8. Interpretacija rezultata LCIA

Rezultati analize mogu poslužiti za interne potrebe proizvođača identifikacijom kritičnih točaka u procesu. Uzevši rezultate ove analize u obzir, može se zaključiti kako najviše utjecaja pri proizvodnji betonskih opločnika dolazi iz proizvodnje cementa, što će biti detaljnije objašnjeno u nastavku. U tablici 10. pokazani su normalizirani i ponderirani rezultati svih kategorija utjecaja.

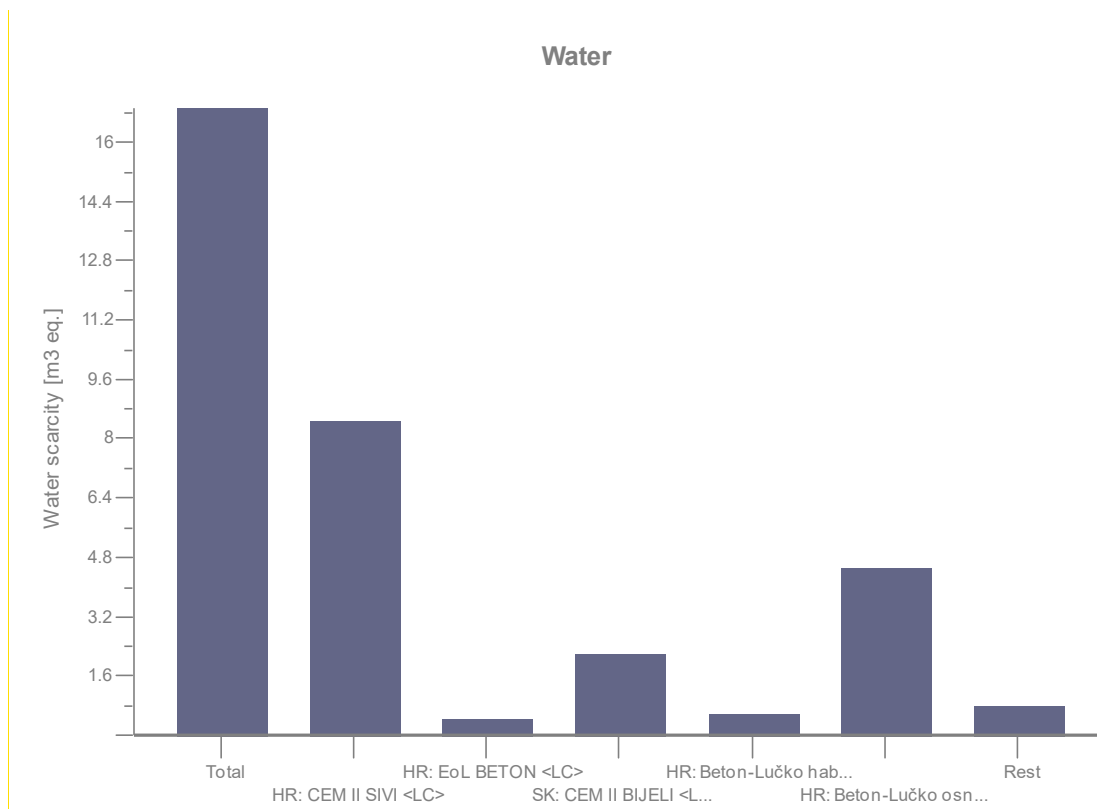
Tablica 10. Ponderirani rezultati

KATEGORIJA UTJECAJA	OCJENA
EN 15804 based on EF 3,0	5,200
12 EN15804+A2 Resource use, energy carriers	2,520
01 EN15804+A2 Climate Change	1,180
02 EN15804+A2 Ionising radiation - human health	0,157
06 EN15804+A2 Acidification terrestrial and freshwater	0,144
10 EN15804+A2 Photochemical ozone formation - human health	0,137
01 EN15804+A2 Respiratory inorganics	0,126
09 EN15804+A2 Eutrophication terrestrial	0,088
08 EN15804+A2 Eutrophication marine	0,055
06 EN15804+A2 Land Use	0,012
11 EN15804+A2 Resource use, mineral and metals	0,009
13 EN15804+A2 Water scarcity	0,008
07 EN15804+A2 Eutrophication freshwater	0,004
05 EN15804+A2 Ozone depletion	0,000

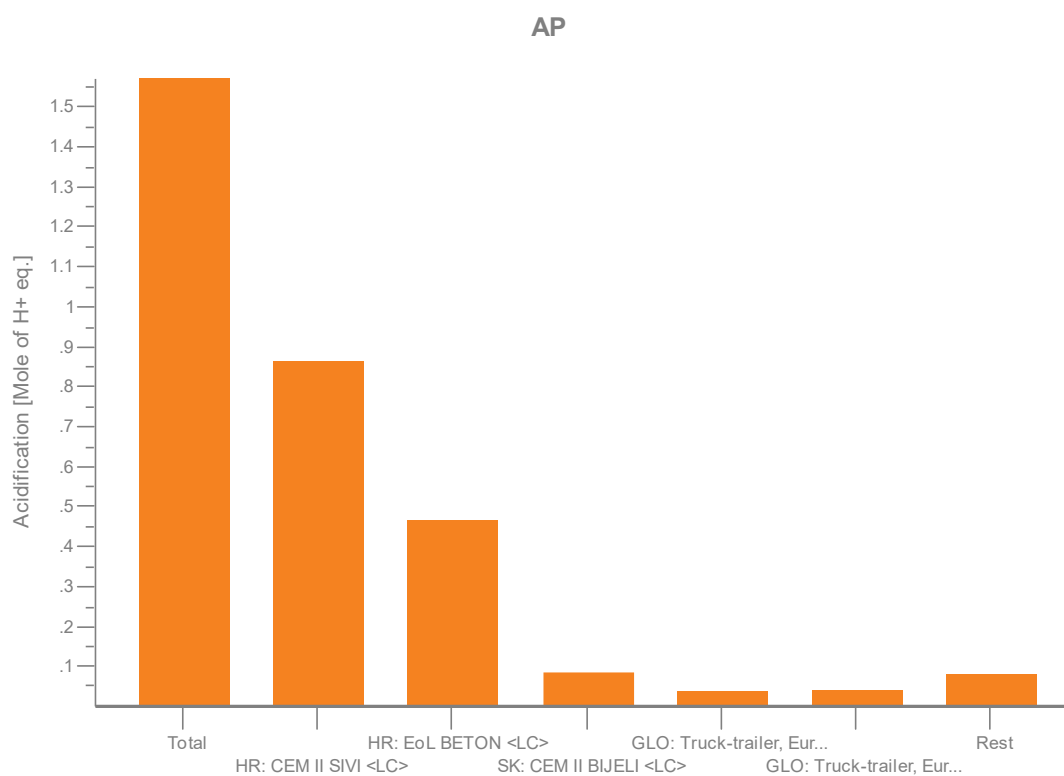
Kategorije kojima su pripisane više vrijednosti od značajnije su važnosti. Iz tablice je vidljivo kako su kategorije s najvećom ponderiranom vrijednosti kategorija abiotskog osiromašivanja fosilnih goriva te kategorija klimatskih promjena, odnosno emisije CO₂. U nastavku su dani dijagrami na kojima su prikazani rezultati po svim kategorijama utjecaja s obzirom na dijelove procesa sa značajnim utjecajem u tim kategorijama.



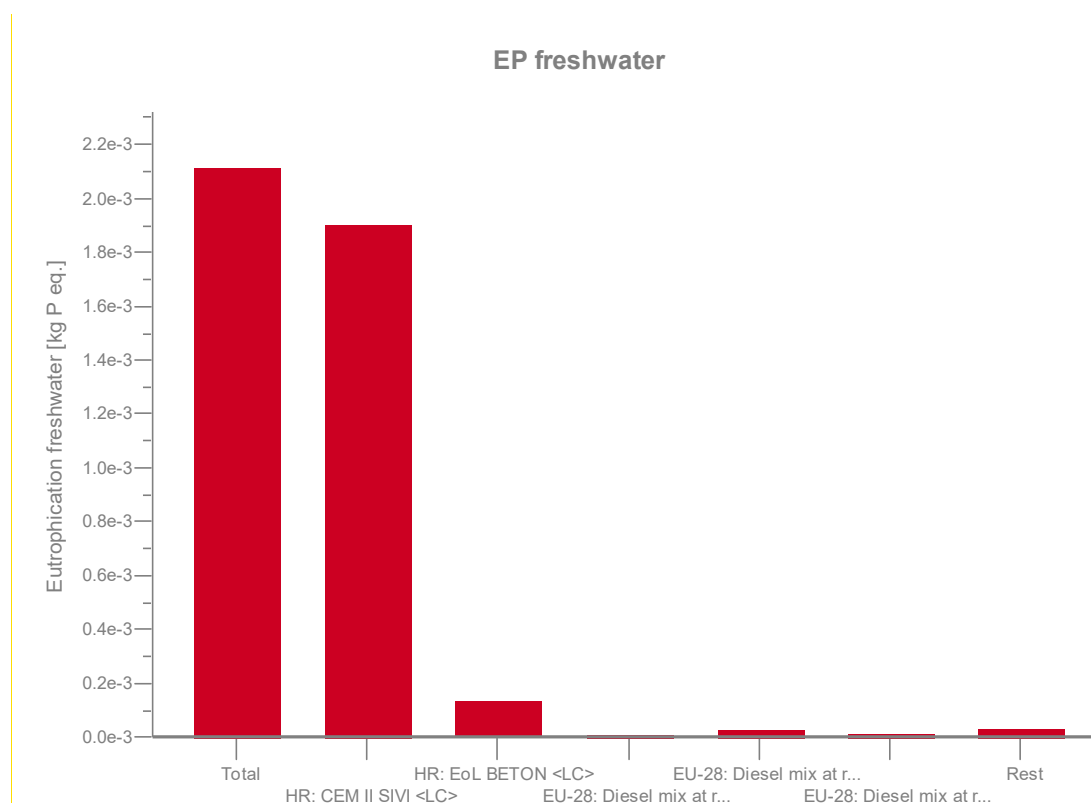
Slika 17. Rezultati analize: klimatske promjene, GWP



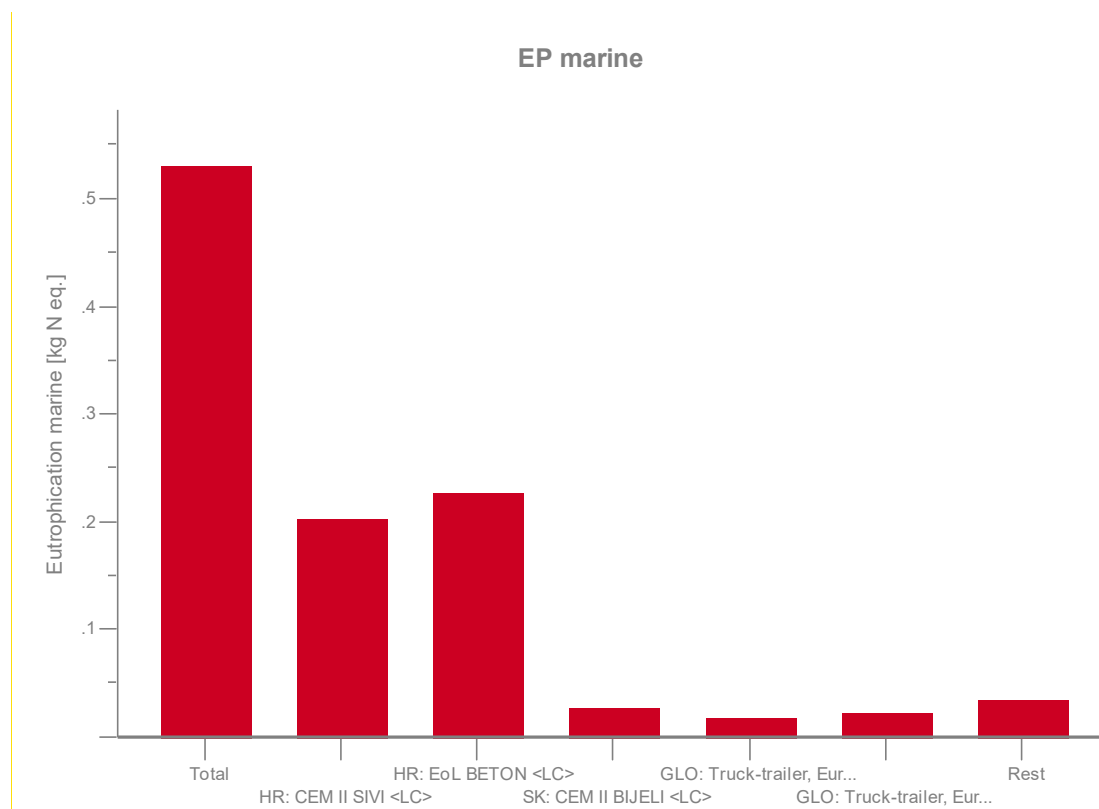
Slika 18. Rezultati analize: uporaba vode, WDP



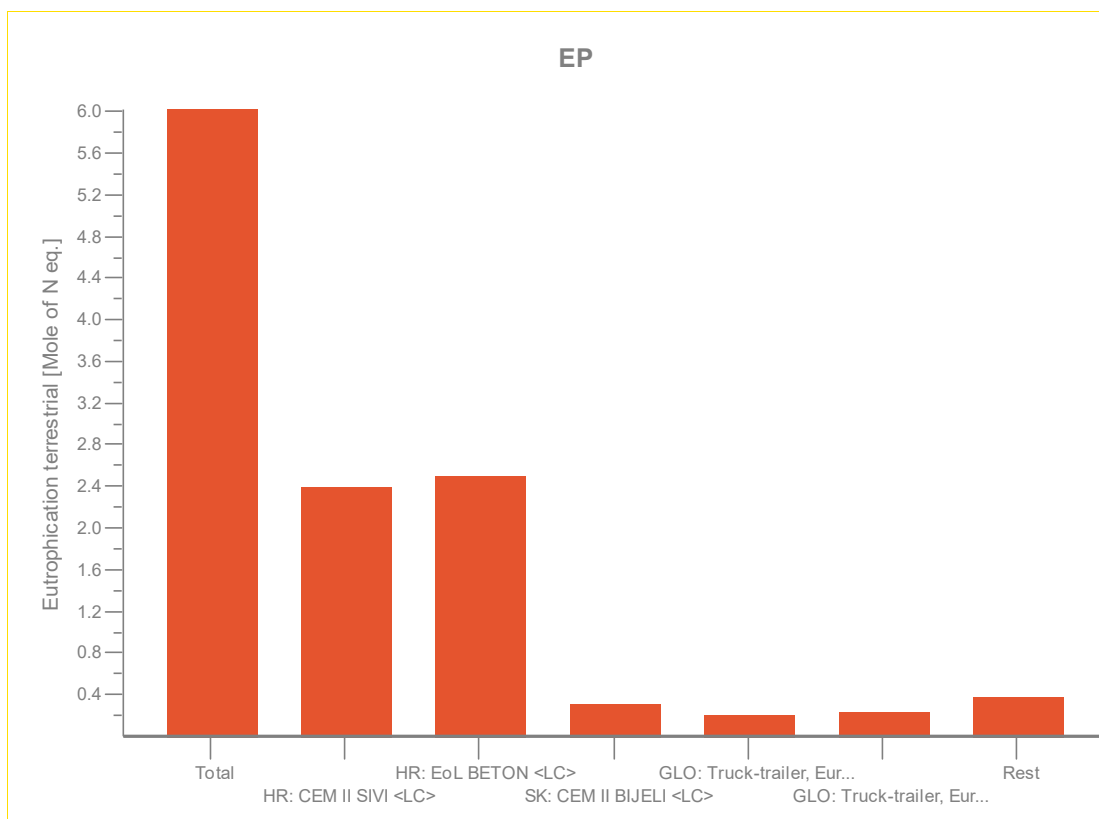
Slika 19. Rezultati analize: acidifikacija, AP



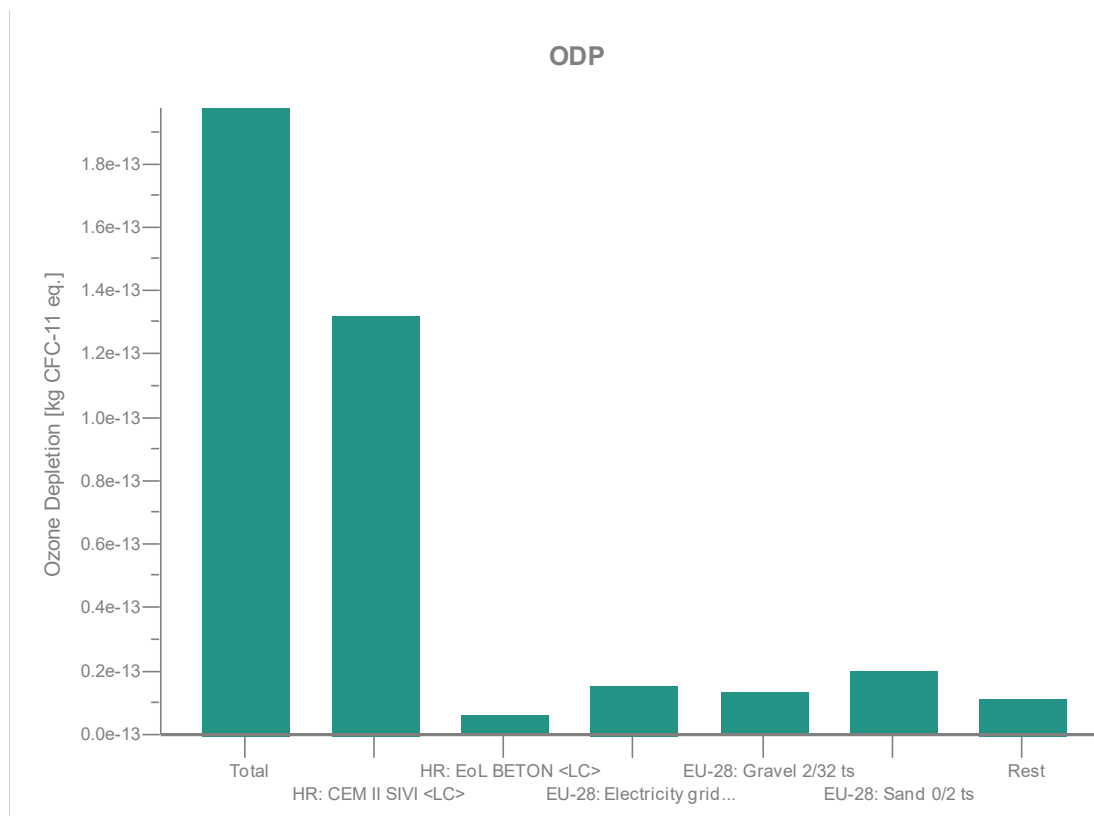
Slika 20. Rezultati analize: eutrofikacija slatkih voda, EP-slatkovodni



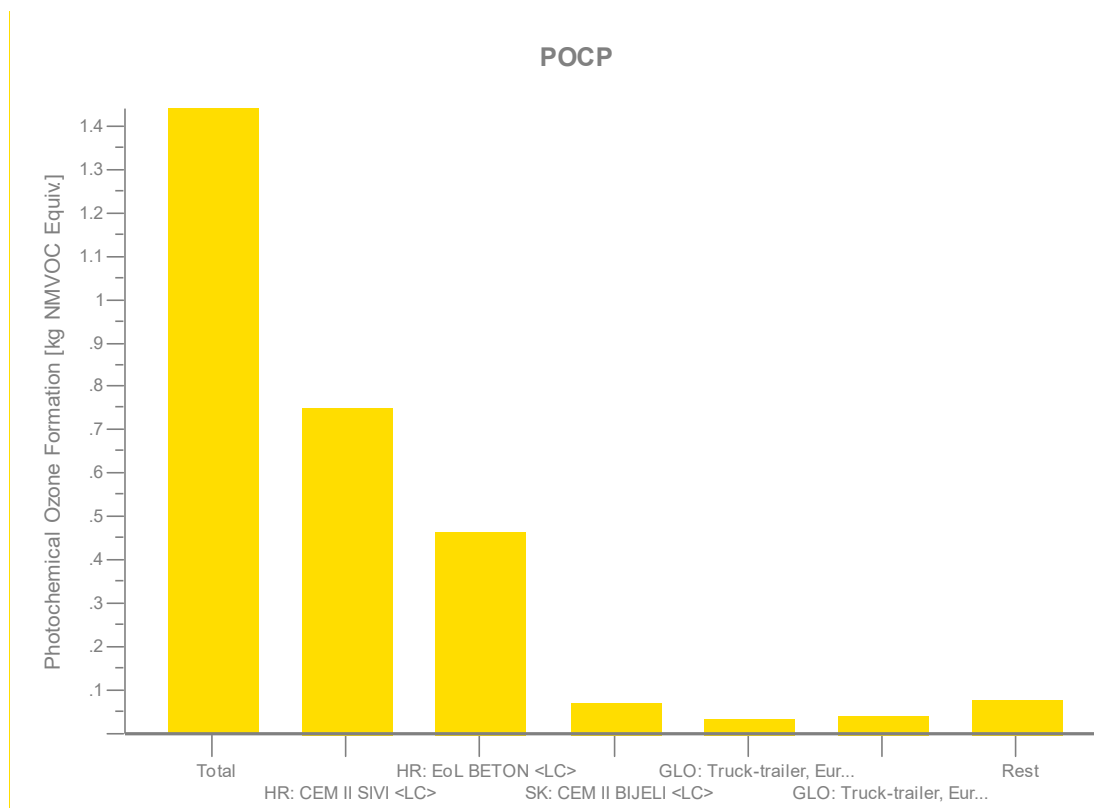
Slika 21. Rezultati analize: eutrofikacija mora, EP-morski



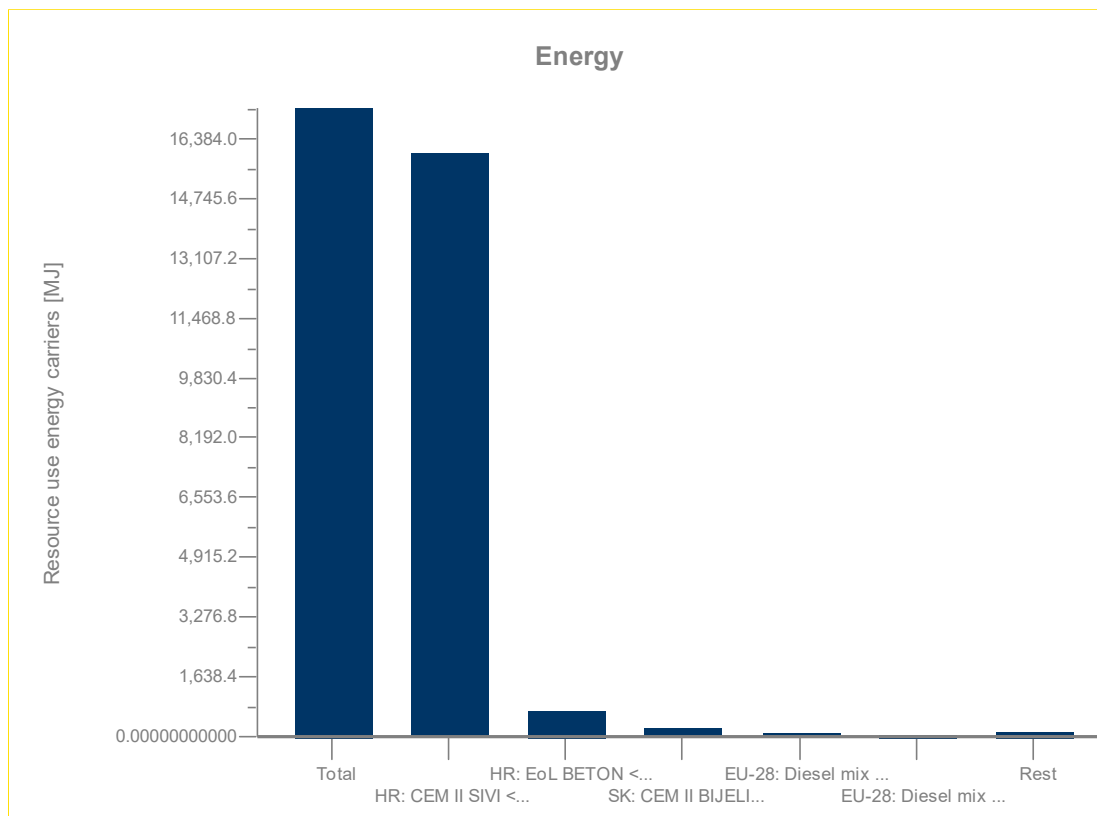
Slika 22. Rezultati analize: eutrofikacija kopna EP-kopneni



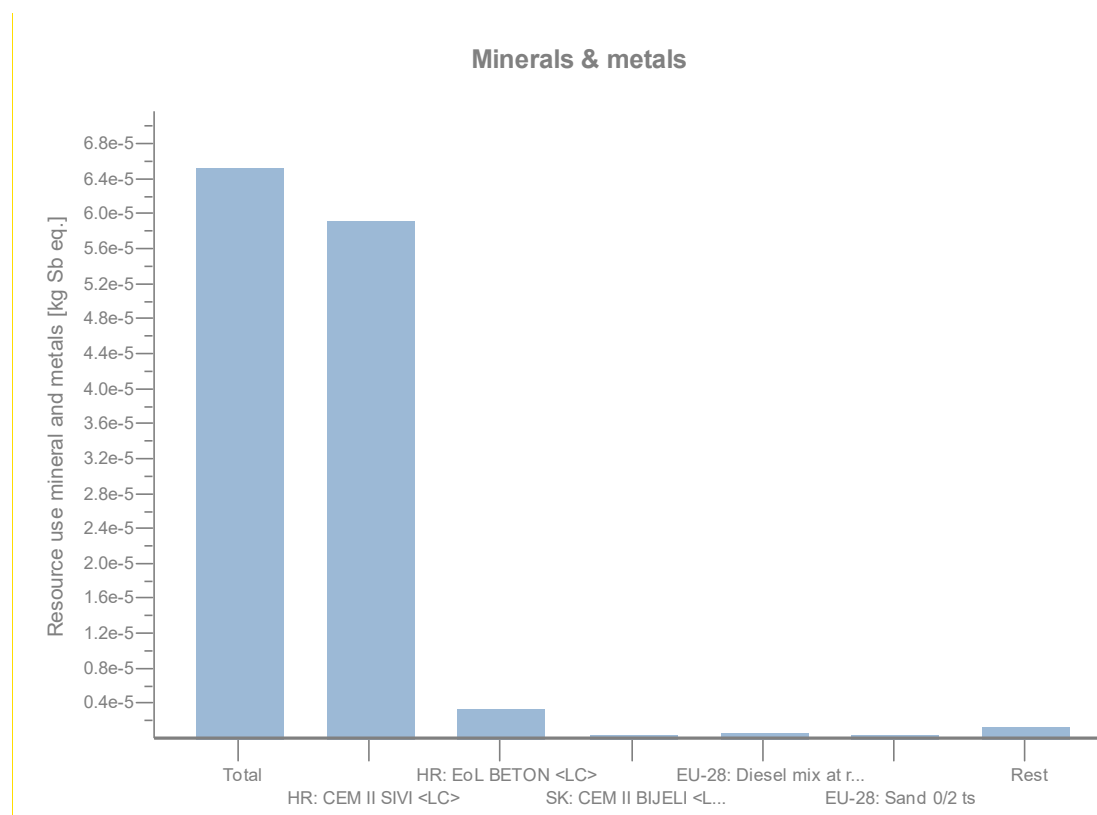
Slika 23. Rezultati analize: osiromašivanje ozona, ODP



Slika 24. Rezultati analize: potencijal stvaranja fotokeijskog ozona, POCP



Slika 25. Rezultati analize: osiromašivanje abiotskih resursa (fosilna goriva), ADP-fosil



Slika 26. Rezultati analize: osiromašivanje abiotskih resursa (minerali i metali), ADP-min.&met.

Cement značajno negativno doprinosi u kategoriji klimatskih promjena, odnosno emisijama CO₂. Pri proizvodnji cementa dolazi do emisija CO₂ iz dva razloga:

- 1) zagrijavanje sirovinskog brašna za pripremu klinkera uzrokuje oslobađanje CO₂, što je neophodan korak u kemijskoj transformaciji brašna u klinker a
- 2) sagorijevanje goriva potrebnog za zagrijavanje sirovinskog brašna na vrlo visoke temperature.

Ovo potvrđuje podatak da 8 % antropogenih emisija CO₂ u svijetu dolazi iz proizvodnje cementa. Smanjivanje količine klinkera u cementu i smanjivanje količine cementa u betonu umanjilo bi emisije CO₂ betonskih proizvoda. Nadalje, smanjivanje količine betona u samom proizvodu i smanjivanje potrebe za betonskim proizvodima bi također pozitivno utjecalo na smanjivanje emisija CO₂. Opločnici Beton-Lučko proizvode se iz cementa tipa II koji u sebi sadrži određenu količinu „zamjenskih materijala“ za klinker čime se smanjuje emisija CO₂ od proizvodnje klinkera te cementa koji dolazi iz cementara koje koriste gorivo iz otpada čime se smanjuje količina emisija CO₂ iz fosilnih goriva. Još jedna značajna kategorija utjecaja u proizvodnji opločnika, odnosno betona, jest osiromašivanje abiotskih resursa – minerala. Za proizvodnju klinkera koristi se vapnenac, a pri proizvodnji betona koristi se prirodni agregat, pijesak i šljunak. U proizvodnji klinkera nije moguće koristiti druge materijale, no pri miješanju betona moguće je uključiti reciklirani agregat, odnosno drobljeni građevinski otpad. Opločnici Beton.Lučko koriste prirodni agregat što znači da postoji prostor za poboljšavanjem procesa proizvodnje u smislu održivosti.

Drugi cilj naveden na početku studije bio je stjecanje praktičnog iskustva u LCA analizi. Kroz proces izrade ove analize dobiven je uvid u potrebne vještine i znanja za izradu kvalitetne analize. Radi samoprovjere, rezultati su uspoređeni sa rezultatima iz sličnih analiza [42–44] te je zaključeno kako su gotovo svi rezultati u zadovoljavajućim rasponima, osim za kategoriju utjecaja osiromašivanja ozona, gdje je ODP za nekoliko redova veličina manji od rezultata u literaturi. Budući da su glavne utjecajne tvari tzv. haloni koji se javljaju u tehnološkom procesu iskopa agregata, uz savjet s literaturom [45], pretpostavljeno je da je greška u korištenju predefiniраниh procesa iz baze podataka za procese proizvodnje agregata. Na temelju ocjene rezultata, zaključeno je kako je ostatak inventara relevantan te da je model sukladan proizvodnom procesu. Kako bi čitava analiza dobila na kredibilitetu, potrebno je provesti nepristranu provjeru, što u obujmu ovog rada nije učinjeno.

Svrha izrade ove procjene životnog vijeka betonskog opločnika je izrada primjera EPD-a. Budući da je analiza ocjenjena zadovoljavajućom, rezultati dobiveni u analizi iskorišteni su za izradu EPD-a koji se nalazi u prilogu ovog rada. No, važno je napomenuti kako EPD u prilogu nije valjani EPD upravo zbog nedostatka verifikacije od strane akreditiranog tijela/osobe. Verifikacija EPD je ključan korak za njegovu izradu jer se jedino verifikacijom može garantirati da je EPD izrađen u skladu s normama te da je kao takav pogodan za usporedbu proizvoda na temelju utjecaja na okoliš, odnosno jedino verificirani EPD se može koristiti za tržišnu konkurentnost.

8. ZAKLJUČAK

Kao što je izneseno u sažetku, cilj rada bio je napraviti EPD te se upoznati s trenutnim stanjem teme održivosti u građevinskom sektoru u Europskoj uniji. Istraživanje europskih strategija, inicijativa i legislativa donijelo je nekoliko jasnih pokazatelja o stanju ove vrlo aktualne teme. Europska komisija poduzima korake ka ciljevima smanjenja ugljičnog otiska zemalja članica već barem deset godina. Europski zeleni plan je aktualni vrhunac tih napora. Objavom Zelenog plana, pitanje ugljične neutralnosti Europe stavljeno je na dnevni red europske politike. Zbog svog proizvodnog obujma, građevinska industrija ključna je za uspjeh ciljeva postavljenih u Planu. S time na umu, proučene su inicijative vezane za građevinski sektor. Misao vodilja inicijativa je da se smanji ugljični otisak stvaranjem jedinstvenog europskog zelenog tržišta na kojemu će se prednost ostvarivati razinom „zelenosti“ proizvoda. Kako bi se stvorilo unificirano tržište, potrebno je stvoriti standard kojeg će svi proizvođači morati poštivati, a koji će se temeljiti na ocjeni ekološkog učinka njihovih proizvoda. Taj standard osmišljen je od strane Europske komisije te plasiran pod nazivom Ekološki otisak (EF). Ekološki otisak za proizvode (PEF) inspiriran je već postojećim EPD-ovima, te se radi na tome da se iskoristi već utabani put koji su EPD-ovi stvorili, odnosno da se PEF i EPD harmoniziraju. U postupku izrade EPD-a u sklopu ovog rada dobiven je direktan uvid u metodologiju procjene životnog vijeka koja je temelj i EF-a i EPD-a, ali i u napore koje proizvođači u građevinarstvu već sada ulažu kako bi se približili ciljevima ugljične neutralnosti. LCA metodologija je opsežan i kompleksan alat koji zahtjeva predan i detaljan trud u stvaranju adekvatnih baza podataka o svim relevantnim proizvodnim procesima te odgovarajućim utjecajnim ulaznim i izlaznim veličinama, no u isto vrijeme nudi odličan sustav usporedbe proizvoda i evaluacije utjecaja na okoliš koja razotkriva kritične točke te omogućuje unaprjeđenje procesa ka cilju što manjeg negativnog utjecaja na okoliš. Uzevši betonske opločnike za predmet studije, otkriveno je vrlo aktivno područje primjene EPD-ova i metoda za smanjenje otiska na okoliš. Samo proizvodnja cementa, sastavnog dijela betona, odgovorna je za 3 % svih emisija stakleničkih plinova u EU [46], dok je građevinski sektor odgovoran za 35 % emisija vezanih uz korištenje energije. Pri izradi inventara životnog ciklusa opločnika nađeni su podaci iz cementara iz kojih se mogu zaključiti pozitivni pomaci ka smanjenju ovih utjecaja. Suradnja s hrvatskim proizvođačem omogućila je uvid u stanje u Hrvatskoj te razinu implementacije europskih inicijativa u domaćem građevinskom sektoru.

Iako je vidljivo da su europske inicijative prepoznate te uzete u obzir, industrija još nije na dovoljnoj razini spremnosti za drastične promjene, odnosno ugljičnu neutralnost do 2050., koje EU očekuje od svojih članica, što se vidi iz manjka domaće literature na temu EPD-ova i LCA te iz manjka opće upoznatosti sudionika industrije s ovim pojmovima i konceptima.

LITERATURA

- [1] Handl G, Deutsch E, Law I. Historical Archives - Introductory Note - Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Declaration), 1972 and the Rio Declaration on Environment and Development, 1992 - English. 2012.;1–11.
- [2] Cifuentes-Faura J. European Union policies and their role in combating climate change over the years. *Air Qual Atmos Heal*. 2022.;15(8):1333–40. doi: 10.1007/s11869-022-01156-5
- [3] UNTC [Internet]. (pristupljeno: 2022-10-12). Dostupno na: https://treaties.un.org/pages/ViewDetailsIII.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7&chapter=27&Temp=mtdsg3&clang=_en#EndDec
- [4] Kyoto Protocol - Targets for the first commitment period | UNFCCC [Internet]. (pristupljeno: 2022-10-12). Dostupno na: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/what-is-the-kyoto-protocol/kyoto-protocol-targets-for-the-first-commitment-period>
- [5] Paris Agreement [Internet]. (pristupljeno: 2022-10-12). Dostupno na: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en
- [6] A European Green Deal | European Commission [Internet]. (pristupljeno: 2022-10-12). Dostupno na: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en#timeline
- [7] Europska komisija. Komunikacija komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: Europski zeleni plan. U Bruxelles; 2019. str. 24.
- [8] Europski zeleni plan | Europska komisija [Internet]. (pristupljeno: 2022-10-12). Dostupno na: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr#thematicareas
- [9] Europski parlament, Vijeće Europske unije. Europski zakon o klimi. *Službeni List Eur unije*. 2021.;(2):1–17.
- [10] The Fit for 55 package ? Live updates - Greens/EFA [Internet]. (pristupljeno: 2022-10-

- 13). Dostupno na: <https://www.greens-efa.eu/opinions/fit-for-55/#CORZIA>
- [11] Economidou M, Todeschi V, Bertoldi P, D'Agostino D, Zangheri P, Castellazzi L. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy Build.* 2020.;225:110322. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110322
- [12] Europska komisija. Komunikacija komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: Val obnove za Europu - ozelenjivanje zgrada, otvaranje radnih mjesta, poboljšanje života. 2020.
- [13] Europska Komisija. Komunikacija komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: Novi akcijski plan za kružno gospodarstvo Za čišću i konkurentniju Europu. 2020 str. 19.
- [14] Europska komisija. Proposal for a regulation of the European parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011. 2022.
- [15] Europska komisija. ANNEXES to the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011. 2022.
- [16] Hauschild MZ, Rosenbaum RK, Olsen SI, urednici. Life Cycle Assessment [Internet]. Sv. 11. Cham: Springer International Publishing; 2018. Dostupno na: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3> doi: 10.1007/978-3-319-56475-3
- [17] European Commission. ILCD Handbook. 2010. 1–5 str. doi: 10.2788/38479
- [18] Bjørn A, Owsianiak M, Molin C, Laurent A. Main Characteristics of LCA. U: Life Cycle Assessment [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018. str. 9–16. Dostupno na: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3_2 doi: 10.1007/978-3-319-56475-3_2
- [19] Rosenbaum RK, Hauschild MZ, Boulay A-M, Fantke P, Laurent A, Núñez M, i ostali. Life Cycle Impact Assessment. U: Life Cycle Assessment [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018. str. 167–270. Dostupno na: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3_10 doi: 10.1007/978-3-319-56475-3_10

- [20] Hrvatski zavod za norme. HRN EN ISO 14040. 2018. HRN EN ISO 14040:2008, HRN EN ISO 14040:2008/A1:2020, Upravljanje okolišem -- Procjena životnog ciklusa (LCA) -- Načela i okvir rada (ISO 14040:2006; EN ISO 14040:2006, ISO 14040:2006/Amd 1:2020; EN ISO 14040:2006/A1:2020)
- [21] Bjørn A, Moltesen A, Laurent A, Owsianiak M, Corona A, Birkved M, i ostali. Life Cycle Inventory Analysis. U: Life Cycle Assessment [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018. str. 117–65. Dostupno na: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3_9 doi: 10.1007/978-3-319-56475-3_9
- [22] Hrvatski zavod za norme. HRN EN ISO 14044. 2020. HRN EN ISO 14044:2008/A1:2018, HRN EN ISO 14044:2008/A2:2020, Upravljanje okolišem -- Procjena životnog ciklusa (LCA) -- Zahtjevi i smjernice (ISO 14044:2006/Amd 1:2017; EN ISO 14044:2006/A1:2018, ISO 14044:2006/Amd 2:2020; EN ISO 14044:2006/A2:2020)
- [23] Menoufi KAI. An overview on Life Cycle Impact Assessment (LCIA) methodologies: A state of the art. Disertation. 2011.;
- [24] Sphera Signs Agreement to Acquire thinkstep - Sphera [Internet]. (pristupljeno: 2022-05-30). Dostupno na: <https://sphera.com/press-release/sphera-signs-agreement-to-acquire-thinkstep/>
- [25] Databases [Internet]. (pristupljeno: 2022-05-30). Dostupno na: <https://gabi.sphera.com/international/databases/>
- [26] European Commission. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - Integrated Product Policy - Building on Environmental Life-Cycle Thinking COM (2003)302. Eur Comm Eur Communities. 2003.;
- [27] Sala S, Amadei AM, Beylot A, Ardente F. The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades. *Int J Life Cycle Assess.* 2021.;26(12):2295–314. doi: 10.1007/s11367-021-01893-2
- [28] Europska komisija. Understanding Product Environmental Footprint and Organisation Environmental Footprint methods. U 2021.
- [29] Europska komisija, Zajednički istraživački centar. Product Environmental Footprint (PEF) Guide. European Commission Jt Res Cent. 2012.;154.

- [30] Europska komisija. Ispravak Preporuke Komisije (EU) 2021/2279 od 15. prosinca 2021. o uporabi metoda mjerenja ekološkog otiska za mjerenje i priopćavanje o okolišnoj učinkovitosti proizvoda i organizacija za vrijeme njihova životnog ciklusa. Službeni List Eur unije. 2021.;1–384.
- [31] Ibáñez-Forés V, Pacheco-Blanco B, Capuz-Rizo SF, Bovea MD. Environmental Product Declarations: Exploring their evolution and the factors affecting their demand in Europe. Sv. 116, Journal of Cleaner Production. 2016. str. 157–69. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.078
- [32] Hrvatski zavod za norme. Održivost građevina – Izjava zaštite okoliša – Osnovna pravila za kategorizaciju građevnih proizvoda (EN 15804:2012+A2:2019) Sustainability. 2019.; HRN EN 15804:2019, HRN EN 15804:2019/Ispr.1:2021, Održivost građevina -- Izjave o utjecaju proizvoda na okoliš -- Osnovna pravila za kategorizaciju građevnih proizvoda (EN 15804:2012+A2:2019, EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021)
- [33] Nodes: approved or waiting for approval - [Internet]. (pristupljeno: 2022-11-24). Dostupno na: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/contactListEF.xhtml>
- [34] Durão V, Silvestre JD, Mateus R, de Brito J. Assessment and communication of the environmental performance of construction products in Europe: Comparison between PEF and EN 15804 compliant EPD schemes. Resour Conserv Recycl. 2020.;156(June 2019):104703. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104703
- [35] Opločnici City Line | Beton Lučko [Internet]. (pristupljeno: 2022-11-17). Dostupno na: <https://www.betonlucko.hr/betonska-galanterija-oplocnici-city-line.html>
- [36] D.o.o. H (Hrvatska). STUDIJA O UTJECAJU NA OKOLIŠ „Rekonstrukcija postrojenja s ciljem smanjenja emisija ugljičnog dioksida kroz povećanje energetske uporabe otpada u tvornici cementa Koromačno , na području Općine Raša , Istarska županija“. 2022.;
- [37] Gotal Domitović L, Pranjić J, Šoltić I, Kogl M, Vrbančić D, Horvat N, i ostali. Studija o utjecaju na okoliš eksploatacije građevnog pijeska i šljunka na eksploatacijskom polju „Trstenik“. 2011.;115.
- [38] CRH. Sustainability Report 2021. 2021.
- [39] A.s. C (Slovensko). Zvýšenie kapacity linky RP BC na výrobu bieleho portlandského slinku spojené s rozšírením palivovej základne o nové typy alternatívnych palív. 2020.

-
- [40] Holcim. Správa o trvalo udržatel'nom razvoji Holcim Slovensko 2009.-2010. 2010.
- [41] Kawai K, Sugiyama T, Kobayashi K, Sano S. Inventory data and case studies for environmental performance evaluation of concrete structure construction. *J Adv Concr Technol.* 2005.;3(3):435–56. doi: 10.3151/jact.3.435
- [42] EPD International AB. EPD for Concrete products for walls and walkways, S.t Eriks AB. 2020.;1–15. Dostupno na: <https://buildingtransparency.org/ec3/epds/ec3q94yg>
- [43] Irish Green Building Council. EPD of City Pave VS5, Tobermore Products. 2008.;(March):60–71. doi: 10.4324/9780203889565.ch4
- [44] IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V. EPD of Precast Hollowcore Flooring, British Precast Concrete Federation. 2022.
- [45] Kim TH, Tae SH. Proposal of environmental impact assessment method for concrete in South Korea: An application in LCA (life cycle assessment). *Int J Environ Res Public Health.* 2016.;13(11). doi: 10.3390/ijerph13111074
- [46] Emele L, Graichen J, Mendelevitch R. Decomposition analysis of CO₂ emissions in the European cement sector. 2018.;

PRILOZI

U prilogu je Izjava o utjecaju na okoliš za opločnik. Izjava je na engleskom jeziku.



ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

Paver City Line

In accordance with ISO 14025
and EN 15804

Programme information

Independent: academic research at Faculty of mechanical engineering and naval architecture, University of Zagreb

Product Category Rules: CEN standard EN 15804 served as the core PCR

Third-party verification: -

Publication date: December 2022

Author: Klara Barišić

Company information

Owner of the EPD: Beton Lučko d.o.o.

Contact: Suzana Hozmec, dipl.ing.građ.

Beton Lučko d.o.o. is a Croatian pre-cast concrete elements manufacturer. The company manufactures pavers, steps, kerbs, road elements, garden elements and special concrete elements. The company also offers prefabricated and semi-prefabricated building systems and is involved in projects regarding novel building products, Ruconbar and Eco-sandwich.

Certifications: HRN EN ISO 9001, HRN EN 1338 for concrete paving blocks, HRN EN 1339 for concrete paving flags and HR EN 1340 for labelling,

Production site: Beton Lučko d.o.o., Puškarićeva 1b, Lučko, 10250 Zagreb

LCA information

Declared unit: The declared unit of this product is 1 m³

Time representativeness: The data collected from the manufacturer refers to the year 2022. The data collected from literature refers to years 2019. and 2020. The general datasets from used databases are all representative and valid for the year 2020.

Geographical scope: The geographical coverage is adapted to Croatia for manufacturing of the product and for manufacturing of the gray cement, to Slovakia for manufacturing of the white cement and to Europe averages for transport. Data describing the production of gravel is taken from the databases, while the data for describing the EoL scenario is taken from literature [1].

Database(s) and LCA software used: GaBi Education software and Gabi Education Database 2020.

Description of system boundaries: Cradle to gate (A1–A3)

Name and contact information of LCA practitioner: Klara Barišić, kb206131@stud.fsb.hr or klarabarisick@gmail.com

Additional information: In module A1 admixtures were left out due to lack of data. In module A3 packaging and storage are excluded due to lack of data.

Product information

Product name: Opločnik City Line

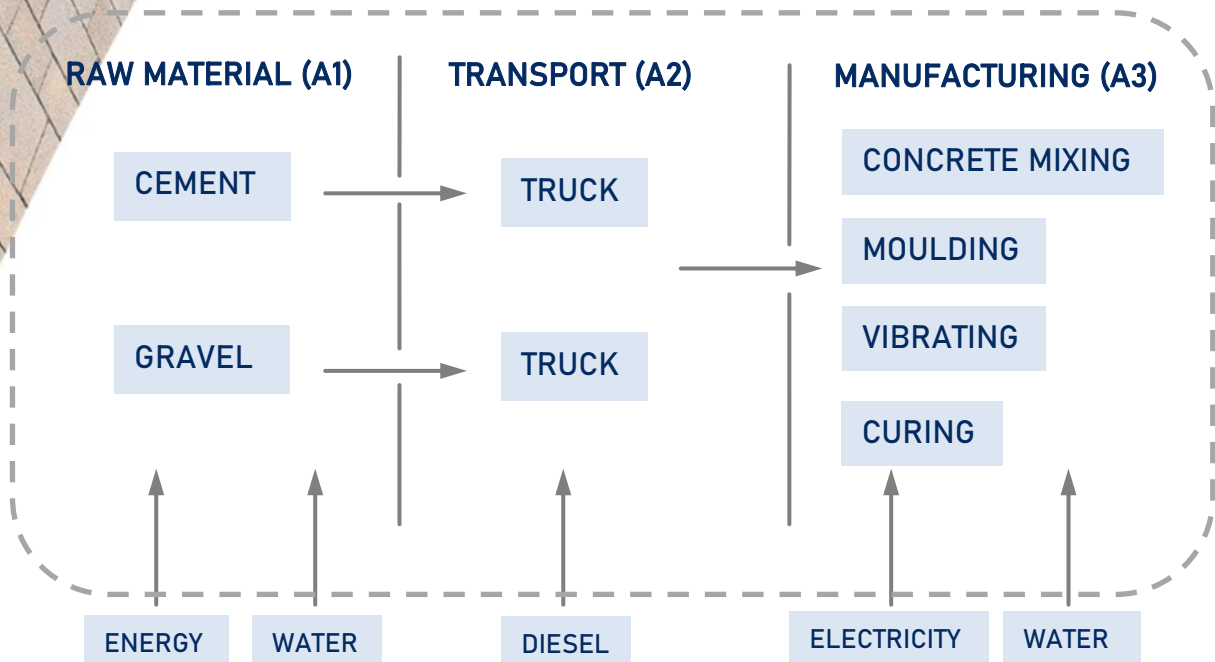
Product identification: Paver City Line; various formats, smooth finish, color gray, product code: 10120490101

Product description: Concrete paving unit manufactured in various dimensions. It is composed of two layers: base layer made with gray cement and 7 cm thickness, facing layer made with white cement and is thickness of 1 cm. It is designed for frost and salt resistance, abrasion resistance, slip resistance and it allows for vehicular traffic. The unit is made with a 2-year guarantee.

UN CPC code: 3754



System diagram



Product stage	Construction process stage														R&R			
	Raw material supply			Use stage							End of life stage					Reuse-Recovery-Recycling- D potential		
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3		C4	D
Module	x	x	x	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND
Modules declared	x	x	x	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

A1 includes production of raw materials required for production of pavement units. It includes the production of cement in Croatia and Slovakia and excavation of gravel in Croatia.

A2 includes transport from cement production sites to Beton Lučko production site and transport from gravel production sites to Beton Lučko. It is carried out by truck trailers.

A3 includes the manufacturing processes on site in Beton Lučko.

Environmental performance

Potential environmental impact

IMPACT CATEGORY	UNIT	A1	A2	A3
Climate change, total	kg CO ₂ eq.	375.69	57.00	0.80
Climate change total, fossil	kg CO ₂ eq.	397.79	54.90	0.80
Climate change, biogenic	kg CO ₂ eq.	-25.99	1.89	0.00
Climate change, luluc	kg CO ₂ eq.	4.76	0.15	0.00
Ozone depletion	kg CFC 11 eq.	0.00	0.00	0.00
Acidification	mol H ⁺ eq.	0.98	0.44	0.00
Eutrophication freshwater	kg PO ₄ eq.	0.00	0.00	0.00
Eutrophication marine	kg N _{eq.}	0.24	0.23	0.00
Eutrophication terrestrial	mol N _{eq.}	2.83	2.47	0.00
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq.	0.86	0.41	0.00
Resource use, minerals and metals	kg Sb _{eq.}	0.00	0.00	0.00
Resource use, fossils	MJ	16270.10	246.00	14.00
Water scarcity	m ³	11.09	0.17	0.17

Resource use

PARAMETER	UNIT	A1	A2	A3
PERE	MJ	478.90	13.90	6.22
PERT	MJ	478.90	13.90	6.22
PENRE	MJ	16270.20	247.00	14.00
PENRT	MJ	16270.20	247.00	14.00

PERE=renewable primary energy ex. raw materials | PERM=renewable primary energy used as raw materials | PERT=renewable primary energy total | PENRE=non-renewable primary energy ex. raw materials | PENRM=non-renewable primary energy used as raw materials | PENRT=non-renewable primary energy total

Environmental performance

Waste

PARAMETER	UNIT	A1	A2	A3
FW	m ³	0.67	0.02	0.01
HWD	kg	0.00	0.00	0.00
NHWD	kg	83.35	0.04	0.01
RWD	kg	0.02	0.00	0.00

FW=use of net fresh water | HWD=hazardous waste disposed | NHWD=non-hazardous waste disposed | RWD=radioactive waste disposed

Biogenic carbon content

PARAMETER	UNIT	IN PRODUCT
Biogenic carbon	kg	0

Mass per declared unit

DECLARED UNIT	1 m ³
Mass	2333 kg

Bibliography

ISO 14025:2006 Environmental labels and declarations –Type III environmental declarations Principles and procedures.

ISO 14040:2006, ISO 14040:2006/Amd 1:2020 Environmental management. Life cycle assessment. Principles and frameworks.

ISO 14044:2006, ISO 14044:2006/Amd 1:2017, ISO 14044:2006/Amd 2:2020 Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.

EN 15804:2012+A2:2019, EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 Sustainability in construction works –Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.