

dr. sc. Marijana Majić Renjo, mag. ing. mech.  
Končar – distributivni i specijalni transformatori d.d.  
[marijana.majic@koncar-dst.hr](mailto:marijana.majic@koncar-dst.hr)

Viktor Učović, mag. ing. mech.  
Končar – distributivni i specijalni transformatori d.d.  
[viktor.ucovic@koncar-dst.hr](mailto:viktor.ucovic@koncar-dst.hr)

Vlatka Šerkinčić, mag. ing. oecoing.  
Končar – distributivni i specijalni transformatori d.d.  
[vlatka.serkinic@koncar-dst.hr](mailto:vlatka.serkinic@koncar-dst.hr)

## UGLJIČNI OTISAK DISTRIBUTIVNOG ULJNOG TRANSFORMATORA PREMA ISO 14067:2018

### SAŽETAK

U radu je prikazana usporedba ugljičnog otiska (engl. *carbon footprint of product* – CFP) za dva tipa distributivnih uljnih transformatora, snage 400 kVA i 630 kVA. Studija je izrađena u skladu s međunarodnim standardom ISO 14067:2018. U studiji je analiziran ugljični otisak distributivnog uljnog transformatora, od proizvodnje sirovine do isporuke gotovog proizvoda (engl. *cradle-to-gate*). Rezultati provedene analize pokazali su da najveći doprinos ugljičnom otisku daje proizvodnja sirovine – transformatorskog lima, aluminijske žice i folije te niskougljičnog čelika.

**Ključne riječi:** ISO 14067:2018, ugljični otisak, CFP, *cradle-to-gate*, distributivni uljni transformator

## CARBON FOOTPRINT OF A DISTRIBUTION OIL IMMERSSED TRANSFORMER ACCORIDNG TO ISO 14067:2018

### SUMMARY

This paper shows the comparison of CFP (carbon footprint of product) for two types of oil immersed distribution transformers, power rating of 400 kVA and 630 kVA. The study was conducted in accordance with the international standard ISO 14067:2018.

The study was focused on the CFP analysis of the oil immersed distribution transformer from the raw material extraction up to the finished product delivery (*cradle-to-gate* system boundaries). The results of the conducted analysis have shown that the raw material's production – specifically core steel, aluminum wire and foil, as well as low carbon steel – gives the highest contribution to the CFP

**Key words:** ISO 14067:2018, carbon footprint of a product, CFP, *cradle-to-gate*, distribution oil immersed transformer.

## 1. UVOD

### 1.1. Distributivni uljni transformatori

Prema međunarodnom elektrotehničkom rječniku, transformator je statički uređaj s dva ili više namota koji po principu elektromagnetske indukcije pretvara sustav izmjeničnog napona i struje u drugi sustav napona i struje, obično različitih vrijednosti, na istoj frekvenciji s ciljem prenošenja električne energije [1]. Distributivni transformator osigurava transformaciju napona i struje u distributivnoj električnoj mreži, odnosno napon distributivne mreže spušta na napon za krajnjeg korisnika. U ovoj studiji promatrani su distributivni uljni transformatori. Svrha transformatorskog ulja je izolatorska i rashladna.

### 1.2. Motivacija za studiju

Studija određivanja ugljičnog otiska (engl. *carbon footprint of a product* – CFP) provedena je u dogovoru s kupcem distributivnih uljnih transformatora. Izabrana su dva tipa transformatora snage 400 i 630 kVA, ukupno 4 objekta. Promatrani proizvodi tipični su predstavnici proizvodnog asortimana Končar D&ST-a: standardno konstrukcijsko rješenje; proizvode se uobičajenim postupcima, uz korištenje materijala odobrenih dobavljača.

Izradom ove studije, Končar D&ST dobio je vrijedne informacije o svojoj ulozi u generiranju ugljičnog otiska prilikom proizvodnje distributivnih uljnih transformatora, kao i o ulozi svojih dobavljača i njihovih proizvodnih procesa. Studija je prvi korak u smanjenju ugljičnog otiska te služi kao vlastita referenca za sve buduće promjene u procesu proizvodnje izabranih transformatora.

## 2. UGLJIČNI OTISAK

### 2.1. Utjecaj na okoliš

Suvremeni je čovjek sve svjesniji svog utjecaja na okoliš. Klimatske promjene, kao rezultat antropogenog djelovanja, utječu na svjetsku prirodu i ekonomiju. Informacije su danas vrlo lako dostupne i ne možemo ignorirati činjenicu da svatko od nas neminovno utječe na okoliš – kako na svoje neposredno okruženje, tako i na svijet u cjelosti. Da bismo očuvali planet za buduće naraštaje, neophodno je reagirati odmah te utvrditi što kao pojedinci i organizacije možemo poduzeti.

Utjecaji na okoliš mogu se podijeliti u dvije skupine: onečišćenje i pretjerana eksploatacija prirodnih resursa. Danas se naglasak stavlja na održivi razvoj – razvoj koji omogućuje svjetskom ekosustavu da se obnavlja i ne iskorištava do iscrpljenja prirodnih zaliha.

Prema definiciji Hrvatske enciklopedije [2], održivi (uravnoteženi, postojani) razvoj jest ekonomski razvoj koji u potpunosti uzima u obzir djelovanje ekonomske aktivnosti na okoliš i osniva se na obnovljivim izvorima dobara. Naziv je prvi put upotrijebljen 1969., a 1992. na Konferenciji o okolišu i razvoju UN-a ova sintagma ulazi u stručnu uporabu. Osnovna je postavka održivoga razvoja: povećanje dobroti mjeri se povećanjem kvalitete života pojedinca i sveukupnog stanovništva, a ne povećanjem količine proizvedenih ili utrošenih materijalnih dobara ili energije [2].

### 2.2. Staklenički plinovi

Pod pojmom *staklenički plinovi* (engl. *greenhouse gasses*) podrazumijevamo one plinove koji svojim djelovanjem stvaraju barijeru u Zemljinoj atmosferi, sprječavajući tako povratak reflektiranih Sunčevih zraka natrag u svemir. Na taj način veća količina topline ostaje zarobljena u atmosferi, uzrokujući poznati fenomen *globalnog zatopljenja* i utječući na cjelokupni život na Zemlji. Staklenički plinovi sastoje se najviše od ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>), zatim od metana (CH<sub>4</sub>), dušikova oksida (N<sub>2</sub>O) i klorofluorougljika (freona – CFC) [3].

Ugljični otisak proizvoda naziv je za ukupnu količinu stakleničkih plinova koji se emitiraju u svim aktivnostima vezanim uz životni vijek proizvoda – od ekstrakcije sirovine, preko proizvodnje i eksploatacije proizvoda do njegovog konačnog zbrinjavanja. Pri izračunu ugljikovog otiska, obično se

definira tzv. *ekvivalent ugljika* ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ), koji uključuje doprinos povećanju svih stakleničkih plinova, svedenih na kilograme  $\text{CO}_2$ , obično za razdoblje od godine dana.

Ugljični otisak obuhvaća sve izravne emisije stakleničkih plinova, npr. one koje nastaju pri izgaranju fosilnih goriva. Također, u obzir se uzimaju i neizravne emisije, kao što su one povezane s proizvodnjom električne energije koja se koristi pri izradi određenog proizvoda. Ugljični otisak može se odrediti za proizvod, proces ili organizaciju. U ovom istraživanju, određen je ugljični otisak proizvoda: distributivnog uljnog transformatora.

### 2.3. Standard ISO 14067:2018

Za izračun ugljikovog otiska relevantan je standard ISO 14067:2018 [4], koji je korišten i u ovoj studiji. Standard propisuje samu metodologiju određivanja ugljičnog otiska. Svi podaci koji se mogu izravno izračunati ili očitati, unose se u studiju. Svugdje gdje nema izravnih podataka, potrebno je procijeniti ili dodijeliti podatke po određenom ključu koji se navodi u ograničenjima studije.

Važno je napomenuti da standard ne predviđa međusobnu usporedbu rezultata dobivenih u različitim uvjetima. Naime, izračun ugljičnog otiska odnosi se na točno određen sustav u određenom vremenskom razdoblju (obično jednoj kalendarskoj godini). Preporučuje se napraviti studiju radi „snimanja stanja“ u vlastitoj proizvodnji ili organizaciji. Ponavljanjem studije u jednakim uvjetima (ograničenjima) u sljedećim godinama pomaže organizaciji da procijeni vlastiti napredak po pitanju smanjenja utjecaja na okoliš. Komparacija konačnih rezultata izraženih u kilogramima  $\text{CO}_2$  ekvivalenta za dva slična proizvoda nije sama po sebi dovoljna da bi se utvrdilo koji je proizvod „bolji“ ili „gori“ za okoliš, upravo zbog toga što svaka studija ima svoja ograničenja i dodijeljene vrijednosti (procjene).

## 3. EKSPERIMENTALNI DIO

### 3.1. Granice studije

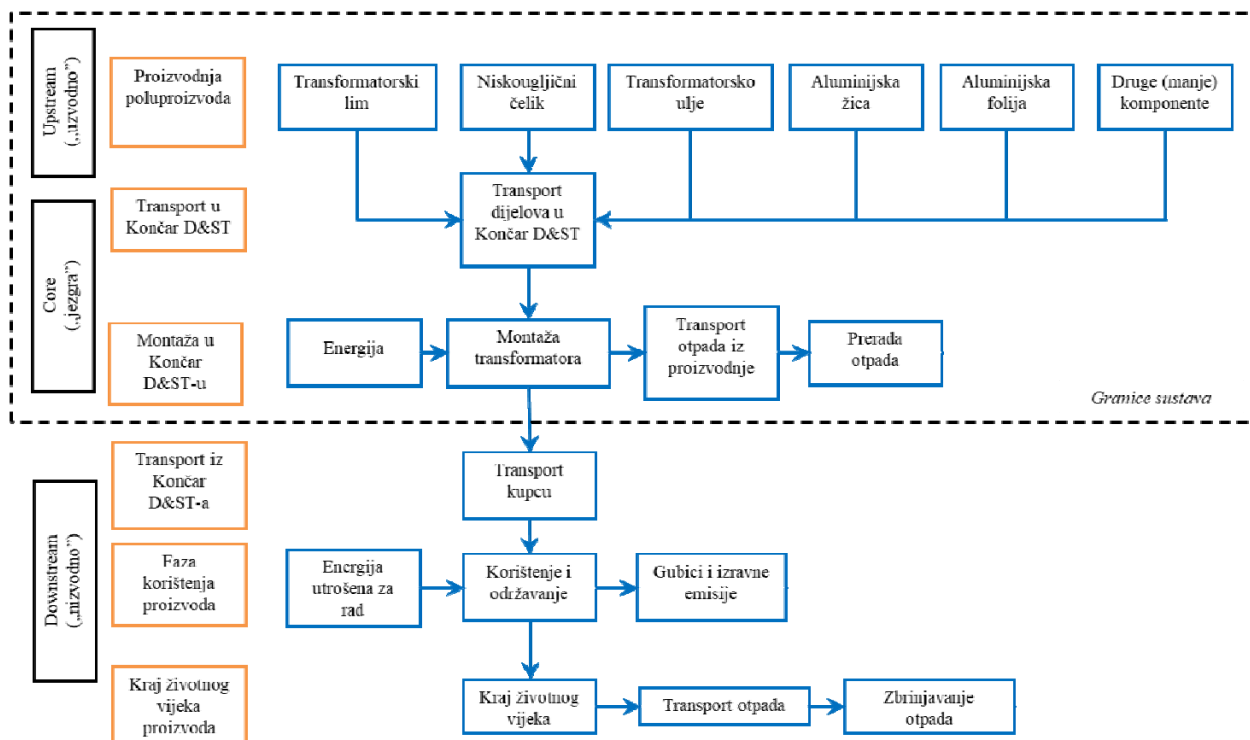
Studija ugljičnog otiska distributivnih uljnih transformatora provedena je s granicama *cradle-to-gate* (prijevod: od kolijevke do vrata). Takav izračun obuhvaća sve doprinose ugljičnom otisku koji potječu od proizvodnje svih sirovina („kolijevka“) do isporuke gotovog proizvoda, odn. izlaska iz tvornice („vrata“). Izračun, dakle, uključuje emisiju stakleničkih plinova generiranu pri:

- Ekstrakciji prirodne sirovine,
- Svim proizvodnim procesima za proizvodnju sirovine, poluproizvoda ili gotovih komponenata koje se kupuju od dobavljača,
- Svim proizvodnim procesima na lokaciji Končar D&ST-a,
- Transportu svih sirovina, poluproizvoda i gotovih komponenata od ekstrakcije prirodne sirovine do izlaska iz tvornice („gate“),
- Zbrinjavanju otpada.

Shema procesa proizvodnje distributivnog uljnog transformatora, s naznačenim granicama studije, prikazana je na Slici 1.

U standardu se ovakav izračun naziva parcijalnim. Potpuni izračun obuhvaćao bi ugljični otisak do „groba“ (*cradle-to-grave*), što uključuje  $\text{CO}_2$  ekvivalent koji se generira u fazi korištenja proizvoda, kao i njegovog konačnog zbrinjavanja na kraju životnog vijeka. Konkretno, za transformatore se ugljični otisak u fazi rada očituje kroz gubitke. Za ovu studiju naglasak je stavljen na proces proizvodnje, kao nama najinteresantniju fazu životnog ciklusa proizvoda.

Studija se odnosi na 2018. godinu.



Slika 1. Shematski prikaz granica sustava za određivanje djelomičnog ugljičnog otiska distributivnog uljnog transformatora [5]

Proizvodni proces podijeljen je u sljedeće faze:

- 1) Projektiranje i konstruiranje transformatora;
- 2) Zaprimanje sirovine;
- 3) Prerada transformatorskog lima – uzdužno i porečno rezanje te slaganje jezgri;
- 4) Izrada namota;
- 5) Montaža transformatora – jezgra, namoti, preklopka, poklopac, provodnici, kotao;
- 6) Sušenje transformatora u LFH postrojenju (engl. *low-frequency heating*);
- 7) Vakuumiranje transformatora, punjenje uljem i hermetičko zatvaranje;
- 8) Završna montaža i priprema za isporuku;
- 9) Otprema gotovog proizvoda iz tvornice;
- 10) Zbrinjavanje otpada.

Proizvodni procesi su u fazi određivanja ugljičnog otiska podijeljeni na tri skupine (engl.): *upstream*, *core* i *downstream*. Slobodni prijevod glasio bi: *uzvodno*, *jezgra* i *nizvodno*. Naziv *core* odnosi se na jezgru procesa koja se odvija na lokaciji proizvodnje. Naziv *upstream* odnosi na sve ono što je „uzvodno“ od jezgre, odn. sve procese koji prethode proizvodnji na lokaciji (proizvodnja i transport sirovina), dok pojam *downstream* označava sve što slijedi nakon proizvodnje u tvornici (otprema, upotreba proizvoda te konačno zbrinjavanje na kraju životnog vijeka).

### 3.2. Analizirani proizvodi

Ugljični otisak određen je za dva tipa distributivnih uljnih transformatora: snage 400 i 630 kVA. Ukupno se radilo o 4 proizvoda koji su se međusobno minimalno razlikovali po izvedbi, kako je naznačeno u Tablici I. Kao što je već navedeno, radi se o standardnom konstrukcijskom i tehnološkom rješenju unutar ove tvornice.

Analizirani proizvodi prikazani su na Slici 2.

Tablica I. Usporedba analiziranih transformatora [5]

Naziv	Nazivna snaga, kVA	Ukupna masa, kg	Posebnost
Objekt 1	400	1221	Referentni proizvod
Objekt 2	400	1261	Prespojivi transformator
Objekt 3	400	1301	Prespojivi transformator punjen sintetskim esterom
Objekt 4	630	1691	Transformator veće snage



Slika 2. Vanjski izgled analiziranih transformatora

### 3.2. Prikupljanje podataka

Studija određivanja ugljičnog otiska provedena je u skladu s međunarodnim standardom ISO 14067:2018. Za sam izračun CO<sub>2eq</sub> angažirana je konzultantska tvrtka koja posjeduje licencu za programski paket SimaPro 9.0 uz bazu podataka Ecolnvent 3.4. Korišteni program i baza podataka omogućuju izračun ugljičnog otiska, uzimajući u obzir sve parametre koji doprinose povećanju udjela stakleničkih plinova. Određeni podaci već postoje u programu – npr. ugljični ekvivalent za pojedine procese proizvodnje metala, informacije o izvorima električne energije za pojedinu zemlju i sl. Ostali podaci moraju se prikupiti i unijeti u program: gdje god je to moguće, unose se konkretni brojevi podaci, a gdje to nije moguće, podaci se dodjeljuju prema određenom ključu.

Projekt određivanja ugljičnog otiska distributivnih uljnih transformatora trajao je nešto manje od godinu dana. Uži tim je kroz redovite sastanke definirao zahtjeve: proizvode (objekte) za koje će se određivati ugljični otisak, granice sustava te vremenski okvir. Konzultantima je dostavljena kompletna lista komponenata (tzv. *bill of materials*) za sve uključene objekte, s navedenim masama pozicija, popisom

korištenih materijala te popisom dobavljača pojedinih sirovina (npr. aluminijska žica), poluproizvoda (npr. bukove šipke) te gotovih komponenata (npr. provodnici).

Dobavljači su intervjuirani kako bi se od njih dobili podaci o izvorima sirovine, načinu transporta i prerade sirovine, korištenim energentima, zbrinjavanju otpada i sl. Drugim riječima, od dobavljača je tražena analiza životnog ciklusa proizvoda ili studija ugljičnog otiska. Gdje god je to bilo moguće, u program su uneseni konkretni podaci dobiveni od proizvođača sirovine. Ondje gdje takvi podaci nisu postojali, korištene su baze podataka i drugi relevantni izvori informacija, u skladu s naputcima standarda ISO 14067:2018. Neki od kontaktiranih dobavljača istaknuli su da trenutno rade na vlastitoj studiji.

Za proizvodne procese unutar tvornice Končar D&ST, potrošnja električne energije izračunata je na dva načina. Prvi način uključivao je izračun potrošnje energije prilikom korištenja strojeva poznate snage tijekom određenog vremenskog perioda (procjena inženjera procesa za svaku poziciju). Drugi način uključivao je tzv. dodjeljivanje (engl. *allocation*), pri čemu je ukupno utrošena električna energija tijekom 2018. godine raspoređena na ukupno proizvedenu snagu transformatora te je postupkom dodjeljivanja utvrđeno koliko je energije potrošeno za pojedini promatrani transformator. Nakon prvog kruga audita, verifikacijska kuća predlaže upotrebu metode dodjeljivanja, iako su oba pristupa dala vrlo slične rezultate. Svi podaci o porijeklu električne energije, bilo na lokaciji tvornice, bilo prilikom proizvodnje sirovine, preuzeti su iz ažuriranih baza podataka za 2018. godinu. Također, sav generirani i zbrinuti otpad tijekom 2018. god. sveden je na snagu transformatora i dodijeljen pojedinom objektu.

#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

Studija je provedena prema metodologiji definiranoj normom ISO 14067:2018. Prikupljeni su svi podaci relevantni za izračun ugljičnog otiska distributivnog uljnog transformatora:

- 1) Kompletni tehnički crteži s podacima o vrstama i masama korištenih materijala;
- 2) Informacije o dobavljačima svih upotrijebljenih materijala – lokacije tvornica, način isporuke robe;
- 3) Podaci o transportu sirovina i komponenata od dobavljača do tvornice;
- 4) Utrošak energije prilikom projektiranja i proizvodnje transformatora;
- 5) Informacije o zbrinjavanju otpada – količine, lokacije poduzeća za zbrinjavanje.

Rezultati studije pokazuju da najveći doprinos ugljičnom otisku daje proizvodnja metalnih sirovina: transformatorski lim za jezgre, aluminijska žica i folija za namote, kao i niskougljični čelik korišten za izradu kotla i poklopca. Uzevši u obzir potrošnju energije i procese potrebne za proizvodnju spomenutih sirovina, kao i relativni maseni udio ovih komponenata u gotovom proizvodu, njihov je utjecaj na ukupni ugljični otisak značajno veći od utjecaja transformatorskog ulja, izolacijskih materijala i gotovih komponenata, kao što su preklopke i provodnici. Tablica II prikazuje ukupnu generiranu količinu stakleničkih plinova, iskazanu kao ekvivalent ugljika, CO<sub>2eq</sub>.

Tablica II. Ugljični otisak distributivnih uljnih transformatora [5]

Naziv	Nazivna snaga, kVA	CO <sub>2eq</sub> , kg
Objekt 1	400	4673
Objekt 2	400	4915
Objekt 3	400	5003
Objekt 4	630	6736

Analiza rezultata pokazala je da doprinos proizvodnje i transporta sirovina do lokacije tvornice iznose otprilike 98%, što znači da se na lokaciji Končar D&ST-a proizvodi 2% ukupno generiranog ekvivalenta ugljika za promatrane objekte.

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom parcijalnog ugljičnog otiska distributivnog uljnog transformatora snage 400 i 630 kVA, utvrđeno je da najveći doprinos čine metalne sirovine: transformatorski lim za jezgre, aluminijska žica i folija korištene za namote te niskougljični čelik korišten za izradu kotla i poklopca. Doprinos same proizvodnje i rada na lokaciji Končar D&ST-a iznosi oko 2 %.

U ovoj analizi nisu uzeti u obzir utjecaji na okoliš koji se javljaju tijekom rada transformatora i njegovog konačnog zbrinjavanja. Tijekom rada transformatora, najveći doprinos povećanju ugljičnog otiska donose gubici u radu. Taj se problem generalno nastoji riješiti promjenom zakonske regulative na razini Europske unije. Slično je i sa zbrinjavanjem proizvoda na kraju životnog vijeka – propisan je način zbrinjavanja svake pojedine komponente, s ciljem što veće stope uporabe.

U cilju smanjenja ukupnog doprinosa povećanju količine stakleničkih plinova, naručitelj studije (kupac) ponudio je jedan od dva moguća smjera:

- 1) Utjecaj na proizvođača sirovine da svoj proces učini „zelenijim“, odn. izbor dobavljača s manjim utjecajem na okoliš.
- 2) Sadnja stabala kako bi se poništio negativan utjecaj generiranih stakleničkih plinova – budući da zelene biljke troše CO<sub>2</sub> u procesu fotosinteze, povećanje njihovog broja izravno pomaže održavanju prihvatljive razine CO<sub>2</sub> u atmosferi.

Suvremeni trendovi i porast svijesti o važnosti očuvanja prirodnih resursa prisiljavaju i proizvođače i korisnike pojedinih proizvoda da vode brigu o okolišu, kroz porijeklo sirovine, izbor materijala, odgovornu uporabu i zbrinjavanje na kraju životnog vijeka.

## 6. LITERATURA

- [1] International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 421: Power transformers and reactors
- [2] <http://enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=44778>, siječanj 2020.
- [3] <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>, siječanj 2020.
- [4] ISO 14067:2018
- [5] Partial carbon footprint for oil immersed transformers; Končar D&ST, SGS Search Consultancy; 2019.