

PRIMENA I MOGUĆNOSTI PROGRAMSKOG PAKETA „CCaLC2” ZA PROCENU UTICAJA PROIZVODNIH PROCESA U INDUSTRIJI NA ŽIVOTNU SREDINU

Nevena ANĐELIĆ¹, Vladana RAJAKOVIĆ-OGNJANOVIĆ²

¹ Energoprojekt – Entel, Bulevar Mihaila Pupina 12, 11070 Beograd, Srbija

² Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

REZIME

Uz svest o značaju zaštite životne sredine javljaju se i zahtevi za stalnim unapređivanjem alata koji se koriste za ocenu stepena zagađenosti i procenu uticaja određenih zagađujućih supstanci na životnu sredinu. Uz unapređene alate, donošenje odluka u korist zaštite okoline od štetnih uticaja je jednostavnije, a rezultati su svima jasniji.

CCaLC2 je softver koji omogućava brzu i laku procenu uticaja procesa proizvodnje na životnu sredinu. Uz primenu ovog softvera moguće je, za bilo koji proces proizvodnje odrediti:

- Otisak emisije ugljen dioksida (potencijal globalnog zagrevanja),
- Vodeni otisak,
- Potencijal acidifikacije,
- Potencijal eutrofikacije,
- Potencijal oštećenja ozonskog omotača,
- Fotohemijski smog i
- Potencijal ljudskog zagađivanja.

Neki od ciljeva koji su postignuti prilikom formiranja ovog softvera, jesu:

- omogućavanje širokom krugu korisnika, kako stručno osposobljenih za tu vrstu posla, tako i onima manje stručnima, da brzo i lako izračunaju otisak emisije ugljen dioksida i druge uticaje na životnu sredinu, prateći međunarodno važeće i prihvaćene standarde,
- smanjivanje napora za prikupljanje podataka, pružanjem obimnih baza podataka,
- pomoć u identifikovanju ekološki kritičnih tačaka i prilika za poboljšanje stanja u okolini,

- pružanje mogućnosti pronalaženja kompromisnog rešenja između uticaja na životnu sredinu i ekonomskih troškova.

Tema ovog rada je prikaz rada u programu CCaLC2. U prvom delu rada objašnjen je način rada u datom programu i opisan je deo njegovih mogućnosti. U drugom delu prikazan je konkretan primer primene, za process proizvodnje vina. Kao rezultat prikazan je numerički izražen uticaj na životnu sredinu analiziranog procesa.

1. RADNI PROSTOR (INTERFEJS)

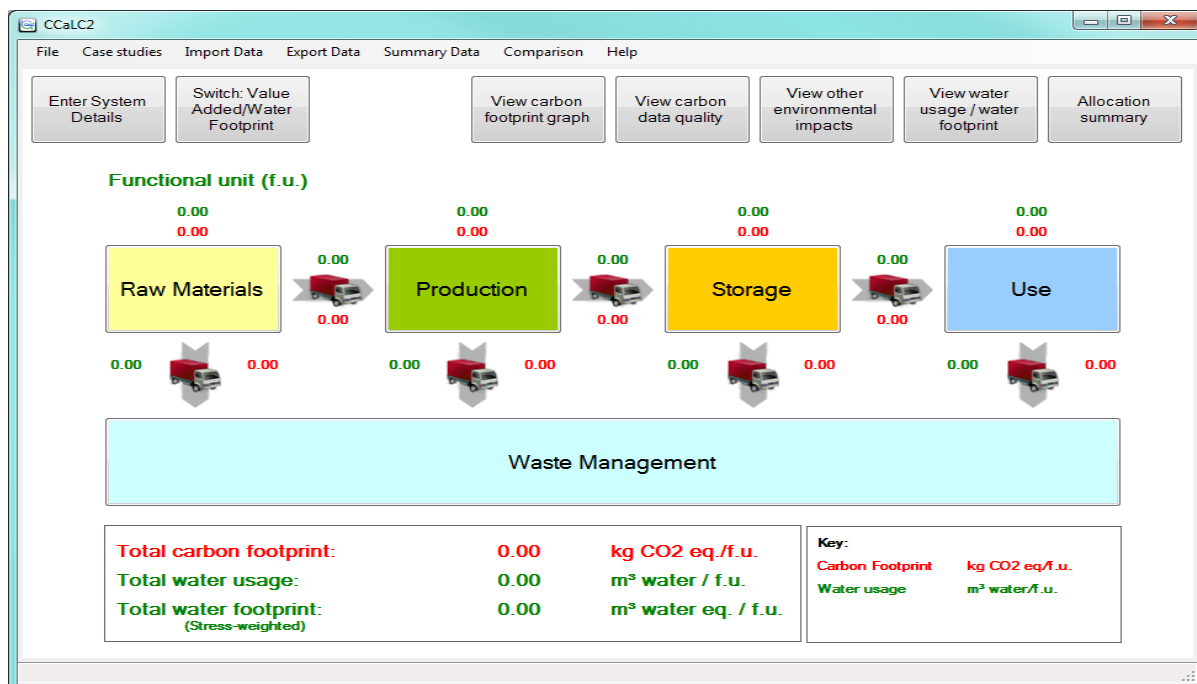
Početni radni prostor softvera sastoji se od nekoliko kartica koje je potrebno popuniti da bi program bio u mogućnosti da obuhvati sve delove procesa i proračuna uticaje na životnu sredinu.

Na slici 1 prikazan je deo korisničkog interfejsa softvera, izabran je prozor sa rasporedom procesa koji obuhvataju životni ciklus proizvoda.

Ponudeni alati za proračun predstavljaju tipičan životni ciklus proizvoda (slika 1). Obuhvataju:

- sirovine (*eng. raw materials*),
- proizvodnju (*eng. production*),
- skladištenje (*eng. storage*),
- korišćenje (*eng. use*),
- transport i
- upravljanje otpadom (*eng. waste management*).

Za svaki od navedenih alata potrebno je uneti određene vrednosti parametara, kao što je objašnjeno u nastavku.



Slika 1: Korisnički interfejs programa

2. ZADAVANJE PARAMETARA

Na početku analize, zadaju se osnovni podaci kao što su naziv analize, funkcionalna jedinica, jedinice koje se koriste, itd. Da bi se ovo definisalo, potrebno je da se aktivira obrazac "Enter System Detail". U okviru ovog prozora unosi se naziv studije i funkcionalna jedinica. Funkcionalna jedinica povezuje funkciju sistema sa zajedničkom jedinicom (na primer masa, energija, itd.). Izbor funkcionalne jedinice odnosi se na krajnji iznos za koji se pripisuje otisak ugljen dioksida po funkcionalnoj jedinici. U ovom prozoru može se koristiti bilo koja jedinica, ali treba voditi računa da se i sve ostale vrednosti unose za ovu jedinicu.

Ovde se takođe definišu i različite jedinice za

- masu (g, kg, t),
- energiju (MJ, kWh),
- udaljenost (km, milje),
- zapreminu (m³, L) i
- monetarne jedinice (£, \$, €).

Jedinice se mogu promeniti u bilo kom trenutku u toku analize ukoliko je potrebno.

Kada se detalji sistema definišu, slede nazivi i definisanje faza proizvodnje. Na ovaj način, kod

unošenja podataka o sirovinama (*eng.* raw materials), treba uvažiti svaku fazu produkcije. Ukupno može biti definisano 10 faza proizvodnje.

Sirovine se definišu u okviru prozora *eng.* raw materials. Ulaskom u ovaj prozor, otvaraju se tabele koje su povezane sa sirovinama.

Postoje četiri tabele koje se popunjavaju unošenjem vrednosti za podatke, od strane korisnika preko korisničkih obrazaca. Podaci se odnose na:

Sirovine – količine koje se koriste i njihove emisije ugljen dioksida,

Energiju – svaka dodatna energija koja se koristi za sirovine koja još nije uzeta u obzir u okviru otiska ugljen dioksida sirovina (npr. skladištenje ili hlađenje sirovina),

Pakovanje – količine koje se koriste za sirovine i proizvode, kao i emisija ugljen dioksida za korišćenu ambalažu,

Otpad – od sirovina i emisije ugljen dioksida koja nastaje upravljanjem otpadom (npr. zbog rasipanja ili kvarljivosti sirovina).

Nakon unošenja svake sirovine, tabela na ekranu će biti ažurirana tako da se prikazuje ime materijala, količina koja se koristi, otisak ugljen dioksida i primena.

Istog trenutka, program daje ukupni otisak ugljen dioksida za datu fazu kretanja sirovina na vrhu ekrana. Takođe, prikazuju se troškovi nastali tokom faze.

Nakon unošenja parametara koji se odnose na sirovine, ažurira se tabela u programu u skladu sa zadatim podacima.

Faza transporta se definiše tek onda kada postoje materijali koji bi se transportovali između faza.

Kod unošenja podataka u fazi transporta definišu se informacije koje se odnose na tip transporta, udaljenost, masu koja se prenosi, otisak ugljen dioksida za transport, ukupni otisak ugljen dioksida za fazu i troškovi.

Emisije ugljen dioksida u okviru faze transporta, računaju se pomoću sledeće jednačine:

$$c.f._{total} = c.f. + c.f. * [(c.f._{empty} / c.f._{load})]$$

gde je:

c.f._{total} - ukupni otisak ugljen dioksida po funkcionalnoj jedinici,

c.f. - otisak ugljen dioksida povezan sa transportom materijala i

c.f._{load} - otisak ugljen dioksida vozila prilikom utovara.

Pojedinosti proizvodnih faza mogu se definisati navođenjem svake faze proizvodnje za koje su nazivi već definisani. Nakon što su sirovine definisane, one će se prikazivati kao *inputi* u fazama proizvodnje u kojima se koriste.

U okviru ovog dela definiše se sledeće:

Korišćenje energije - potrošnja energije za proizvodnju, kao i za druge faze životnog ciklusa. Energetska tabela koja se prikazuje biće ažurirana sa relevantnim informacijama, pripadajućim otiskom ugljen dioksida i povezanim troškovima;

Promena namene zemljišta – zadaje se ukoliko se u analizi mora u obzir uzeti promena namene zemljišta tokom poslednjih 20 godina. Promena korišćenja zemljišta može se definisati u bilo kojoj fazi proizvodnje, kao i u fazi zadavanja sirovina;

Direktna emisija – korisnik može definisati ili direktne emisije gasova staklene bašte i/ili emisije drugih supstanci koje su relevantne za druge kategorije uticaja;

Upotreba ambalaže;

Otpad;

Izlaz iz faze produkcije.

Nakon toga, u okviru faze korišćenja, definiše se sledeće:

Korišćenje uređaja

Tokom faze upotrebe proizvoda, često je potrebno koristiti određeni uređaj za pripremu hrane ili pranje rublja. Da bi analize lakše bile urađene, CcaLC2 sadrži baze podataka o rashladnim uređajima, mašinama za pranje, pećnicama, itd.

Skladištenje biogenog ugljen dioksida

Program uzima u obzir uticaj skladištenja biogenog ugljen dioksida ili unos ugljen dioksida u proizvode, što utiče na otisak ugljen dioksida. Mogu se definisati dva slučaja skladištenja ugljen dioksida, a to su opšti slučaj i specifični slučaj skladištenja biogenog ugljen dioksida nakon nastanka proizvoda.

Otpuštanje ugljen dioksida

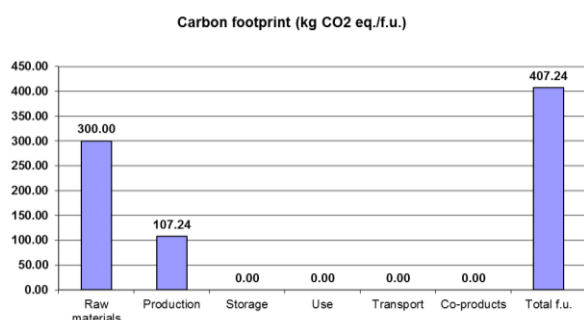
Težinski faktor = $(100 - (0,76 * t_0)) / 100$, gde je t_0 broj godina između formiranja proizvoda i pojedinačnog ispuštanja emisija

3. PREGLED OTISKA UGLJEN DIOKSIDA I PREGLED REZULTATA

Program CCaLC2 automatski, prilikom zadavanja parametara ažurira količinu otiska ugljen dioksida, pa se ovaj podatak može pregledati u bilo kom trenutku. Rezultate je na kraju analize moguće prikazati numerički ili grafički.

Numerički prikaz iskazuje se izraženom, crvenom bojom kroz sam alat. Jedinice su izražene kao masa po funkcionalnoj jedinici, gde je masa jedinica koju određuje sam korisnik (kg, t, itd.). Kao rezultati u numeričkom smislu, prikazuje se ukupni otisak ugljen dioksida za ceo sistem, otisak ugljen dioksida za faze koje se odnose na potrebne sirovine, proizvodnju, skladištenje i upotrebu, otisak ugljen dioksida određenog materijala, energije, ambalaže, otpada ili vrste transporta.

Grafici koji prikazuju rezultate otiska ugljen dioksida su krajnji rezultat koji se dobija primenom ovog softvera. Grafici se mogu prikazati za analizu u celosti, ili pojedinačno, za svaku fazu. Izgled sumarnog grafika koji prikazuje ukupan otisak ugljen dioksida prikazan je na slici 2. Za pojedinačne faze i ostale mogućnosti ovog programa obrađen je jedan primer u okviru drugog dela ovog rada.



Slika 2: Izgled grafika koji prikazuju rezultat analize u vidu otiska ugljen dioksida

4. PRIMER

U ovom delu rada prikazan je primer primene programa CCaLC2, sa podacima koji se odnose na process proizvodnje jedne flaše vina.

Na samom početku se sistemu daje ime, i za ovaj primer odabran je naziv VINO. Pored naziva, zadaje se funkcionalna jedinica za koju se radi analiza i daju se svi potrebni parametri. Za funkcionalnu jedinicu u ovom slučaju izabrana je jedna flaša.

Kada su zadati parametri sistema, nastavlja se sa unošenjem potrebnih parametara koji se odnose na fazu

proizvodnje vina. U okviru ove faze, postoji mogućnost za zadavanje 10 podfaza. Za svaku podfazu zadaju se vrednosti koje se odnose na izlaz (*eng. output*), direktne emisije gasova (*eng GHG emissions*) i ostale emisije gasova ukoliko postoje. Za svaku navedenu podfazu zadaju se količina i vrednost.

Podfazu 1, za primer pravljenja flaše vina, predstavlja fermentacija.

U svakoj od podfaza koje se zadaju, moguće je definisati parametre za celu fazu, a pored toga, definišu se i detalji vezani za iskorišćenu energiju, otpad i eventualnu promenu korišćenja zemljišta (u skladu sa objašnjenjem iz uvodnog dela rada).

S obzirom na to da je za svaku analizu potrebno zadati jako puno podataka, što zahteva detaljno poznavanje svake faze procesa (da bi analiza imala smisla) ono što korisniku značajno pomaže za uvid u vrednosti zadatih parametara je upravo to što se, za svaku fazu, odnosno svaku etapu, prilikom zadavanja vrednosti, ažurira tabela u kojoj su prikazane sve vrednosti koje su zadate.

Pored tabele, u svakom trenutku prikazuje se ukupan ugljeni otisak za datu fazu kao i količina potrošene vode po funkcionalnoj jedinici.

Functional unit: wine 1 bottle
Stage: Raw Materials

Total carbon footprint for stage: 300 kg CO₂ eq. / f.u.
Total water usage for stage: 0.00 m³ water / f.u.
Total water footprint (stress-weighted) for stage: 0.00 m³ water eq. / f.u.

Raw material	Amount (kg/f.u.)	CO ₂ eq. (kg/kg raw material)	CO ₂ eq. (kg/f.u.)	Water usage (m ³ /kg raw material)	Water usage (m ³ /f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m ³ eq./f.u.)	Database section	Production stage
1,3 Propanediol (PDO) from c...	100	3.00	300	0.00	0.00	0.00	CCaLC/Materi...	Stage 2
Total:	100	Total:	300	Total:	0.00	0.00		
Energy	Amount (MJ/f.u.)	CO ₂ eq. (kg/MJ energy)	CO ₂ eq. (kg/f.u.)	Water usage (m ³ /MJ energy)	Water usage (m ³ /f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m ³ eq./f.u.)	Database section	
Total:	0.00	Total:	0.00	Total:	0.00	0.00		
Packaging	Amount (kg/f.u.)	CO ₂ eq. (kg/kg packaging)	CO ₂ eq. (kg/f.u.)	Water usage (m ³ /kg packaging)	Water usage (m ³ /f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m ³ eq./f.u.)	Database section	Production stage
Total:	0.00	Total:	0.00	Total:	0.00	0.00		
Waste	Amount (kg/f.u.)	CO ₂ eq. (kg/kg waste)	CO ₂ eq. (kg/f.u.)	Water usage (m ³ /kg waste)	Water usage (m ³ /f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m ³ eq./f.u.)	Database section	
Total:	0.00	Total:	0.00	Total:	0.00	0.00		

Slika 3: Sumarni pregled zadatih parametara vezanih za materijale (tokom faze koja se odnosi na sirovine)

Prateći dalja objašnjenja za zadavanje parametara, kada se zadaju svi potrebni podaci vezani za fazu proizvodnje, sledeće na redu su podaci koji se odnose na sirovine. Obrasci kod unošenja ovih vrednosti su veoma slični kao i za prethodnu fazu.

U okviru programa postoji jako veliki spisak ponuđenih materijala koje je moguće izabrati i koristiti. Ipak, neretko se nailazi na slučaj kada je potrebno zadati neki materijal koji ne postoji u ponuđenoj listi programa. U tom slučaju, postoji opcija za uvođenje novog materijala koji se dodaje u bazu podataka. Ovo se ostvaruje kroz popunjavanje korisničkog prozora za modifikaciju baze (*eng.* modify database) u okviru definisanja materijala (sirovine). Za primer koji je izabran i obrađen u okviru ovog rada, baza podataka je dopunjena jednim materijalom, želeom (*eng.* Jelly).

Ukupan, sumarni pregled svih zadatih materijala, prikazan je na slici 3. Ukupan otisak ugljen dioksida je 300 kg/fj. Svaki uneti podatak moguće je korigovati u bilo kom trenutku analize ukoliko se uoči neka greška ili dođe do potrebe za promenom bilo kog zadatog parametra.

Za konkretan primer, nisu uneti podaci koji se odnose na fazu transporta, pakovanja i korišćenja proizvoda. Korisnički obrasci za ove faze su vrlo slični već prikazanim, pa bi popunjavanje podataka takođe bilo slično.

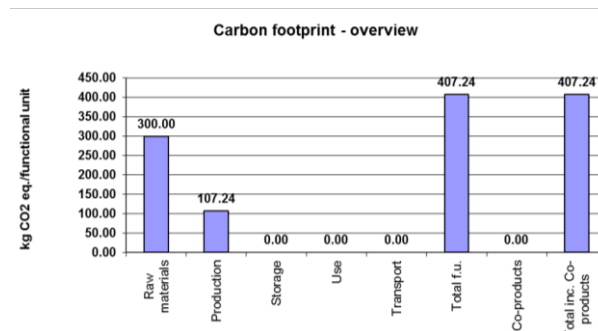
Na slici 1 koja predstavlja izgled interfejsa programa, uočava se i kartica koja se odnosi na upravljanje otpadom (*eng.* waste management). Vrednosti u ovoj kartici ažuriraju se prilikom zadavanja ostalih parametara.

5. REZULTATI ANALIZE

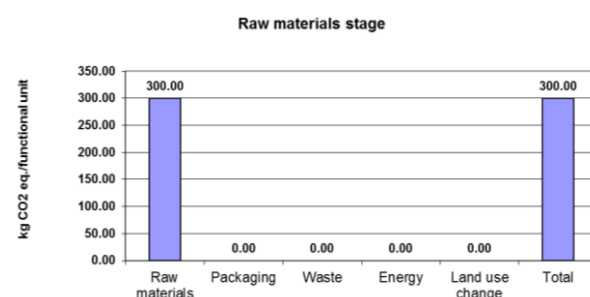
Rezultate analize moguće je prikazati numerički ili grafički. Uvid u numeričke rezultate moguć je tokom cele analize. Sve vrednosti se menjaju prilikom unosa podatka, pa je u svakom trenutku ova vrednost ažurirana za trenutni unos. Grafici koji su deo rezultata prikazani su u narednom delu.

Grafici mogu biti prikazivati različite uticaje.

Grafik otiska ugljen dioksida moguće je sagledati za celu fazu (Slika 4) ili kao odvojene grafike za svaku fazu posebno.



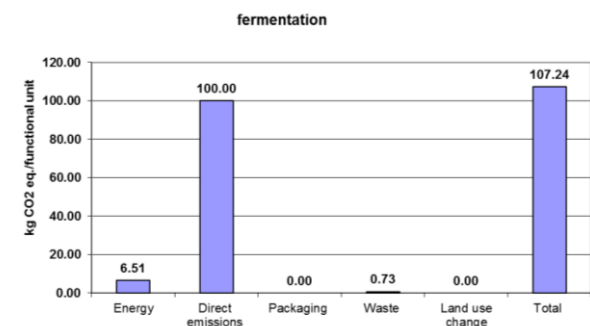
Slika 4: Grafik otiska ugljen dioksida za celu analizu



Slika 5: Otisak ugljen dioksida za fazu sirovina

Sa slike 4 uočava se da na sumarnom grafiku postoji opcija za pregled grafika posebno za fazu produkcije i fazu sirovina (slika 5). Ako se prikaže grafik za fazu sirovina, dalje je moguće pregledati pojedinačne grafike za sirovine, pakovanje, otpad, energiju i promenu namene zemljišta.

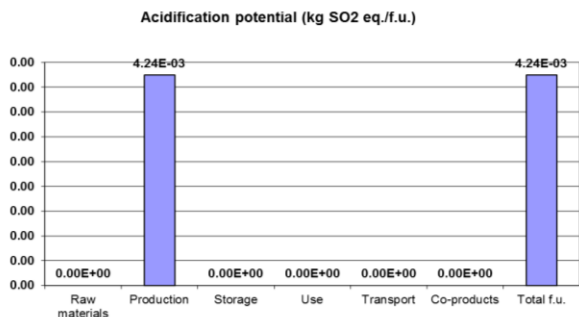
Sledeći nivo prikaza grafika (npr. za sirovine) prikazuje količinu ugljeničnog otiska za svaki zadati materijal.



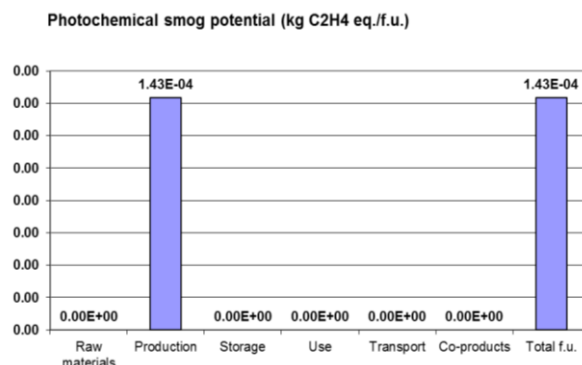
Slika 6: Otisak ugljen dioksida za fazu fermentacije

Grafik komponenti koje utiču na životnu sredinu obuhvata komponentu koja se odnosi na potencijal acidifikacije, eutrofikacije, oštećenja ozonskog

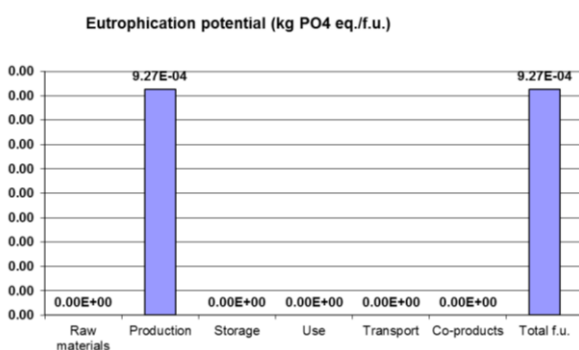
omotača, fotohemijski smog, uticaj zagađenja usled ljudskog učešća.



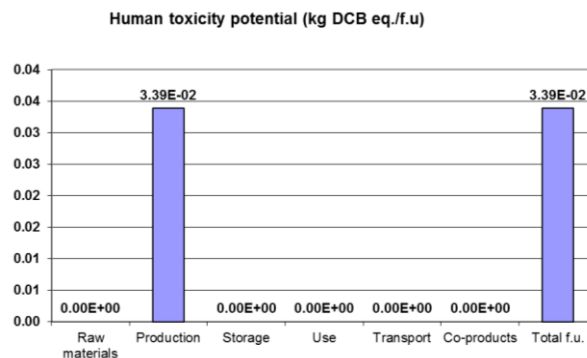
Slika 7: Potencijal acidifikacije



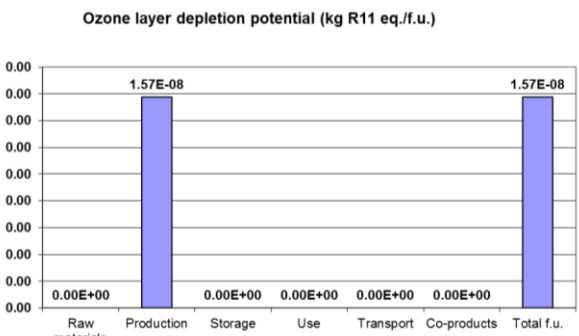
Slika 10: Fotokemijski smog



Slika 8: Potencijal eutrofikacije



Slika 11: Potencijal zagađenja usled ljudske ljudske aktivnosti.



Slika 9: Potencijal oštećenja ozonskog omotača

Na prikazanim dijagramima, vide se ključne dobijene vrednosti rezultata za ovaj primer. Sve vrednosti prikazane su za zadatu funkcionalnu jedinicu. Tako je za jednu flašu vina dobijen ukupan otisak ugljen dioksida 407 kg, potencijal acidifikacije $4,24 \cdot 10^{-3}$ kg, potencijal eutrofikacije $9,24 \cdot 10^{-4}$ kg, potencija oštećenja ozonskog omotača od $1,57 \cdot 10^{-8}$ kg, fotokemijski smog $1,43 \cdot 10^{-4}$ kg, a potencijal zagađenja usled ljudske aktivnosti 0,034 kg.

6. ZAKLJUČAK

U današnje vreme, velika se pažnja posvećuje uticaju proizvodnih procesa u industriji na životnu sredinu. Za što bržu procenu uticaja poželjno je korišćenje softvera koji omogućavaju uvid u kvantifikovan uticaj svih delova procesa, uključujući nabavku sirovina, proizvodnju sa svim fazama, transport, korišćenje i nastanak i upravljanje otpadom.

U ovom radu opisan je i kroz primer obrađeno korišćenje programa CCaLC2 koji za bilo koji proces proizvodnje omogućava kvantifikaciju:

- otiska ugljen dioksida (potencijal globalnog zagrevanja),
- vodni otisak,
- potencijal acidifikacije,
- potencijal eutrofikacije,
- potencijal oštećenja ozonskog omotača,
- fotohemijski smog i
- potencijal zagađenja usled ljudske aktivnosti.

U prikazanom primeru spravljanja jedne flaše vina, vrlo lako su uočljivi rezultati ove analize, i dobijene vrednosti za svaki od navedenih parametara. Dobijen je otisak ugljen dioksida od 407 kg, potencijal oštećenja ozonskog omotača od $1,57 \cdot 10^{-8}$ kg, a potencijal zagađenja usled ljudske aktivnosti 0,034 kg. Sve ove vrednosti date su za zadatu funkcionalnu jedinicu.

Ako se uzmu u obzir sve mogućnosti ovog programa, može se reći da je CCaLC2 dobra alatka za brzu procenu uticaju na životnu sredinu bilo kog proizvodnog procesa u industriji i odličan je za korišćenje pri izboru proizvodnog procesa ili procesa prečišćavanja voda.

LITERATURA

- [1] CCaLC for Widows Manual (V1.1), November 2016
- [2] M. Anandhan, T. Prabakaran: Environmental impact of Natural Dyeing Process Using Pomegranate Peel Extract as a Dye, November 2013
- [3] www.ccalc.org.uk
- [4] www.youtube.com
- [5] R. E. Munn: Environmental Impact Assessment, Wiley, Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment of the International Council of Scientific Unions by Wiley, 1979
- [6] Fehmi Görkem Üçtuğ: Environmental life cycle assessment of yoghurt supply to consumer in Turkey, Journal of Cleaner Production, Volume 215, Pages 1103-1111, April 2019
- [7] Amra Serdarević: Izbor procesa prečišćavanja procjednih voda sanitarnih deponija, Vodoprivreda, 2/2017
- [8] Pablo Caramazana: A review of the environmental impact of nanomaterial synthesis using continuous flow hydrothermal synthesis, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, Volume 12, Pages 57-62, August 2018
- [9] Carolyn C. Pertsova: Ecological economics, Research Trends, Nova Publishers, 2007
- [10] Riley E. Dunlap and Rik Scarce: Environmental Problems and Protection, The Public Opinion Quarterly, Volume 55, No.4, pp 651-672, 1991

IMPLEMENTATION OF CCALC2 PROGRAM FOR ENVIRONMENTAL PRODUCTION PROCESS EVALUATION, PROGRAM CAPABILITIES

by

Nevena ANĐELIĆ¹, Vladana RAJAKOVIĆ-OGNJANOVIĆ²

¹Energoprojekt – Entel, Bulevar Mihaila Pupina 12, 11070 Belgrade, Serbia

²Faculty for civil engineering, University in Belgrade, Belgrade, Serbia

Summary

With increasing awareness of the importance of environmental protection, there is a demand for continuous improvement of the tools used to assess the amount of pollution and assess the environmental impact of certain pollutants. This greatly facilitates the decision-making process in favor of protecting the environment from adverse effects.

CCaLC2 is software that allows for quick and easy environmental impact assessment, and whose use makes it possible to determine for any production process:

- Carbon footprint (global warming potential),
- Water footprint,
- Potential for acidification,
- Eutrophication potential,
- Ozone depletion potential,
- Photochemical smog i
- The potential for human toxicity

Some of the main goals achieved when creating this software are:

- Enabling a wide range of users, both skilled in the work and others, to quickly and easily calculate carbon footprint and other environmental impacts, following internationally accepted standards,
- Reduce data collection efforts, by providing comprehensive databases,
- Assist in identifying environmental points and opportunities for improvement and
- Providing an opportunity to find a compromise solution between environmental impact and economic costs.

The subject of this paper is work in the aforementioned CCaLC2 program. At the very beginning of the work, the mode of operation in a given program is explained and some of its capabilities are described. Also, an explanatory example is given as the second part of the paper. In this case, an example of wine making was made and the environmental impact of this process was shown as a result.

Key words: CCaLC2, environmental protection, carbon footprint, pollutants

Redigovano 30.10.2019.