

Procjena uticaja visokonaponskih nadzemnih vodova na životnu sredinu primjenom LCA metode

Dejan Ćurčić
MH "ERS" ZD IRCE a.d.
Istočno Sarajevo, BiH
curcic_sa@yahoo.com

Aleksandar Simović
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Istočno Sarajevo, BiH
aleksandar.simovic@etf.unssa.rs.ba

Sadržaj — Cilj ovog rada je da prikaže karakteristike LCA metode za procjenu uticaja različitih proizvoda na životnu sredinu. Metoda nije imala naročito rasprostranjenu primjenu u elektroenergetici, pa ovim istraživanjem nastoje se analizirati mogućnosti njene primjene na visokonaponske nadzemne vodove i vrste uticaja koje njihova izgradnja ima na životnu sredinu. Istraživanje obuhvata LCI popis elemenata jednog 35 kV sistema nadzemnih vodova, neophodan za ovu vrstu proračuna, kao i softversku analizu različitih uticaja. Dat je i uvid u prednosti i nedostatke ovakve metode i diskusija o njenoj daljoj mogućoj primjeni u ovoj oblasti.

Ključne riječi—visokonaponski nadzemni vod; LCA metoda; životna sredina

I. UVOD

LCA (*Life Cycle Assessment* – procjena životnog vijeka) metoda predstavlja rezultat povećane svijesti o zaštiti životne sredine, kao i o potencijalnim uticajima različitih proizvoda na naše okruženje, bilo u fazi njihove proizvodnje ili upotrebe. Osnovni cilj ove metode je da odredi uticaj nekog proizvoda na životnu sredinu tokom cijelog njegovog životnog vijeka, počevši od vađenja ruda potrebnih za njegovu proizvodnju, pa sve do recikliranja materijala nakon upotrebe tog proizvoda, kao i da se taj uticaj predstavi kroz odgovarajuće brojne vrijednosti radi lakšeg poređenja i sticanja jasnije slike o eventualnim posljedicama. Princip LCA metode zasniva se na uzimanju u obzir čitavog niza uticaja koje određeni proizvod može imati na okolinu i to na taj način što će sve ulazno-izlazne veličine i njihovi međusobni odnosi biti predstavljeni brojnim vrijednostima. Na osnovu brojnih veličina nalazi se formula po kojoj se određuje ukupan uticaj posmatranog proizvoda na okolinu, počev od prvih koraka proizvodnje, pa sve do njegovog recikliranja. Dobijeni rezultati koriste se u svrhu unaprijeđivanja procesa proizvodnje i korištenja proizvoda.

Postoje dvije osnovne vrste LCA. Atribucioni LCA nastoji da uspostavi opterećenja koja karakterišu proces proizvodnje ili upotrebe nekog proizvoda u jednom traženom momentu. Posljedični LCA nastoji da odredi uticaje na okolinu koje ima određeni posmatrani sistem, što podrazumijeva da se ekonomski i marketinški faktori uzimaju u obzir. Trenutno se razvija socijalni LCA koji bi trebalo da razmatra socijalni

aspekt i uticaje tokom životnog vijeka nekog proizvoda. Ovaj LCA bi bio prateći posljedičnom LCA koji se bavi uticajem na okolinu. Životni vijek proizvoda sastoji se od proizvodnje, upotrebe i odlaganja. Uticaji na okolinu računaju se tokom svih ovih faza, uzimajući u obzir i procese potrebne da se prerade sirovi materijali kako bi se dobile komponente potrebne za izradu glavnog proizvoda, kao i procesi koji podrazumijevaju vađenje tih materijala iz njihovih nalazišta. Izrada konačnog proizvoda, njegova eksploatacija, održavanje i popravka takođe nose sa sobom ogromne uticaje na okolinu. Na kraju, u obzir se uzima i tretiranje otpada i emisija štetnih gasova u okolinu.

Obzirom da su prve ideje o LCA pokrenute u vrijeme energetske krize, a prvi konkretni radovi na ovu temu urađeni u industriji ambalaže za pića, ideja o primjeni LCA u elektroenergetici došla je znatno kasnije. Do danas je urađeno jako malo opsežnih studija koje se tiču proizvodnje i prenosa električne energije. Na ovom polju prednjači elektroenergetska kompanija *Vattenfal*, sa studijama sprovedenim na svojim proizvodnim i prenosnim postrojenjima na teritoriji Danske i Švedske [1], [2]. Rezultati ovih studija ohrabrujući su u smislu opravdanosti daljih sličnih istraživanja.

LCA je međunarodno standardizovana metoda, data standardom ISO 14040 [3]. Ovaj standard opisuje principe i okvire životnog ciklusa proizvoda: cilj i obim LCA, analizu popisa tokova životnog ciklusa (LCI), procjenu uticaja (LCIA), interpretaciju, izvještavanje i kritički osvrt na LCA, kao i odnose između pojedinih faza. On pokriva studije životnog vijeka i popisa potrebnih tokova, ali ne daje detaljne opise tehnika, niti naznačava metodologije pojedinih faza metode. Stoga vršenje analize ovom metodom podrazumijeva držanje osnovnih okvira, ali ujedno ostavlja i mogućnost brojnih improvizacija. Njegova prvenstvena uloga je davanje ozbiljnosti ovoj tematici i predstavljanje osnove za dalje unaprijeđivanje metode.

II. PRIMJENA LCA NA VISOKONAPONSKE NADZEMNE VODOVE

Ovo istraživanje uvodi LCA metodu u elektroenergetiku, preciznije u visokonaponske nadzemne vodove. Posmatran je jedan postojeći 35 kV sistem vodova. Za svaki pojedinačan proces tokom proizvodnje, sklapanja i postavljanja jednog ovakvog sistema izvršen je popis neophodnih resursa, kako materijalnih, tako i energetskih. Popis je predstavljao osnovu

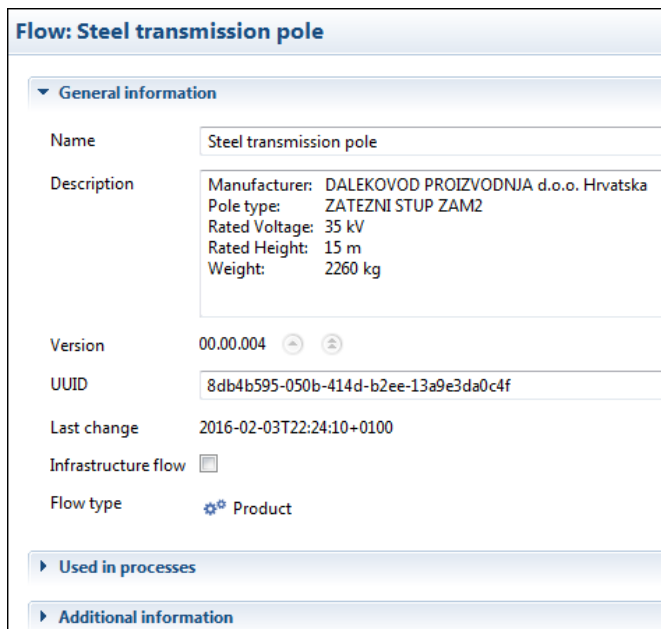
za softverski proračun različitih uticaja, kao i za analizu dobijenih rezultata. Uporedo sa porastom svijesti o uticaju na životnu sredinu i razvojem tehnologije, kretao se i napredak softvera za proračun i analizu uticaja proizvoda na životnu sredinu. Softver koji je služio kao alat u ovom istraživanju je OpenLCA [4], profesionalni alat za LCA analizu širokog spektra proizvoda. Softver sadrži brojne unaprijed formirane baze podataka, ali je ujedno i *open source* proizvod, što znači da je njegov izvorni kod transparentan i dostupan svima, pa je moguće vršiti sve potrebne promjene i prilagođavanja. U ovoj studiji kao osnova korištena je švajcarska baza podataka *ecoinvent 3.1*, koja je i najobuhvatnija baza kada je riječ o LCI popisima. Jedinice, parametri, resursi, tokovi i procesi koji su neophodni za studiju, a nisu sadržani u ovoj bazi, modelovani su naknadno.

III. LCI POPIS

Vršenje popisa podrazumijeva pregled svih ulaznih i izlaznih tokova u sistemu. Ulazni tokovi mogu da predstavljaju različite sirovine, materijale, energiju i druge resurse, dok su izlazni tokovi proizvodi i otpad koji je nastao tokom proizvodnje. Popis koji je prethodio ovoj analizi vršen je korak po korak, za svaki proizvod i proces posebno. I pored toga, neki elementi nisu uzeti u obzir, s obzirom da njihov uticaj nije toliko značajan.

A. LCI popis tokova sistema

Polaznu osnovu predstavlja činjenica da se sistem sastoji od provodnika, zaštitne užadi, kao i stubova sa pripadajućom opremom, temeljima i uzemljenjima. Stoga se prvo kao tokovi modeluju upravo ovi elementi sistema. Posmatrani stubovi su identični. Svaki od njih je od proizvođača Dalekovod d.d. iz Hrvatske [5], izrađen je od pocinčanog čelika i visok 15 metara. Na svakom stubu nalazi se po šest staklenih izolatora odgovarajućeg naponskog nivoa. Sl. 1 prikazuje model jednog posmatranog stuba u korištenom softveru.



Slika 1. LCI model čeličnog stuba

Betonski temelj svakog stuba približno je istih dimenzija. Uzemljenje je izvedeno bakrenom šinom odgovarajućeg presjeka. Provodnici su raspoređeni u dva trofazna sistema, sa jednim zaštitnim užetom. Izvedeni su kao upletena Al/Fe užad presjeka 95/15 mm², proizvođača Energoinvest – Tvornica kablova Duvno, današnji Kapis d.o.o. - Tvornica Kablova Tomislavgrad [6]. Isti proizvođač dobavljač je i zaštitnog bakarnog užeta presjeka 70 mm².

B. LCI popis proizvodnih procesa

Modelovani čelični stub, temelj sa uzemljenjem, provodnik i zaštitno uže predstavljaju izlazne tokove, odnosno proizvode. Svakom od njih sada se dodjeljuju proizvodni procesi. Proces za proizvodnju temelja i uzemljenja podrazumijeva pripremu terena, betoniranje temelja, izradu bakarne trake za uzemljenje i njeno polaganje u zemlju. Proces proizvodnje stuba sastoji se od izlivanja čelične konstrukcije, izrade staklenih izolatora sa pripadajućom opremom, cinkovanje i montaža na odgovarajući temelj i uzemljenje.

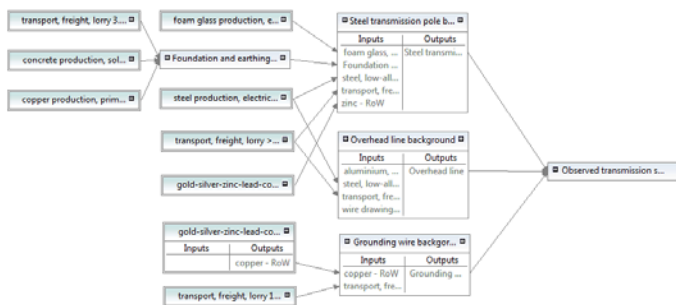
Sl. 2 ilustruje ulazne tokove ovog procesa. Proizvodnja jednog kilometra Al/Če provodnika uključuje proizvodnju i obradu aluminijuma i čelika, te njihovo uplitanje u višežilno provodno uže. Svaki od navedenih procesa iz popisa podrazumijeva i odgovarajući prevoz materijala i proizvoda. Prevoz se obavlja drumskim teretnim saobraćajem od proizvođača do mjesta ugradnje i predstavlja veoma važan tok u LCI popisu proizvodnog procesa, obzirom da njegov uticaj na okolinu nije zanemarljiv.

Process: Steel transmission pole background				
Inputs				
Flow	Cate...	Flow ...	Unit	Amount
transport, freight, lorry >3...	492:...	Good...	kg*km	TW*DIST
foam glass, electricity, lab...	239:...	Mass	kg	87.0
zinc - RoW	072:...	Mass	kg	0.65
steel, low-alloyed - RoW	241:...	Mass	kg	2260.0
Foundation and earthing		Num...	Item(s)	1.0

Slika 2. LCI popis ulaznih tokova za proizvodnju čeličnog stuba

IV. MODEL PROIZVODNOG SISTEMA

Nakon modelovanja svih neophodnih proizvodnih procesa, stvara se konačan proces formiranja posmatranog prenosnog sistema. Njegovi ulazni parametri su proizvodi pomenutih procesa, kao i energija, radovi i prevoz potrebni za formiranje sistema. Za ovaj završni proces u softveru se pravi proizvodni sistem. Softver prikuplja unešene parametre tokova i procesa i na osnovu njih formira model proizvodnog sistema. Ovaj model može se prikazati grafički, kao što je i prikazano na Sl. 3. Posmatrajući dijagram, prvo se nailazi na elementarne sirovine i materijale, zatim u sredini slijede proizvodni procesi koji te materijale pretvaraju u proizvode, a ciklus zaokružuje proizvodni sistem, koji i jeste predmet ovog istraživanja.



Slika 3. Grafički prikaz modela proizvodnog sistema

V. REZULTATI PRORAČUNA

Svi elementi dijagrama sa Sl. 3 u većoj ili manjoj mjeri utiču na životnu sredinu. Analitički proračun ovih uticaja može biti zasnovan na više metoda, od kojih je najobuhvatnija CML metoda [7]. Proračuni sljedećih uticaja obuhvaćeni su ovom metodom:

- mogućnost zakiseljenja;
- fotohemijaska oksidacija;
- klimatske promjene;
- uništavanje ozonskog omotača;
- trovanje tla;
- trovanje slatkovodnih resursa;
- trovanje morskih voda;
- trovanje ljudi;
- trošenje abiotičkih resursa - ultimativni resursi;
- trošenje abiotičkih resursa - fosilna goriva;
- eutrofikacija.

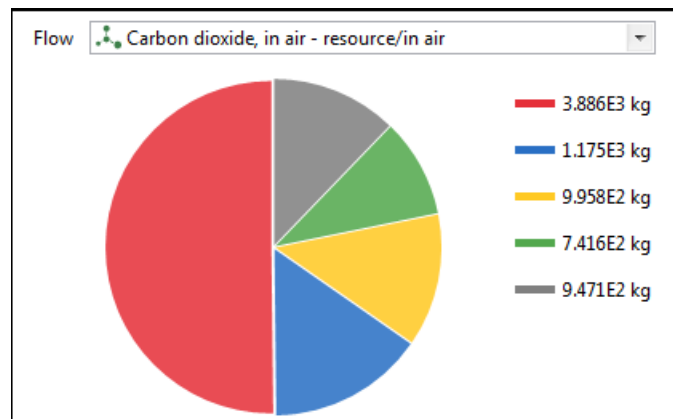
Rezultati proračuna svih navedenih uticaja za posmatrani sistem visokonaponskih nadzemnih vodova prikazani su na Sl. 4.

Impact category	Result	Reference unit
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf	1.01795E9	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Depletion of abiotic resources - fossil fuels	2.20138E6	MJ
Human toxicity - HTP inf	1.17976E6	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf	3.87776E5	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Climate change - GWP100	2.29038E5	kg CO2 eq.
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf	8474.15594	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Acidification potential - average Europe	2528.29573	kg SO2 eq.
Eutrophication - generic	1089.72058	kg PO4--- eq.
Photochemical oxidation - high Nox	145.98063	kg ethylene eq.
Depletion of abiotic resources - elements,...	29.20128	kg antimony eq.
Ozone layer depletion - ODP steady state	0.01691	kg CFC-11 eq.

Slika 4. Rezultati softverske analize uticaja izgradnje posmatranog sistema

Rezultati koje CML metoda daje vrlo su iscrpni i obuhvataju mogućnost ispuštanja nekoliko stotina različitih jedinjenja u okolinu. Jedinjenja su grupisana prema segmentu okoline koji ugrožavaju, pa tako postoje jedinjenja koja utiču na vazduh, slatku i slanu vodu, poljoprivredno i industrijsko tlo, ozonski omotač i sl., a najčešća su ona koja kombinovano utiču na dva ili više segmenata. Svaki od navedenih uticaja predstavljen je analitički, preko brojnih vrijednosti i jedinstvenih jedinica.

Na Sl. 5 prikazan je primjer doprinosa procesa ispuštanju ugljen-dioksida u vazduh. Tako se npr. mogućnost zakiseljenja procjenjuje na osnovu emisije SO₂ i NH_x u atmosferu, obzirom da ta jedinjenja u reakciji sa vodom stvaraju kisele kiše. Ova pojava dovodi do smanjenja Ph vrijednosti uslijed antropogenih emisija, što dovodi do povećanja kiselosti tla i voda. Konačna posljedica je narušavanje kvaliteta ekosistema i smanjenje različitosti živog svijeta. Ove kiše često padaju daleko od mjesta emisije gasova, što je pojava koju nije bilo moguće implementirati u model, kao ni druge regionalne zavisnosti. Jedinica koja je u implementaciji ovog procesa dodijeljena mogućnosti zakiseljenja je ekvivalent kilogramu SO₂. To znači da je količina svih emitovanih materija koje imaju uticaj na zakiseljenje izražena u ekvivalentnoj vrijednosti SO₂ u kg [7].

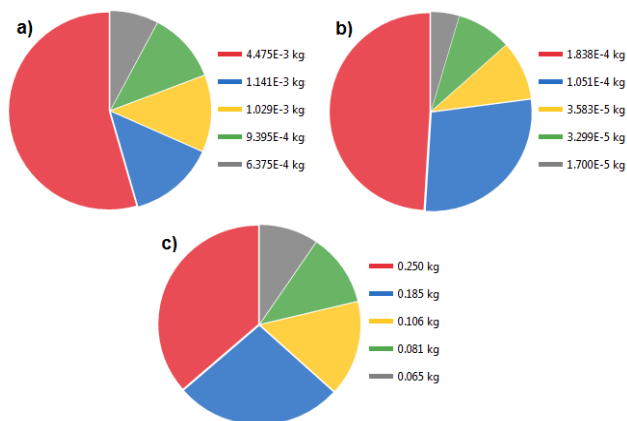


Slika 5. Doprinos pojedinih procesa na emisiju CO₂ u vazduh (crvena – proizvodnja i prerada bakra; plava – proizvodnja i prerada čelika; žuta – proizvodnja i prerada aluminijuma; zelena – proizvodnja betona; siva – ostali procesi)

Jedna od prednosti analize dobijenih rezultata je slikovit prikaz uzroka uticaja, pa se sa Sl. 4 jasno vidi da je od svih procesa sadržanih u posmatranom proizvodnom sistemu proizvodnja i obrada bakra najveći izazivač zakiseljenja u okolini. Obzirom da skoro sav bakar korišten u sistemu odlazi na zaštitnu užad, ovo je dovoljan povod za diskusiju o opravdanosti korištenja bakra u posmatranom slučaju. Logičan naredni korak bio bi vršenje analize i poređenja, uključujući zaštitnu užad od drugog materijala, npr. aluminijuma ili čelika.

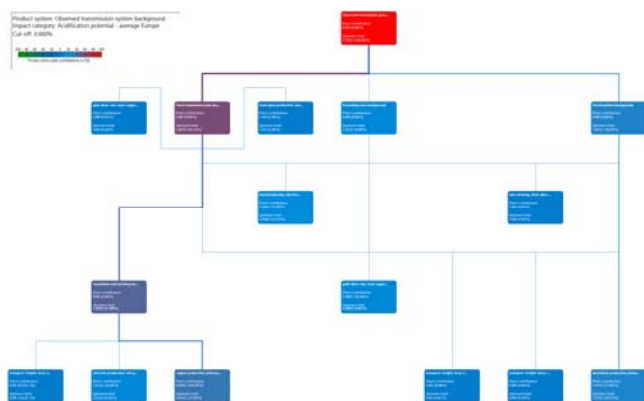
Potrebno se osvrnuti i na najzanimljiviji uticaj koji se direktno odnosi na čovjeka, a to je toksični uticaj hemikalija na zdravlje ljudi. Mogućnost toksičnog uticaja na ljudski organizam (HTP – *Human Toxicity Potential*) predstavlja proračun indeksa koji oslikava mogući štetni uticaj hemikalije ispuštene u okolinu, a zasniva se na inherentnoj toksičnosti jedinjenja i mogućoj dozi. Ovi nus-proizvodi, mahom arseni, natrijum-dihromati i hidrogen-floridi, pretežno nastaju kao posljedica fosilnih goriva. Oni predstavljaju potencijalnu opasnost po čovjeka u slučaju udisanja, gutanja, pa čak i kontakta. Predmet izučavanja u ovom slučaju je mogućnost stvaranja kancerogenih stanica. Ovaj uticaj mjeren je u ekvivalentima 1,4-dihlorbenzena [7].

Potrebno je uzeti u obzir uticaje tri navedena značajna nus-proizvoda u posmatranom prenosnom sistemu. Sl. 6 prikazuje uzročnike njihove emisije u životnu sredinu.



Slika 6. Doprinos procesa na emisiju a) arseni, b) natrijum-dihromati i c) hidrogen-floridi (crvena – proizvodnja i prerada aluminijuma; plava – proizvodnja i prerada čelika; žuta – proizvodnja i prerada bakra; zelena – proizvodnja betona; siva – ostali procesi)

Može se zaključiti da u ovoj kategoriji proizvodnja i prerada aluminijuma ima najveći uticaj. Naime, aluminijum doprinosi oslobađanju arsena, natrijum-dihromata i hidrogen-florida kao svi ostali procesi zajedno. Njegova proizvodnja i obrada zahtijeva najveći utrošak fosilnih goriva, pa otuda i ovi rezultati. Još jedna mogućnost softverske analize je i tzv. Sankijev dijagram. On predstavlja posebnu vrstu dijagrama toka, gdje je širina linija toka proporcionalna njegovoj količini. Prvenstveno se koristi za prikaz tokova energije ili troškova, ali u posmatranom slučaju savršeno može da se primijeni na količinu uticaja pojedinih procesa. Na Sl. 7 dat je Sankijev dijagram posmatranog sistema kada je u pitanju uticaj na zakiseljenje. Takođe je moguće dati ovaj dijagram za bilo koju drugu vrstu uticaja. Na dijagramu intenzitet uticaja razdvojen je kako širinom linije tokova, tako i bojom polja svakog od procesa. Polazeći od plave, preko ljubičaste ka crvenoj boji, intenzitet uticaja je sve veći.



Slika 7. Sankijev dijagram uticaja pojedinih procesa

VI. ZAKLJUČAK

LCA predstavlja veoma koristan alat kada je u pitanju procjena uticaja nekog proizvodnog procesa na okolinu. Kada se govori o primjeni LCA u elektroenergetici, uprkos skromnim dosadašnjim primjenama, s pravom se može reći da će naći svoju primjenu kod elektroenergetskih preduzeća, inženjera i lica zaduženih za planiranje visokonaponskih

nadzemnih vodova, pri procjeni uticaja ili interakcije nadzemnih vodova i životne sredine. Potrebno je ipak napomenuti da njegova primjena ima i neka ograničenja. LCA ne razlikuje prioritete među vrstama uticaja i ne pravi razliku između lokalnih uticaja i uticaja raširenih u vremenu i prostoru. Softver ove vrste ne može dati prednost određenoj vrsti uticaja u odnosu na drugu. O tim stvarima korisnik mora sam da odlučuje. Tako na primjer nije moguće napraviti razliku između velikog zagađenja u kratkom vremenskom periodu ili manjeg zagađenja kroz duži vremenski period. Takođe, ne uzima u obzir socijalne uticaje niti tretira aktivnosti ljudi na bilo koji način. Preporuka za dalji rad na istraživanjima iz ove oblasti svodi se na dodatno modelovanje tokova poput sitne opreme koja se ugrađuje u sisteme nadzemnog prenosa električne energije, ljudskih resursa i mehanizacije. Takođe je moguće napraviti proračun uticaja visokonaponskih nadzemnih vodova po prenesenoj jedinici električne energije (MWh). Obzirom da LCA metoda ima budućnost u elektroenergetskoj industriji, njena primjena u budućim projektima izgradnje elektrana, prenosnih vodova, razvodnih postrojenja, transformatorskih stanica i distributivnih mreža bila bi dobra praksa za njeno dalje usavršavanje.

LITERATURA

- [1] "Life-cycle assessment for Vattenfall's electricity generation", Summary report, Vattenfall AB, December 1999.
- [2] B. Bodlund, P. Sjöström and A. Larsson, "Vattenfall's life cycle studies of electricity", Vattenfall AB and Explicare AB, October 1999.
- [3] ISO 14040:2006, "Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework", Technical Committee ISO/TC 207, Environmental management, Subcommittee SC 5, Life cycle assessment, 2006.
- [4] S. Winter, Y. Emar, A. Ciroth, C. Su and M. Srocka, "OpenLCA 1.4 - Comprehensive User Manual", GreenDelta GmbH, Version 1.2, March 2015.
- [5] "Čelično rešetkasti stupovi za dalekovode 10, 20 i 35 kV – Uputa za primjenu stupova", DALEKOVOD-PROJEKT d.o.o., 2010.
- [6] "Catalogue 2010", KAPIS d.o.o. TKT, 2010.
- [7] A.P. Acero, C. Rodríguez and A. Ciroth, "LCIA methods - Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories", GreenDelta GmbH, Version 1.2, February 2014.

ABSTRACT

Since its introduction in environmental impacts assessment, LCA method has hardly found its application in electrical power industry. The purpose of this paper is to discuss applicability of the method on environmental impact assessment conducted by high voltage overhead transmission lines. The research consists from LCI inventory and software analysis of a 35 kV overhead line system and its variable possible impacts. Strength and weaknesses of both method and observed system are discussed, as well as guidelines for future work.

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF HIGH VOLTAGE OVERHEAD TRANSMISSION LINE USING LCA METHOD

Dejan Ćurčić
Aleksandar Simović