

OCENA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA) PAPIRNIH IZDELKOV

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF PAPER PRODUCTS

Damjan Balabanič¹

IZVLEČEK

Večina uspešnih podjetij po vsem svetu je čedalje bolj osredotočena na okoljsko, socialno in gospodarsko trajnost izdelkov, kar je privedlo do povečanega spremljanja izdelave izdelka, od pridobivanja surovin do proizvodnje, pakiranja, distribucije, uporabe ter do odstranjevanja odsluženih izdelkov z recikliranjem in ponovno uporabo materialov oziroma z odlaganjem na odpad. Za oceno teh vplivov so razvili metode in ena od najpomembnejših metod je ocena življenjskega cikla LCA (ang. life cycle assessment).

LCA je metoda za merjenje celotnih okoljskih vplivov izdelka »od zibelke do groba« in se lahko uporabi za izboljšanje okoljskih učinkovitosti izdelkov v njihovem življenjskem ciklu. Gre za celovito analizo okolja z uveljavljenimi postopki in metodami, ki jih urejajo posebni predpisi in standardi, predvsem tistih, ki jih je sprejela in razvila Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO 14040 in ISO 14044).

Zaradi visoke porabe energije in izpustov v okolje so okoljske raziskave namenile veliko pozornosti procesu proizvodnje papirja.

Ključne besede: papirna industrija, LCA, ISO 14040, ISO 14044, poraba energije.

ABSTRACT

In most industries and businesses worldwide, there is an increasing focus on the environmental, social and economic sustainability credentials of companies and products. This has led to an increase in the application of life cycle thinking, which includes economic, environmental and social consequences of a product or process through its entire life cycle, from raw material extraction to manufacture, packaging, distribution, application and disposal. Several environmental assessment methods have been developed to measure these impacts and one of the most important is life cycle assessment, LCA.

The LCA attempts to measure the total environmental effects of a product »from the cradle to the grave«. It can be used to improve the environmental performance of products throughout their life cycle. It is a comprehensive environmental accounting tool with well-established procedures and methods that are governed by specific rules and standards, most notably those developed by the International Organization for Standardization (ISO 14040 and ISO 14044).

The pulp and paper manufacturing process is characterized by important features that draw the attention of environmental researchers. The first one is its high energy consumption and consequently, its high emissions.

Keywords: paper industry, LCA, ISO 14040, ISO 14044, energy consumption.

1 Uvod

Pomena naravnega okolja in dolžnosti, da ga poskusimo kar najbolj ohraniti za prihodnje rodove, se zaveda čedalje več ljudi. Nadvse pomembno je, da se tega zavedajo tudi tisti, ki lahko za ohranitev okolja tudi veliko storijo. Skrb o izbiri abiotičnih virov in čedalje večje onesnaževanje sta strokovnjake v številnih podjetjih spodbudila, da so se preusmerili na izdelavo okolju prijaznejših proizvodov in tehnologij.

V zadnjih letih je čedalje več industrij osredotočenih na okolje, kar je privedlo do povečane uporabe ocene življenjskega cikla – LCA (ang. LCA – life cycle assessment) in do izvedbe številnih študij, od pridobivanja surovin do proizvodnje, pakiranja, distribucije, uporabe ter do odstranjevanja odsluženih izdelkov

z recikliranjem in ponovno uporabo materialov oziroma z odlaganjem na odpad (»od zibelke do groba«). Večina teh študij je bila namenjenih ključnim industrijam, ki zaradi konkurenčnosti med podjetji niso bile nikoli objavljene.

Tako je leta 1969 postala ocena življenjskega cikla izdelkov – LCA – ena od metod za ugotavljanje negativnih vplivov izdelkov na okolje. Družba Coca-Cola se je odločala med zamenjavo povratnih steklenic z uporabo pločevink za enkratno uporabo in uporabo plastenk. V ta namen je Harry E. Teasley Jr. naredil prvo LCA študijo [1]. Javnost je bila zaskrbljena zaradi okoljskega vpliva zamenjave embalaže, vendar pa je študija razkrila, da skozi ves življenjski krog plastenke porabijo manj virov ogljikovodikov, kot klasične steklenice [1].

2 Študija LCA

Študije življenjskega cikla oziroma študije LCA so namenjene oceni celotnega okoljskega vpliva (od surovin do končne uporabe) nekega, vnaprej določenega izdelka. LCA študije se lahko uporabijo tudi za analizo izboljšanja okoljskega vpliva, zmanjšanja stroškov in optimizacije procesa med proizvodnjo izdelka. LCA predstavlja celovito orodje, ki vključuje postopke in metode osnovane na predpisih in standardih, od katerih velja še posebej izpostaviti standarda ISO 14040 in 14044, ki opisujeta načela, okvir, zahteve in smernice za izvedbo LCA študije [2, 3]. Zavedati pa se moramo, da so dobljeni rezultati LCA študij relevantni izključno le za geografsko območje, v katerem so bili zbrani (na primer LCA podatkov iz regije, kjer se električna

energija pretežno pridobiva iz fosilnih goriv, ni mogoče uporabiti za regijo, kjer se energija pretežno pridobiva iz hidroelektrarne).

Najpogosteje uporabljeni parametri za oceno vpliva izdelka na okolje so:

- ▶ zakisljevanje (emisije plinov SO₂ in NO_x);
- ▶ globalno segrevanje (toplogredni plini);
- ▶ evtrofikacija (fosfor in dušik);
- ▶ poraba primarne energije (obnovljivi in neobnovljivi viri);
- ▶ poraba fosilnih goriv;
- ▶ (eko)toksikologija (vpliv emisij na človeka in okolje).

2.1 Pregled študij s področja papirništva

Papirna industrija predstavlja proizvodnjo širokega spektra izdelkov (grafični papir, higienski papir, embalažni papir, karton, lepenka...), zato je poenotena LCA analiza nesmiselna. V zadnjih letih je veliko študij narejenih na primerjavi med papirnatimi in plastičnimi izdelki. Ker je večina študij predpostavljala, da so papirnati izdelki samo za enkratno uporabo, plastični pa za večkratno, je večina rezultatov kazala na večje obremenjevanje okolja pri papirnih izdelkih. Vendar pa so papirnati izdelki še vedno okolju in človeku prijaznejši, kot nekateri konkurenčni izdelki. Tako kot v drugih industrijskih panogah, je pri LCA študijah tudi v papirni industriji velik poudarek na porabi energije [4, 5, 6]. Pri izdelavi papirnih izdelkov so procesi sušenja še vedno energetsko najpotratnejši postopki. Gemechu [7] je s sodelavci v letu 2013 objavil študijo primerjave onesnaženja s toplogrednimi plini med papirji, izdelanimi iz primarne surovine in papirji, izdelanimi iz sekundarne surovine. Ugotovili so, da je poraba energije pri fazi izdelave papirja iz sekundarnih surovin za 30 % višja, kot pri izdelavi papirja iz primarnih surovin. Če pa upoštevamo celotno LCA analizo izdelave papirja (od pridobivanja surovin do upravljanja z odpadkom), pa ugotovimo, da izdelava papirja iz sekundarnih surovin povzroči za 30 % manjše onesnaženje s toplogrednimi plini napram izdelavi papirja iz primarnih surovin.

Ongmongkolkul [4] je s sodelavci objavil študijo, v kateri je ugotovil, da je odlaganje odpadnega papirja na odlagališče okolju najbolj neprijazen postopek v življenjskem krogu papirja (emisije CH₄ in NH₃ zaradi anaerobne razgradnje papirnih izdelkov). Vendar pa se emisije z odlagališč odpadkov lahko znatno zmanjšajo s povečanjem procesa recikliranja in učinkovitega obvladovanja odlagališčnih plinov.

Von Falkenstein [8] je s sodelavci primerjal kartonsko in drugo embalažo za pijače. Ugotovili so, da ima med vsemi embalažami kartonska embalaža najmanjši okoljski vpliv na klimatske spremembe, zakisljevanje, poletni smog, ekotoksikologijo in porabo energije.

2.2 Metodologija študije LCA

Študija LCA je izredno kompleksna. Na podlagi številnih raziskav se je za izvedbo LCA uveljavil štiristopenjski pristop, ki vključuje:

- ▶ opredelitev cilja in obsega študije;
- ▶ oceno materialnih tokov;
- ▶ interpretacijo rezultatov inventarja za oceno vpliva na okolje oziroma ovrednotenje vplivov na okolje;
- ▶ ocenjevanje možnosti za zmanjšanje vpliva na okolje, porabe energije in surovin med življenjskim ciklom oziroma predstavitev rezultatov analize življenjskega cikla.

Za ocenitev okoljskih vplivov se najpogosteje uporabljajo naslednji kriteriji:

- ▶ voda (evtrofikacija, toksikologija, poraba sveže vode in nastanek odpadne vode);
- ▶ emisije v tla (zakisljevanje);
- ▶ emisije v zrak (zakisljevanje, toplogredni plini, emisije delcev);
- ▶ poraba primarne energije, poraba obnovljivih in neobnovljivih virov energije.

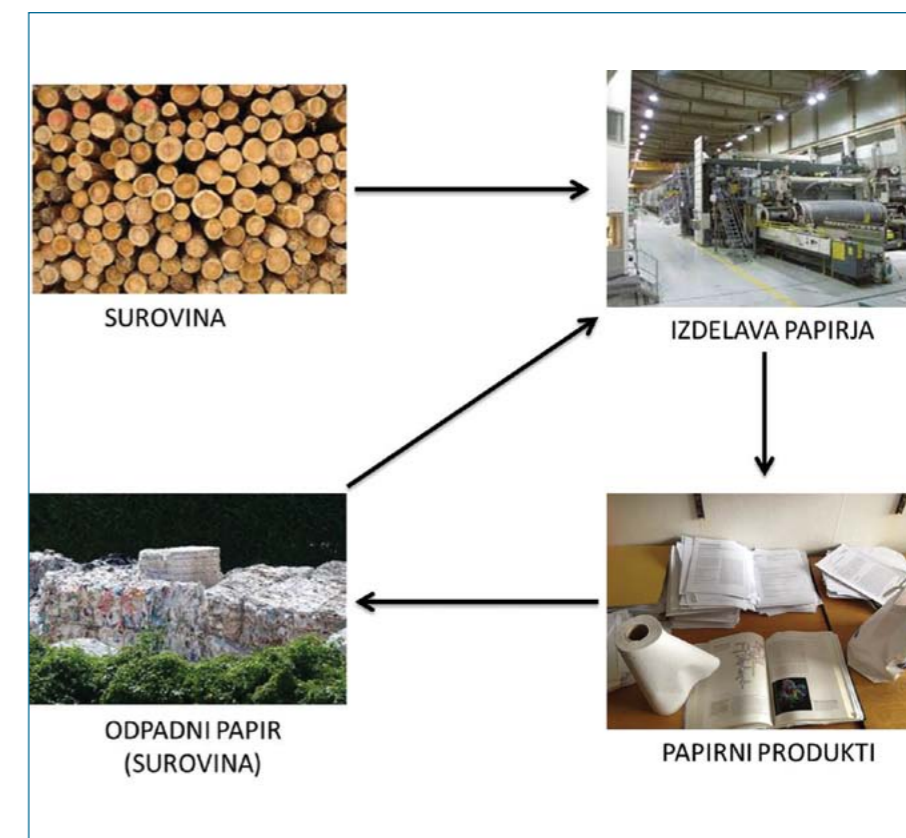
2.3 Inventar življenjskega cikla (LCI)

Pri proučevanju obremenjevanja okolja v celotnem življenjskem ciklusu izdelka je potrebno izdelati popis oziroma inventar vseh vplivov na okolje. Potrebno je torej zbrati podatke o količinah vseh surovin in količini energije, ki se v življenjski dobi izdelka porabijo, ter podatke o količini emisij v vodo, tla in zrak, ki so v okolje sproščene v celotnem življenjskem ciklusu izdelka.

2.4 Interpretacija življenjskega cikla

Interpretacija življenjskega cikla je sistematična tehnologija za odkrivanje, merjenje, kontroliranje, vrednotenje in uspešno poročanje podatkov, pridobljenih z rezultati LCI in LCIA (Life Cycle Inventory Assessment). Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO) [2, 3] je za fazo interpretacije življenjskega cikla definirala naslednja dva cilja:

- ▶ analiziranje rezultatov, predstavitev sklepanja, razlaga omejitev in nudenje priporočil na podlagi izsledkov prejšnjih razvojnih stopenj LCA ter jasna interpretacija rezultatov življenjskega cikla;
- ▶ nuditi razumljivo, celovito in dosledno predstavitev rezultatov LCA študije z upoštevanjem zastavljenega cilja in obsega študije [2, 3].



Slika 1: Življenjski cikel papirnih izdelkov
Figure 1: Life cycle of paper products



Slika 2: Uporablaj papir! [9]
Figure 2: Use paper! [9]

Identificiranje pomembnih vsebin

Prvi korak interpretacije življenjskega cikla vključuje pregled informacij iz prvih treh faz LCA, da bi identificirali podatke, ki najbolj vplivajo na potek LCI in LCIA pri vsakem izdelku, procesu oziroma storitvi. S pomočjo pridobljenih ugotovitev določamo popolnost, skladnost in natančnost študije. Pred določenjem, kateri del LCI in LCIA ima največji vpliv na rezultate posamezne alternative, moramo podrobno pregledati prejšnje faze študije. Nato pregledamo zbrane informacije in predstavitev rezultatov, da ugotovimo, ali je bil uresničen cilj in namen študije. Če je uresničen, nadaljujemo z interpretacijo rezultatov. Določanje pomembnejših vsebin je v nekaterih primerih komplicirano opravilo. Kot pripomoček za identificiranje pomembnih podatkov in določanje njihovega pomena lahko uporabimo naslednje metode:

- ▶ ocena vpliva (prispevke posameznih faz življenjskega cikla primerjamo s celotnim rezultatom);
- ▶ ocena dominantnosti (statistična orodja ali druga pomagala, kot so kvantitativno ali kvalitativno rangiranje, uporabljamo za identificiranje pomembnih elementov prispevanja);
- ▶ ocenjevanje anomalij (nenavadna ali presenetljiva odstopanja od pričakovanih ali normalnih rezultatov moramo natančno preučiti).

Pomembne vsebine so sestavljene iz:

- ▶ parametrov inventarja (so poraba energije, emisije, odpadki ...);
- ▶ kazalnikov kategorij vplivov (izraba virov surovin, emisije, odpadki ...);
- ▶ bistvenih prispevkov k LCI ali LCIA rezultatom (posamezne procesne enote ali skupine procesov, kot so transport, pridelava energije ...).

Ocenev popolnosti, natančnosti in skladnosti podatkov

Da bi zagotovili popolnost, natančnost in skladnost podatkov, moramo opraviti:

- ▶ kontrolo popolnosti (ugotavljanje popolnosti študije);
- ▶ kontrolo natančnosti (ocenjevanje natančnosti pomembnih podatkov, ki imajo velik vpliv na rezultate);
- ▶ kontrolo skladnosti (ocenjevanje skladnosti pri sprejemanju omejitev in predpostavk, zbiranju podatkov in dodeljevanju vplivov kategorijam vplivov za vsako alternativo posebej).

Sprejemanje sklepov in priporočil

Cilj tega koraka je interpretacija rezultatov za določevanje izdelkov oziroma storitev, ki imajo najugodnejši vpliv na okolje. Pomembno je, da sprejeti sklepi in priporočila temeljijo le na utemeljenih dejstvih. Prav tako je zelo pomembno razumevanje in poročanje o morebitnih negotovostih rezultatov. V nekaterih primerih je prav zaradi negotovosti in omejitev izbrane metode, ki je bila uporabljena za LCA, napoved najustrežnejšega izdelka oziroma storitve nejasna. V takšnem primeru so rezultati analize še vedno koristni. Uporabljamo jih za boljše razumevanje vpliva na naravo in posledično na človekovo zdravje, za razumevanje posameznih vplivov ter za ugotavljanje obsega posameznih vplivov glede na primerjane izdelke oziroma storitve.

2.5 Poročanje rezultatov

Ko je LCA študija končana, je potrebno iz zbranega gradiva pripraviti poročilo o poteku študije. Poročilo mora na jasen in urejen način predstaviti rezultate, podatke, metode, omejitve in predpostavke.

3 Zaključki

LCA postaja eno od najbolj zanimivih orodij za presojo vplivov na okolje. Zelo pogosta je uporaba ISO 14040 in ISO 14044 standardov, kot smernic za izdelavo LCA študije, kar povečuje primerljivost ocen in pridobljenih rezultatov.

Podjetja se čedalje pogosteje odločajo za izdelavo LCA študije, saj jim poleg vpliva proizvodnje izdelkov na okolje rezultati prikažejo tudi procese oziroma dele procesov, ki so ekonomsko najpotratnejši. Tako lahko podjetja prilagodijo svoje procese, da postanejo ekonomsko ugodnejši.

Pri LCA študijah v papirni industriji, kjer so študije predpostavljale, da so papirni izdelki samo za enkratno uporabo, plastični pa za večkratno, je večina rezultatov pokazala na večje obremenjevanje okolja pri papirnih izdelkih. Vendar vemo, da temu ni tako. Papirni izdelki so še vedno okolju prijaznejši kot nekateri konkurenčni izdelki.

4 LITERATURA IN VIRI

- [1] HUNT, R. G. in FRANKLIN, W. E. LCA – How it Came About. Personal reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. International Journal of Life Cycle assessment, 1996, 1, 1, str. 4–7.
- [2] ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
- [3] ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization: Ženeva, Švica, 2006.
- [4] ONGMONGKOLKUL, A., NIELSEN, P. H. in NAZDAD, M. M. Life cycle assessment of paperboard packaging produced in Thailand, Thailand, School of Environment, Resource and Development, Asian Institute of Technology, 2001
- [5] DIAS, A. C., ARROJA, L. in CAPELA, I. Life Cycle Assessment of printing and writing paper produced in Portugal. International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12, 7, str. 521–528.
- [6] IOSIP, A., DOBON, A., HORTAL, M. in BOBU, E. The influence of contaminants in the environmental impact of recovered paper: a life cycle assessment perspective. International Journal of Life Cycle Assessment, 2012, 17, 8, str. 1050–1058.
- [7] GEMECHU, E. D., BUTNAR, I., GOMÁ-CAMPS, J., PONS, A. in CASTELLS, F. A comparison of the GHG emissions caused by manufacturing tissue paper from virgin pulp or recycled waste paper. International Journal of Life Cycle Assessment, 2013, 18, 8, str. 1618–1628.
- [8] Von FALKENSTEIN, E., WELLENREUTER, F. IN DETZEL, A. LCA studies comparing beverage cartons and alternative packaging: can overall conclusions be drawn. International Journal of Life Cycle Assessment, 2010, 15, 9, str. 938–945.
- [9] Dostopno na spletu: <http://dsmpb.com/News.html>.

¹ dr., Inštitut za celulozo in papir, Ljubljana (E-pošta: damjan.balaban@icp-lj.si)

POSSIBILITY OF MUNICIPAL WASTEWATER RE-USE IN PAPER INDUSTRY



MOŽNOST PONOVNE UPORABE KOMUNALNE ODPADNE VODE V PAPIRNI INDUSTRIJI

Aleksandra KRIVOGRAD KLEMENČIČ^{1,2}, Klara JARNI¹, Svenja BIERBAUM³

ABSTRACT

As water scarcity is becoming a growing problem in many regions, searching for alternative water sources is of great importance, especially for high water consuming industries like paper industry. Municipal wastewater has the advantage of being broadly available and relatively stable in production and effluent quality, although microbiological safety can be a problem. Within the study presented the possibility of re-use of municipal wastewater treated with advanced oxidation processes (AOPs) in the production process of paper industry is shown. Raw municipal wastewater was treated at a lab-scale AOP-treatment plant with different AOPs and their combinations. The following AOP treatments were applied: (a) ozone (O₃); (b) O₃ + ultraviolet irradiation (UV); (c) hydrogen peroxide (H₂O₂) and (d) H₂O₂ + UV. The most effective option for colour and COD removal was the combination of O₃ and UV, while significant disinfection of municipal wastewater was achieved with all four tested AOPs. Municipal wastewater treated with the most efficient AOP combination was used for paper production. The results of the sheet former trials showed that use of AOP-treated municipal wastewater for paper production did not impair colour and strength properties of paper produced. Thus, municipal wastewater could be successfully re-used in paper industry.

Keywords: advanced oxidation processes, municipal wastewater treatment, ozonation, paper industry, wastewater re-use.

IZVLEČEK

Ker pomanjkanje vode postaja čedalje večji problem v številnih regijah, je iskanje alternativnih virov vode zelo pomembno, še posebej za industrijske panoge z visoko porabo vode, kot je papirna industrija. Komunalna odpadna voda ima to prednost, da je lahko dostopna, ima relativno stabilno proizvodnjo in kakovost iztoka, vendar pa je problem lahko njena mikrobiološka oporečnost. V predstavljeni raziskavi je prikazana možnost ponovne uporabe komunalne odpadne vode, očiščene z naprednimi oksidacijskimi postopki (AOPs), v proizvodnem procesu papirne industrije. Surovo komunalno odpadno vodo smo očistili na laboratorijski AOP čistilni napravi z različnimi AOP postopki in njihovimi kombinacijami. Uporabili smo naslednje AOP kombinacije: (a) ozon (O₃); (b) O₃ + ultravijolično sevanje (UV); (c) vodikov peroksid (H₂O₂) in (d) H₂O₂ + UV. Najbolj učinkovita pri odstranitvi barve in KPK je bila kombinacija O₃ in UV, medtem ko smo znatno dezinfekcijo komunalne odpadne vode dosegli z vsemi štirimi testiranimi AOP postopki. Komunalno odpadno vodo, očiščeno z najbolj učinkovito AOP kombinacijo, smo nato uporabili za proizvodnjo papirja. Rezultati laboratorijskih poskusov izdelave papirja so pokazali, da uporaba AOP očiščene komunalne odpadne vode ni vplivala na barvometrične in mehanske lastnosti izdelanega papirja. Tako lahko komunalno odpadno vodo uspešno ponovno uporabimo v papirni industriji.

Ključne besede: napredni oksidacijski postopki, čiščenje komunalne odpadne vode, ozoniranje, papirna industrija, ponovna uporaba odpadne vode.

1 Introduction

Pulp and paper industry is one of the most water-dependent industries [1]. In regions with water scarcity there is not enough fresh water available to all water consumers during dry periods [2]. Paper production, which requires large amounts of water, is particularly endangered if the water supply cannot be maintained or the use of freshwater is no longer permitted by the authorities [3].

Recently there has been an increase of attention in municipal wastewater as an alternative source of water for various purposes thanks to many advantages such as broad availability, relatively stable production and effluent quality. Several recommendations and an evaluation

of potentials of cascading water use to substitute fresh water are available [4-6]. However, the use of treated municipal wastewater brings problems (potential health risks due to insufficient disinfection, conveying treated wastewater to points of consumption) that have to be dealt with. Currently, the effluents from municipal wastewater treatment plants are not generally used as a source of reclaimed water. This is due to: lack of regulation and legislation specifying the conditions for re-uses and quality requirements on re-used wastewater, together with the motivation for wastewater re-use, high costs of producing reclaimed water with adequate quality and a lack of information about the technologies and associated risks mentioned above. However, there are

few cases of municipal wastewater reuse in industry, it is mainly used for cooling and floor cleaning. In paper industry, there are some examples of the cascading use of treated municipal wastewater [7]. Since June 2012, Holmen Paper from Madrid has been replacing fresh water for production processes with treated municipal wastewater (ultrafiltration + reverse osmosis + UV). A level of 30% fresh water substitution has been reached with target use of 100% reclaimed water of the total water consumption [8, 9]. Other mills across Europe are also discussing this issue.

The main objective of this study is to show the possibility of municipal wastewater re-use in the production processes of paper industry. Raw