

RECIKLABILNOST TISKANE RFID ANTENE NA DIGITALNEM ODTISU

¹DIANA GREGOR SVETEC, ²ANDREJA POGAČAR, ³IVANA
BOLANČA MIRKOVIĆ

Sprejeto

21. 11. 2022

Izdano

18. 8. 2023

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, OTGO, Ljubljana, Slovenija.

²DodoPack, d.o.o., Trbovlje, Slovenija.

³Univerza v Zagrebu, Grafična fakulteta, Zagreb, Hrvaška.

E-pošta: diana.gregor@ntf.uni-lj.si, hello@dodopack.com, ivana.bolanca@grf.hr

DOPISNI AVTOR

diana.gregor@ntf.uni-lj.si

Povzetek Naraščanje uporabe digitalnega tiska in povečana prisotnost tiskane elektronike vplivata na reciklabilnost papirja in kakovost papirja za recikliranje. Namen naše raziskave je bil preučiti reciklabilnost digitalno tiskanih etiket opremljenih s tiskano RFID anteno. Etiketni papir smo potiskali z magenta tiskarsko barvo v elektrofotografskem postopku tiska s suhim tonerjem. Na hrbtno, nepotiskano stran papirja smo v naslednjem koraku natisnili komercialno UHF RFID anteno s funkcionalno kovinsko barvo. Ocena reciklabilnosti je bila izvedena v skladu z Ingede metodo 11 s katero se izvaja preiskus odstranitve tiskarske barve. Na recikliranih vzorcih so bile določene optične lastnosti: svetlost, ISO belina, barvometrične lastnosti in ERIC vrednost ter število in površina nečistoč. Raziskava je potrdila dobro reciklabilnost elektrografskega tiska s suhim tonerjem in izboljšanje učinka razsivitve s flotacijo. Izkazalo se je, da prisotnost RFID oznak ne vpliva na sam postopek recikliranja in da ima zanemarljiv vpliv na optične lastnosti recikliranih vzorcev.

Ključne besede:

reciklabilnost,
razsivitev,
etiketni papir,
digitalni tisk,
tiskana elektronika



<https://doi.org/10.18690/po.10.19.39-47.2023>

Besedilo © Gregor Svetec, Pogačar in Bolanča
Mirković, 2023



1 Uvod

Elektrofotografski proces tiska, znan tudi kot xerografija, je iznašel Chester Carlson leta 1938. Začetki industrijskega digitalnega tiska segajo v leto 1975, ko je podjetje Siemens high performance printing javnosti predstavilo prvi laserski tiskalnik (Hoffmann-Falk, 2005) in podjetje Xerox PARC v sedemdesetih začelo izdelovati tiskalnike za pisarne. Od prvotnega namena, tisk seznamov, se je iz kopirnih strojev tisk razvil v več tehnik in za različne namene. Digitalne tiskarske tehnike zajemajo elektrofotografski, termografski, ionografski in magnetografski tisk, najbolj razširjena načina upodabljanja pa sta elektrografija in kapljični tisk (Kipphan, 2001). Prednosti digitalnega tiska v primerjavi z analognim tiskom so v kratkem času priprave, možnosti spreminjanja tiskovne forme med procesom tiska, personalizaciji, hitri produkciji in nižji ceni za majhne naklade. Omogoča tisk na zahtevo (Print on Demand), brez potrebe po skladiščenju, obenem so arhiviranje, komunikacija in transport digitalnih podatkov preprosti (Goldman, 2004). Med slabostmi lahko navedemo, da je hitrost tiska dokaj nizka in cena za posamezen odtis visoka ter da se pogosto zahteva posebne lastnosti površine tiskovnega materiala za doseg kakovostnega odtisa. Digitalni tisk danes dopolnjuje in širi možnosti klasičnega tiska, kot je ofsetni tisk. Je eden izmed najhitreje rastočih segmentov tiska, s predvideno rastjo 6,6 % do leta 2027 (Mordor Intelligence, 2021) oz. 7,4 % do leta 2030 (Emergen Research, 2022). K predvideni rasti bo najbolj doprineslo naraščanje uporabe digitalnih tehnologij pri tisku embalaže, etiket, in tekstila ter sektor potrošniške elektronike.

Tiskana elektronika pomeni tiskanje pasivnih in aktivnih elektronskih struktur na toge in gibke tiskovne materiale, kot so papir, karton, plastika, tekstil, itd. z uporabo digitalnih in klasičnih tehnologij tiska (Vidmar et al., 2011). Začetki segajo v leto 1976, ko so iznašli prvi prevodni polimer (Heeger, 2002). Tehnologija tiskane elektronike se odlikuje po nizkih proizvodnih stroških izdelkov, tiskanih na fleksibilnih podlagah, ki pa v kakovosti (integracija, hitrost, življenska doba) zaostajajo za konvencionalno elektroniko na togih substratih (Blayo and Pineaux, 2005). Tehnologija je zaenkrat razširjena pri raznih izdelkih za enkratno rabo, kot so RFID oznake, E-časopisi in revije ter pametna embalaža (Pivar et al., 2016). Tiskane RFID antene so vse bolj prisotne zaradi hitrejše, bolj ekonomične in ekološke izdelave RFID oznak v primerjavi s postopkom jedkanja.

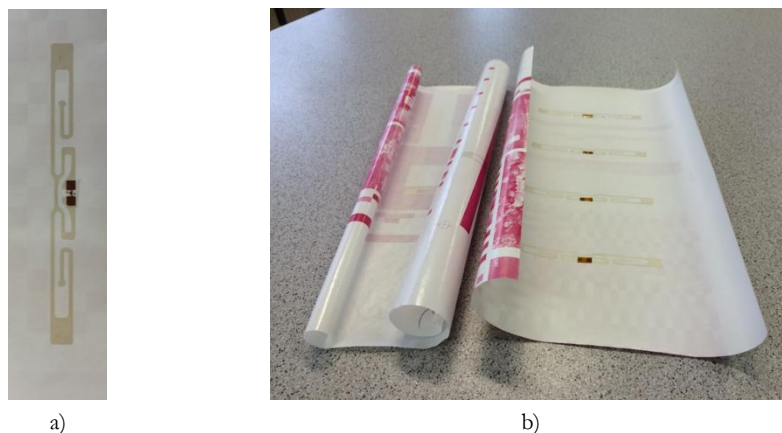
Okoljski vidik je pomemben del vsakega izdelka in postopka izdelave. Papir in karton sta najbolj reciklirana materiala v Evropi in predstavljata lep primer krožnega gospodarjenja. Leta 2021 je bila stopnja recikliranja v državah CEPI 71,4 %, leta 2020 pa 73,3 % (CEPI, 2021). Kljub visoki stopnji recikliranja pa so opazni nekateri megatrendi, ki kažejo na rahel upad v stopnji recikliranja in kakovosti papirja za recikliranje (Grossmann, 2015). Eden izmed trendov je naraščanje uporabe digitalnega tiska, ki je v primerjavi z ofsetnim tiskom bolj trajnosten, vendar pa so odtisi slabše reciklabilni (Vukoje et al., 2022). Vzrok zato je v večji količini tiskarske barve, ki se v postopku flotacije pri recikliranju ne odstrani, in s tem poslabša optične lastnosti tiskovin izdelanih iz recikliranih vlaken (Faul, 2010). Drug trend kaže na povečano prisotnost tiskane elektronike pri izdelkih iz papirja in kartona, kar lahko vpliva na reciklabilnost in kakovost recikliranih vlaken.

Namen raziskave je bil preučiti reciklabilnost digitalno tiskanih etiket opremljenih s tiskano RFID anteno. Ocena reciklabilnosti je bila izvedena v skladu z Ingede metodo številka 11. Metoda opisuje postopek ocene učinkovitosti razsvitve tiskanih izdelkov po alkalnem flotacijskem procesu (Gregor Svetec et al., 2016). Razsvitveni postopek je kemijsko-mehanski postopek odstranjevanja tiskarskih barv s potiskane površine papirja. Stopnjo razsvitve ocenimo s tremi parametri kakovosti razsvitenih vlaken in dvema procesnima parametroma. Kakovostni parametri so svetlost, barvni odtenek, nečistoče (v dveh različnih velikostnih območjih), procesna parametra pa sta odstranitev barve in potemnitev filtrata.

2 Eksperimentalni del

2.1 Material in tisk

Tiskovni material, ki smo ga uporabili v raziskavi je komercialni izdelek proizvajalca Papirnica Vevče. Izjemno bel, sijajen papir z gramaturo 80 g/m² je namenjen za gibko embalažo in etikete. Papir smo potiskali z magenta tiskarsko barvo v elektrofotografskem postopku tiska. Na hrbtno, nepotiskano stran papirja smo v naslednjem koraku natisnili komercialno UHF RFID anteno. Tisk je bil izveden na polavtomatskem sitotiskarskem stroju RokuPrint SD 05 s prevodno funkcionalno barvo SunChemical CRSN2442 ink. Po sušenju natisnjene antene smo s prevodnim lepilom prilepili čip in preverili delovanje RFID antene s IDS RFID čitalcem. Na sliki 1 je prikazana RFID oznaka ter izdelan odtis brez in z RFID oznako.



Slika 1 a) RFID oznaka; b) odtis brez (levo) in z RFID oznako (desno)

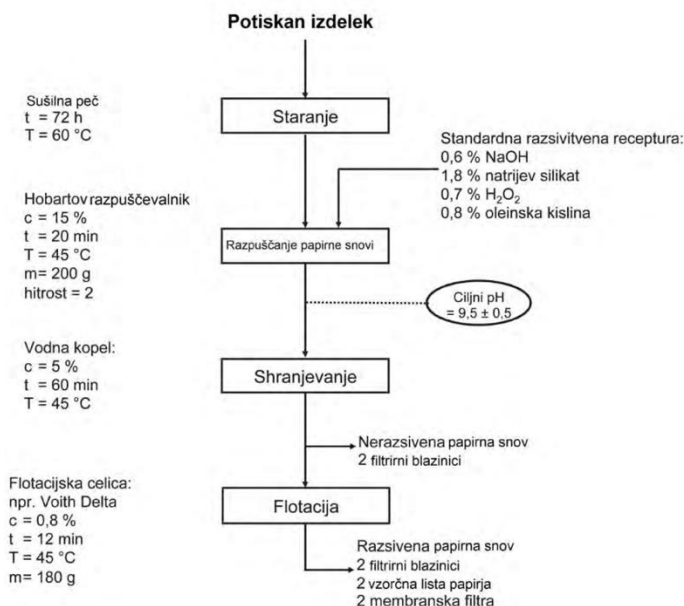
Vir: lasten

2.2 Postopek recikliranja

Recikliranje odtisov je potekalo po postopku opisanem v Ingede metodi št. 11 - Vrednotenje reciklabilnosti potiskanega papirja – Preizkus odstranitve tiskarske barve. Posamezne faze postopka so prikazane na sliki 2. Po staranju odtisov je sledilo razpuščanje v alkalnem mediju, odležanje v vodni kopeli in flotacija. Flotacija je bila izvedena v laboratorijski flotacijski celici. Iz suspenzije recikliranih vlaken so bile po postopku shranjevanja oz. odležanja v vodni kopeli izdelane filtrirne blazinice (FB) in po flotaciji vzorčni listi papirja (VLP). Filtrirne blazinice so bile izdelane z Buchnerjevimi lijakom, vzorčni listi papirja z oblikovalnikom Rapid-Köthen Sheet Machine, PTL.

Na filtrirnih blazinicah in vzorčnih listih papirja so bile izmerjene optične lastnosti s Technidyne Color Touch 2 spektrofotometrom. Določene so bile sledeče lastnosti svetlost, belina, barvne vrednosti (L^* , a^* , b^*) in ERIC vrednost v skladu s standardnimi metodami, ter iz ERIC vrednosti izračunan delež odstranitve tiskarske barve (IE). Število delcev nečistoč in njihova površina smo določili s slikovno analizo z uporabo Spec Scan 2000 (Apogee Systems Inc.)

Vzorce, ki smo jih analizirali smo označili na sledeč način: reciklirani digitalni odtis (TONER), reciklirani digitalni odtis z RFID oznako (TONER+RFID) in reciklirani nepotiskan papir z RFID oznako (RFID).

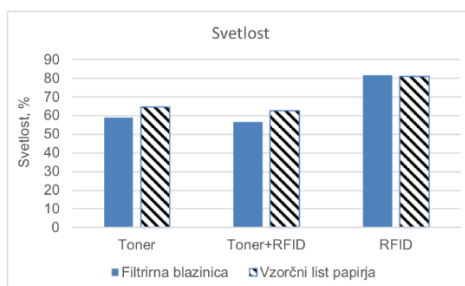


Slika 2: Prikaz postopka recikliranja in razsivitve

Vir: lasten

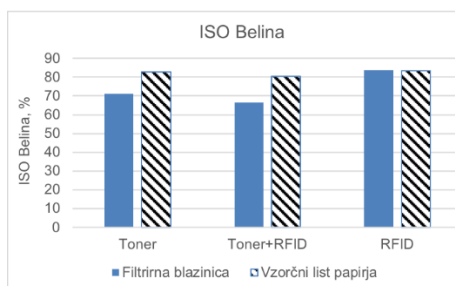
3 Rezultati

Optične lastnosti izmerjenje na filtrirnih balznicah in vzorčnih listih papirjih so prikazane na slikah 3 do 6: svetlost (slika 3), ISO belina (slika 4), barvne vrednosti (slika 5), ERIC vrednost (slika 6), delež odstranjene tiskarske barve (IE) (slika 7) ter število in površina nečistoč (slika 8).



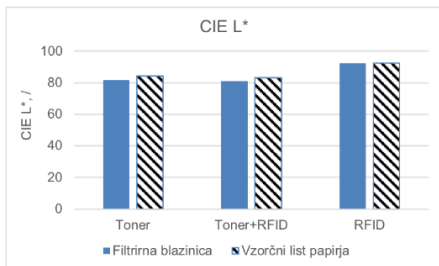
Slika 3: Svetlost filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih

Vir: lasten

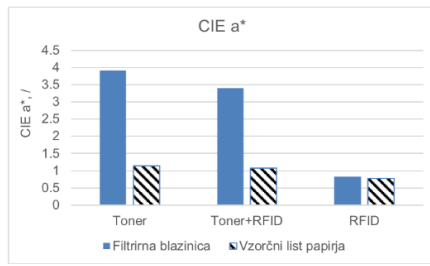


Slika 4: ISO belina filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih

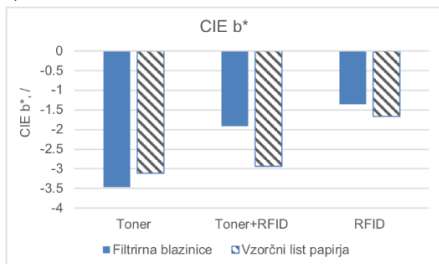
Vir: lasten



a)



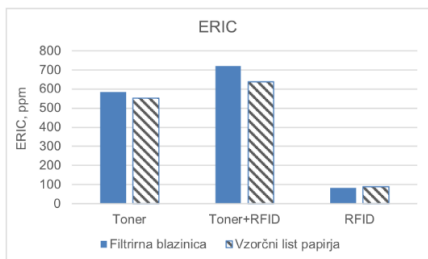
b)



c)

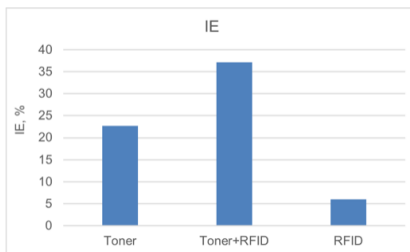
Slika 5: Barvnometrične lastnosti CIE L*a*b* filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih: a) L*, b) a*, c) b*

Vir: lasten



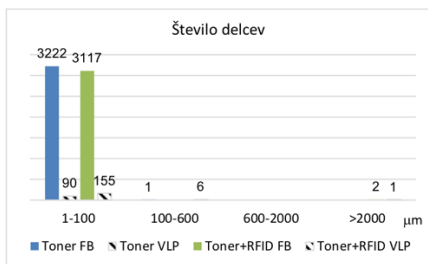
Slika 6: ERIC vrednost filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih

Vir: lasten

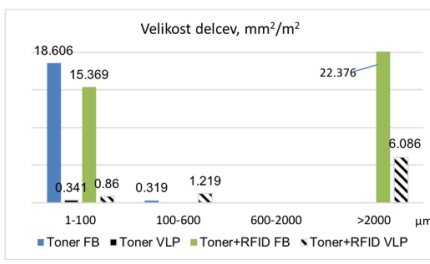


Slika 7: Delež odstranjene tiskarske barve IE pri recikliranih vzorcih

Vir: lasten



a)



b)

Slika 8: Prisotnost nečistoč pri filtrirni blazinici in vzorčnem listu papirja pri recikliranih vzorcih a) število delcev, b) površina delcev

Vir: lasten

4 Razprava

Reciklabilnost je določena s karakteristikami materiala, ki imajo uporabne fizikalne in kemijske lastnosti po koncu njihove uporabe, in ki se lahko ponovno uporabijo in predelajo v nov izdelek. Za postopek recikliranja in kakovost recikliranega papirja je reciklabilnost določena z razpadom papirja na posamezna vlakna, zmožnostjo odstranitve neželenih snovi in odstranitve tiskarske barve. Zaželeno je, da se optične lastnosti ohranijo v čim večji meri. V postopku čiščenja in flotacije se odstranijo manjše nečistoče in tiskarska barva, pri čemer pa je učinkovitost odstranjevanja odvisna od postopka tiskanja. Tiskarske barve uporabljene pri ofsetnem in globokem tisku ter suhi toner pri elektrofotografskem tisku se dobro odstranijo medtem, ko so fleksografske tiskarske barve na osnovi vode, tekoči toner in črnila pri kapljičnem tisku težko odstranljivi (Gregor Svetec et al., 2013; Faul, 2010b). Naša raziskava je bila osredotočena na elektrografski tisk s suhim tonerjem s prisotno tiskano elektroniko. Ovrednotili smo vpliv postopka flotacije in vpliv funkcionalne barve na optične lastnosti recikliranih vzorcev.

Meritve svetlosti (slika 3), ISO beline (slika 4) in barvnometričnih lastnosti (slika 5) kažejo, da se večina tiskarske barve odstrani že pred postopkom flotacije in da prisotnost funkcionalne barve nima večjega vpliva na optične lastnosti. Kljub manjšemu vplivu, pa postopek flotacije pri recikliranju digitalnih odtisov še nadalje izboljša optične lastnosti recikliranih vzorcev in doprinese k boljšemu učinku razsvitve. Razlika v svetlosti je tako 10%, v ISO belini pa 15%. Razvidne so tudi razlike v barvnometričnih vrednostih a^* in b^* , medtem ko vrednost L^* ne kaže bistvenih razlik.

Med recikliranimi vzorci, kjer je bila prisotna RFID oznaka (TONER+RFID) in vzorcih brez RFID oznake (TONER) so opazne majhne razlike v svetlosti 4% in ISO belini 6,5%, v barvnometričnih komponentah a^* in b^* pa večje, preko 20%. Po flotaciji ni opaziti več razlik v svetlosti in ISO belini, v barvnometričnih komponentah pa se razlika zmanjša na manj kot 5%. Pri recikliranem vzorcu nepotiskanega papirja, kjer je bila prisotna samo funkcionalna barva (RFID) pa sam postopek flotacije ni imel vpliva. Te ugotovitve potrjujeta tudi obe vrednosti, ERIC in IE. Efektivna koncentracija ostanka barve (ERIC) je višja pred flotacijo in se po flotaciji zmanjša in je višja pri recikliranem vzorcu, kjer je bila prisotna funkcionalna barva (TONER+RFID). Tudi delež odstranjene barve (IE) je najvišji pri tem vzorcu.

Prisotnost nečistoč, delcev tiskarske in funkcionalne barve je ovrednotena s številom delcev v več velikostnih razredih in njihovo skupno površino. Iz slike 8 je razvidno, da je največ prisotnih delcev majhnih, s premerom do 100 μm , in le zanemarljivo število večjih delcev. Pri recikliranih vzorcih pred flotacijo (FB) je bilo večje število delcev z večjo skupno površino določeno pri vzorcih, ki niso vsebovali funkcionalne barve (TONER), se je pa pri teh vzorcih po flotaciji odstranilo več delcev, kot pri vzorcih, ki so vsebovali funkcionalno barvo (TONER+RFID). To je v skladu z optičnimi lastnostmi recikliranih vzorcev, kjer so kljub majhnim razlikam le-te nekoliko slabše pri odtisih z RFID oznako.

5 Zaključek

Raziskava je potrdila dobro reciklabilnost elektrografskega tiska s suhim tonerjem in izboljšanje učinka razsvitve s flotacijo. Izkazalo se je, da prisotnost RFID oznak ne vpliva na sam postopek recikliranja in da ima zanemarljiv vpliv na optične lastnosti recikliranih vzorcev. Svetlost, ki opisuje povprečno spektralno občutljivost vidnega zaznavanja beline, preko 60 % in ISO belina, ki podaja količino odbite modre svetlobe s površine papirja, z vrednostjo preko 80 %, omogočajo uporabo recikliranih vlaken za izdelavo časopisnega papirja in nepremazanega revijskega papirja. Ker je bil odtis izveden samo z magenta barvo leži barvnometrična vrednost a^* v rdečem območju in je z vrednostjo 1 na zgornji dovoljeni meji. Število delcev in njihova skupna površina pred flotacijo so relativno visoki, po flotaciji pa se bistveno znižajo, pri čemer več delcev ostane pri recikliranem vzorcu, ki je vseboval funkcionalno barvo.

Literatura

- Blayo, A., Pineaux, B. (2005). Printing Processes and Potential for RFID Printing. Joint sOc-EUSAI conference. Grenoble, 27-30.
- CEPI Key statistics 2021 European pulp & paper industry. CEPI, (2022) 32 p.
- Emergen Research, (2022). Digital Printing Market, By Ink (Aqueous, Solvent, UV-Cured, Others), By Print Head (Inkjet and Laser), By Application (Books, Commercial Printing, Textile, Packaging, Others), and By Region Forecast to 2030, <https://www.emergenresearch.com/industry-report/digital-printing-market>
- Faul, A. (2010). Quality requirements in graphic paper recycling. *Cellulose Chem. Technol.*, 44, 451-460.
- Faul, A. M. (2010b). The recyclability of graphic paper products as a key feature for their re-use in paper production. *Symposium proceedings / 5th International Symposium on Novelties in Graphics*. Ljubljana, 617–623.

- Goldmann, G. (2004). The World of Printers, Oce Printing Systems, 2-3.
- Gregor-Svetec, D., König, S., Možina, K. (2013). Reciklirani papirji in projekt "Ecopaperloop" 10. znanstvena konferenca Pomurske akademsko znanstvene unije Pomurska akademija Pomurju, Murska Sobota, 30. november in 1. december 2012. Združenje PAZU, 12-14.
- Gregor-Svetec, D., Muck, D., Pivar, M., Ravnjak, D., Bolanča-Mirković I. (2016). Recyclability of label papers with integrated UHF RFID printed antenna. Proceedings : joint conference of PTS and COST Action. PTS Innovative Packaging Symposium 2016, April 6th - 7th, 2016, Munich, PTS, 127-140.
- Grossmann, H. (2015), Strategies for the collection of paper for recycling. Optimising Paper Products, Packaging and Collection Systems. Outcome – Guidelines and Recommendation, V-29-V-50.
- Heeger, A. J. (2002). Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials. Synthetic Metals, 125, 23-42.
- Hoffmann-Falk, M. (2005). Digital Printing, Oce Printing Systems, 4-8.
- Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media, Springer.
- Mordor Intelligence, (2021). Digital Printing Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact and Forecasts (2022-2027), <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/digital-printing-market>
- Pivar, M., Muck, D., Gregor-Svetec, D. (2016). Primernost recikliranih papirjev za tisk UHF RFID anten, Anali PAZU. 5, 20-25.
- Vidmar, T., Muck, T., Klanjšek-Gunde, M. (2011). Določitev optimalnih lastnosti tiskovnih materialov za tisk elektronike. Papir, 39, 43-46.
- Vukoje, M., Bolanča Mirković, I., Bolanča, Z. (2022). Influence of Printing Technique and Printing Conditions on Prints Recycling Efficiency and Effluents Quality. Sustainability, 14, 335.