

Postupak ocjene doktorskog rada

DOKTORAND/ICA:	Mia Klemenčić, mag. art.
NASLOV RADA na engl. jeziku:	The Optimization of Sustainable Procedures for the Designing and Recycling of Pharmaceutical Cardboard Packaging
NASLOV RADA na hrv. jeziku:	Održivi postupci za optimizaciju oblikovanja i reciklaže farmaceutske kartonske ambalaže

ABSTRACT:
<p>Paper is a flat material made of plant cellulosic fibers, recycled fibers, non-fibrous components (minerals and additives) and water. It is a flexible, renewable and biodegradable raw material. Paper and paperboard are widely used as packaging materials in the global packaging market. Due to its poor barrier properties plain paper is not suitable for food packaging. To overcome this problem, paper is usually coated with other materials which often improves the barrier properties. Packaging is known as a protective outside layer of a product, and because of their similar properties food and pharmaceutical packaging undergo the same regulations. In this research three methods of removing impurities from paper pulp obtained from pharmaceutical packaging are compared and their efficiencies are determined to gain deeper insight into the recycling process. The research also studied the influence of individual phases of production of packaging on the properties and characteristics of recycled paper. The obtained optical results of the characteristics of recycled laboratory sheets were compared in order to determine the impact of each stage of box production on the quality of the paper pulp. Also, the mass fraction of metals in the different phases of the deinking process are determined. As a result, the mass fractions of metals in cellulose pulp were divided into four groups according to the mass fraction's increasing value and the metals' increasing electro-negativity. The quantities of metals were analysed using Inductively Coupled Mass Spectrometry (ICP-MS). The results of the study show that the recycling process removes certain heavy metals very well, which indicates the good recycling potential of pharmaceutical cardboard samples. The acquired knowledge is applied in the design phase of a more sustainable product to optimize the cellulose pulp's quality and design high-quality packaging products. An improved design of pharmaceutical packaging is proposed. The research focus is on the redesign of the packaging product and its impact on packaging performance. Designing for recycling will contribute to an increase in the quality of the obtained paper mass, which is directly related to an increase in the productivity of recycling and the sustainability of the packaging production process. Therefore, future research will be planned and encouraged based on the guidance gained from this investigation.</p> <p>KEYWORDS: pharmaceutical packaging, packaging production phases, circular economy, flotation deinking, properties of recycled fibres, sustainable design</p>

PROŠIRENI SAŽETAK:
<p>Papir je plošni materijal čija se građa najčešće sastoji od biljnih celuloznih vlakana, recikliranih vlakana i nevlaknastih komponenti (minerala i aditiva). Papir je fleksibilna, obnovljiva i biorazgradiva sirovina zbog čega ima široku primjenu na tržištu ambalaže. Većina današnjeg papira proizvodi se od pulpe crnogoričnih stabala (smreka i bor) koja rastu u sjevernom klimatskom umjerenom pojasu Sjeverne Amerike i Europe. Papir i karton uvelike se koriste kao materijali za pakiranje na globalnom tržištu ambalaže. Najviše se koriste nakon plastike i čine oko 37% cjelokupne ambalaže za hranu. Potrošači su skloni jesti hranu u papirnoj ili kartonskoj ambalaži.</p> <p>Osnovna svojstva papira su fizička, kemijska, optička, te funkcionalna. Zbog loših površinskih svojstava i smanjene otpornosti prema vlazi, obični papir nije prikladan za pakiranje hrane. Stoga se papir često oblaže drugim materijalima koji pojačavaju njegovu otpornost. Materijali koji se najčešće koriste za pojačavanje otpornosti ambalaže izrađene od papira i kartona su na bazi plastike, stakla i metala. Uporaba ovih materijala otežavaju proces recikliranja, te samim time povećavaju ukupne troškove recikliranja. Sve dodatne komponente koje se koriste u izradi i sastavljanju ambalaže mogu biti izvor ljepljivih nečistoća (npr. smole iz drva, veziva za premaze, veziva za tiskarske boje, premazi, impregnacije, ljepila). Tako se primjerice aditivi i punila koriste kako bi se osigurala posebna uporabna svojstva papira, dok premazi i lakovi poboljšavaju površinska svojstva papira.</p> <p>Primarna funkcija ambalaže jest da zaštiti i sigurno transportira, skladišti, i dostavio proizvod do krajnjeg potrošača. Ambalaža stoga štiti proizvod od potencijalnih fizičkih, mehaničkih, kemijskih, mikrobioloških i klimatskih utjecaja. Zbog sličnih svojstava ambalaža za hranu i lijekove podliježe istim pravilima i propisima. Osim što pruža fizičku zaštitu proizvoda, može produžiti rok trajanja, te održati i/ili povećati kvalitetu i sigurnost hrane. Bitno je naglasiti da ambalaža može izazvati emocionalne reakcije te na taj način motivirati potrošače za kupovinu.</p> <p>Papir kao i materijali na bazi papira jedni su od najstarijih i najčešće korištenih materijala koji dolaze u direktni doticaj s hranom, a problem nastaje kada iz takve ambalaže toksini migriraju u hranu. Studije o materijalima na bazi</p>

papira za ambalažu hrane objavljene u posljednja dva desetljeća identificirale su različite tvari koje mogu biti prisutne u recikliranoj pulpi. Takav prijenos kemijskih spojeva između hrane i pakiranja naziva se "migracija". Tijekom godina objavljene su studije koje se bave migracijom toksičnih tvari iz papira, kartona i plastike u hranu. Više od 10 000 kemikalija namjerno se koristi u proizvodnji materijala koji dolaze u dodir s hranom. Te tvari ostaju u matrici materijala tijekom recikliranja papira i tako završavaju u novim proizvodima koji su izrađeni od recikliranih vlakana.

Stoga svi materijali koji dolaze u doticaj s hranom, uključujući reciklirani papir, moraju ispunjavati neke od osnovnih sigurnosnih kriterija. Zato je potrebna sveobuhvatna analiza toksičnih sastojaka koji mogu migrirati u hranu.

Teški metali su među najvažnijim zagađivačima i mogu se naći posvuda u okolišu. Posebnu zabrinutost izaziva izloženost opasnim kemijskim spojevima koji se nalaze u proizvodima svakodnevne potrošnje. Pri vrlo niskim razinama izloženosti, štetni učinci na zdravlje općenito se smatraju zanemarivima. Međutim, neke kronične bolesti povezane su s izloženošću određenim kemikalijama koje migriraju iz pakiranja hrane. Posljednjih godina bilo je nekoliko istraživanja kako bi se napravile preporuke za sigurnost kemikalija koje se koriste u ambalaži. Stoga se teški metali smatraju jednim od najvažnijih parametara u izradi papirne ambalaže. Do kemijske kontaminacije može doći u svim fazama životnog ciklusa materijala i proizvoda. Brojne toksične kemikalije poput tiskarskih boja, ftalata, površinski aktivnih tvari, sredstava za izbjeljivanje i ugljikovodika uvode se u papir tijekom proizvodnog procesa. Stoga ambalaža za hranu izrađena od papira mora proći ispitivanja na toksične kemikalije prije uporabe. Trenutno ne postoji jedinstvena tehnologija za analizu metala u materijalima ili njihove migracije, stoga se obično nekoliko mora kombinirati. Odabir metode za analizu koja će se koristiti ovisi o njihovim kemijskim svojstvima.

Tržište recikliranog papira u svijetu postoji već trideset godina, a više od 40% ukupne proizvodnje papira temelji se na korištenju sekundarnih vlakana. Proizvodnja papirnih proizvoda pridonosi negativnim klimatskim promjenama, kemijskom onečišćenju i potrošnji energije, dok recikliranje starog papira zahtijeva 28-60% manje energije od proizvodnje papira od primarnih vlakana. Ušteda energije u proizvodnji recikliranog papira iznosi 70% u usporedbi s proizvodnjom papira od djevičanskih vlakana. Recikliranjem jedne tone novinskog papira štedi se jedna tona drva, dok se recikliranjem papira za ispis ili kopiranje štedi više od dvije tone drva. Papirna industrija stvara tone različitog otpada u svim fazama proizvodnje, odlaganja i recikliranja. Zbog pozitivnog utjecaja recikliranja papira na okoliš, količina oporabljene papira značajno se povećala tijekom posljednja dva desetljeća. Papir se može reciklirati do sedam puta jer su vlakna svaki novim mehaničkim procesom gube mehaničkih svojstava, stoga je kvaliteta recikliranog papira ponekad lošija od papira napravljenog od sirove pulpe.

U procesu recikliranja papira nakuplja se velika količina ljepljivih čestica koje se talože na površini tkanina za oblikovanje, valjaka za prešanje i drugim dijelovima stroja. U papirnom stroju ljepljive tvari uzrokuju začepljenje tkanina i hrpe, usporavaju odvod vode iz suspenzije vlakana i time smanjuju učinkovitost procesa. Te čestice mogu biti prisutne u pulpi, procesnim vodama i/ili konačnom proizvodu. Ovi spojevi dolaze iz sirovina koje se koriste u proizvodnji papira, a pojam "ljepljivo" ne podrazumijeva određeni kemijski sastav, već je izveden iz složene fizikalne i kemijske prirode mješavine organskih tvari koje su ljepljive i hidrofobne, imaju različite oblike i gušće su od vode. Kako bi se izbjegli problemi s kvalitetom gotovih proizvoda od papira, ljepljive čestice treba ukloniti što je više moguće u procesu recikliranja. Poznavanje svojstava ljepljivih tvari pomaže u rješavanju ovog problema. Ljepljive tvari mogu se klasificirati na temelju njihove veličine i sklonosti nakupljanju.

Glavni cilj recikliranja papira je uklanjanje tiskarske boje i drugih tvari uz zadržavanje optičkih svojstava i čvrstoće vlakana. Loša kvaliteta vlakana recikliranog papira može biti problematična u krajnjoj upotrebi papira, stoga je vrlo važno procijeniti parametre kvalitete recikliranog papira kako bi se osiguralo zadovoljstvo krajnjih korisnika. Mogućnost uklanjanja boje ovisi uglavnom o svojstvima tiskarskih boja, kao i procesu tiskanja. Učinkovitost deinking flotacije i karakteristike dobivenih celuloznih vlakana određuju se mjerenjem optičkih svojstava i korištenjem slikovne analize. Mjere se karakteristike uzoraka papira prije i poslije flotacije.

Dva su glavna aspekta o kojima ovisi kvaliteta recikliranog papira. Jedan se odnosi na kvalitetu prikupljenog papira u vidu kontaminacije, vlage i sastava. Drugi se odnosi na mogućnost recikliranja prikupljenog papira.

Za papirnu industriju važno je da se papir i karton prikupljaju odvojeno od ostalih materijala koji se mogu reciklirati. Frakcije prikupljenog papira koje se uvode u proces proizvodnje novog papira trebale bi imati što veći udio celuloznih vlakana. Istraživanja su pokazala važnost selektivnog prikupljanja papira i kartona te primjene naprednih tehnologija sortiranja i njihov utjecaj na kvalitetu recikliranog papira.

Komunalni otpad sastoji se od ostataka hrane, papira i kartona, plastike i drugih komponenti. Prema globalnoj statistici, godišnje se proizvede 2,01 milijardi tona komunalnog komunalnog otpada, s prosječnom proizvodnjom otpada po stanovniku od 0,74 kilograma. Nekontrolirana količina ambalaže dovodi do prekomjerne upotrebe materijala i energije. Procjenjuje se da će se količina otpada povećati na 3,40 milijardi tona do 2050. Stoga je upravljanje komunalnim otpadom postalo problem na globalnoj razini. Udio papira i kartona u komunalnom otpadu iznosi oko 20%, dok prehrambena ambalaža čini gotovo dvije trećine ukupnog ambalažnog otpada. Održivo gospodarstvo temelji se na maksimiziranju recikliranja resursa i minimiziranju finalnog otpada. Kružno gospodarstvo temelji se na ekonomskim prednostima koje nastaju smanjenjem utjecaja na okoliš i prekomjernim iskorištavanjem resursa. Rješenja uključuju ekološki dizajn, programe za smanjenje otpada i produljenje životnog

vijeka proizvoda. "Reduce, reuse and recycle" tri su osnovna načela.

Ambalaža za lijekove kao skupni pojam može se definirati kao znanost, umjetnost i tehnologija zaštite proizvoda za distribuciju, skladištenje, prodaju i upotrebu, uključujući tiskane materijale koji se koriste u završnoj obradi farmaceutskog proizvoda. Takva ambalaža prije svega mora odavati dojam preciznosti, čistoće i sigurnosti. Sektor ambalaže za lijekove nedvojbeno je sektor koji zahtijeva pozornost pri promicanju kružnog gospodarstva. Globalno gledano, količina ambalaže se povećala, te je sve veći (politički) pritisak da se smanji otpad i povećá recikliranje, međutim nedostaje istraživanja i literature na temu održive ambalaže za lijekove. Onečišćenje okoliša uzrokovano lijekovima tijekom životnog ciklusa proizvoda samo je jedno od pitanja koje bi farmaceutska industrija trebala adresirati u vođenju poslovanja. Ambalaža se neprestano razvija i daje važan doprinos uspjehu farmaceutske industrije. Lijekovi se mogu podijeliti u dva segmenta: lijekovi na recept (Rx lijekovi) i lijekovi bez recepta ili tzv. „over-the-counter medications“. Ambalaža je moćan marketinški alat za promidžbu lijekova, te premda njihovu kvalitetu i sigurnost reguliraju isti zakoni i propisi, postoje neke varijacije u njihovom dizajnu i prodajnoj strategiji. Dobar dizajn može plasirati proizvod na tržište, učiniti ga privlačnim korisniku, educirati ga o njegovim prednostima te pružiti upute o pravilnom korištenju.

Održiva ambalaža trebala bi biti izrađena po mogućnosti od prirodnih i obnovljivih materijala. Na kraju životnog vijeka trebala bi se moći reciklirati, ponovno koristiti ili razgraditi. Izrada ambalaže je znanstvena interdisciplinarna kategorija koja se bavi proizvodom od koncepta do kraja njegovog životnog vijeka ili uporabe koja obuhvaća područja ekonomije, ekologije i društva. Kako bi se smanjio ukupni utjecaj ambalaže na okoliš, istaknut je trend razvoja održive ambalaže. Dobro dizajnirana ambalaža može dovesti do značajnih ekoloških prednosti.

U ovom istraživanju uspoređuju se tri metode uklanjanja nečistoća iz papirne pulpe, te se utvrđuje njihova učinkovitost kako bi se dobio dublji uvid u proces recikliranja. Sva tri primijenjena postupka uspješno su odvojila čestice nečistoće iz papirne pulpe i otisnute laminirane ambalaže na održiviji način, bez upotrebe kemijskih sredstava. Ovime se također dobio uvid u utjecaj svake faze proizvodnje ambalaže za farmaceutske proizvode, odnosno na svojstva i karakteristike recikliranog papira. Uspoređeni su dobiveni rezultati optičkih karakteristika recikliranih laboratorijskih listova dobivenih iz uzoraka laminiranog i nelaminiranog kartona kako bi se utvrdio utjecaj svake faze proizvodnje kutije na kvalitetu papirne pulpe.

U drugom dijelu istraživanja utvrđuje se maseni udio metala u različitim fazama procesa deinkinga kako bi se optimizirala kvaliteta celulozne pulpe i dizajnirao visokokvalitetni ambalažni proizvod. Kao rezultat toga, maseni udjeli metala u celuloznoj pulpi podijeljeni su u četiri skupine prema rastućoj vrijednosti masenog udjela, kao i rastućoj elektronegativnosti metala. Količine metala analizirane su pomoću spektrometrije mase uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-MS). Na odvajanje metala iz celulozne pulpe utječe prisutnost ljepila i elektronegativnost metala. Rezultati istraživanja pokazuju da proces recikliranja vrlo dobro uklanja određene teške metale, što ukazuje na dobar potencijal recikliranja uzoraka farmaceutske ambalaže.

Stečeno znanje se zatim primjenjuje u fazi projektiranja održivijeg proizvoda, gdje se laminirani materijali koriste samo parcijalno. Fokus istraživanja je na redizajnu ambalaže i njegovom utjecaju na učinkovitost pakiranja. Održiva ambalaža pridonijeti će povećanju kvalitete dobivene papirne pulpe, što je u izravnoj vezi s povećanjem produktivnosti recikliranja i održivosti procesa proizvodnje ambalaže. Stoga se planiraju daljnja istraživanja na temelju smjernica dobivenih ovim istraživanjem.

KLJUČNE RIJEČI: farmaceutska ambalaža, faze proizvodnje ambalaže, kružna ekonomija, flotacijski deinking, svojstva recikliranih vlakana, održivi dizajn

Zagreb, 17.06.2024.