

# Analiza spodbujevalcev eko-inovacij z vidika krožnega gospodarstva

## Analysis of eco-innovation drivers from a circular economy perspective

►► Matjaž MALETIČ, Boris STOJIC, Damjan MALETIČ<sup>1</sup>

### IZVLEČEK

Sodobni poslovni svet se sooča z izzivom prehoda od tradicionalnih inovacij k eko-inovacijam. Organizacije se morajo zavedati pomena okolja pri vseh vidikih inovacij. Namen tega prispevka je na podlagi pregleda obstoječe literature in empirične raziskave proučiti glavna gonila pobud za krožno gospodarstvo in eko-inovacije, še zlasti z vidika izzivov, s katerimi se podjetja soočajo pri izvajanju pobud za krožno gospodarstvo, ter ovire, s katerimi se podjetja soočajo pri spodbujanju razvoja eko-inovacij. Konceptualni model razumevanja dejavnikov eko-inovacij je oblikovan na podlagi predhodnih raziskav in preverjen z empirično študijo. Empirična raziskava je omejena na proučevanje dejavnikov eko-inovacij v 40 slovenskih podjetjih. Ugotovitve, ki izhajajo iz prispevka, tvorijo osnovo za prihodnje aktivnosti na področju razvoja in implementacije koncepta krožnega gospodarstva kot tudi spodbujanje eko-inovacij.

**Ključne besede:** krožno gospodarstvo, eko-inovacije

### ABSTRACT

*Today's business world faces a challenge of the shift from traditional innovation to eco-innovation. Companies must recognise the importance of the environment in every aspect of innovation. The purpose of this paper is to derive the drivers of eco-innovation from a review of the existing literature and an empirical study to create an understanding of the organisation targeting eco-innovation. The objective of this paper is, therefore, to identify the key drivers of eco-innovation and their main barriers. A conceptual model for understanding the drivers of eco-innovation is developed based on previous research and validated through an empirical study. The empirical study is limited to the examination of eco-innovation drivers in 40 Slovenian companies. The results of the study form the basis for future activities in the development and implementation of the concept of circular economy and the promotion of eco-innovation.*

**Keywords:** circular economy, eco-innovation

## 1 UVOD

Za krožno gospodarstvo (KG) lahko rečemo, da je to gospodarstvo, ki je obnovitveno in regenerativno po svoji zasnovi ter si prizadeva ohraniti izdelke, sestavne dele in materiale čim bolj in čim dlje časa uporabne in hkrati ohranjati visoko vrednost [1]. Z ohranjanjem vrednosti in ohranjanjem materialov v obtoku, se KG obravnava kot način za zmanjšanje naše odvisnosti od pridobivanja materialov in kot pogoj za nadaljevanje sedanjega načina življenja. Zato je potrebno osvetliti pomembnost vključevanja načel KG v vse poslovne discipline [2]. KG je običajno predstavljeno s povprečjem štirih zank okrevanja (4R) [3], tj. štirih R (zmanjšanje, popravo, ponovna izdelava in recikliranje). Dejavnosti KG se osredotočajo izključno na eno od treh ravni [4]: (1) makro raven, ki se osredotoča na regije, mesta, občine ali province; (2) mezo raven, ki se osredotoča na eko-industrijska omrežja, kjer odpadki (material ali energija) iz enega podjetja, postanejo surovina za drugo

podjetje; in (3) mikro raven, ki se osredotoča na izboljšanje okoljske uspešnosti posamezne organizacije, na primer z zmanjšanjem porabe virov, odpadkov ali razvoju okolju prijaznejših izdelkov [5]. Uvedba koncepta KG lahko organizacijam omogoči prehod z linearnega modela k modelu zaprte zanke, vendar so se dosedanja prizadevanja na mikro ravni, v pretežni meri osredotočila na podjetja, katerih dejavnost je povezana s področji, kot je to odpadna hrana, nevarni odpadki, plastični odpadki, recikliranje kritičnih surovin, nezakonite pošiljke odpadkov in recikliranje fosforja [5, 6-7].

Za prehod v KG so potrebne eko-inovacije, ki bodo zaprle zanko življenjskega cikla izdelkov, omogočale razvoj okolju prijaznih produktov ter podprle reševanje potreb po okoljski odpornosti, kljub prisotni težnji po gospodarski rasti [8]. Eko-inovacija je lahko ideja za nov zagon izdelka, kot tudi za izboljšanje obstoječega procesa. Eko-inovacije so osredotočene na novo tehnologijo, vendar pa sta ustvarjanje novih sto-

ritev in uvajanje organizacijskih sprememb, prav tako pomembna. Eko-inovacije so mnogim organizacijam priložnost, da povečajo svojo konkurenčnost in so ključne, da krožno gospodarstvo spremenijo v resničnost. Akcijski načrt za spodbujanje eko-inovacij, je zato pomemben element okvira evropske politike za trajnostno potrošnjo in proizvodnjo [9]. Eko-inovacije z razvojem prispevajo k trajnostni izboljšanji okolja in lahko vključujejo ne le okolju prijazne izdelke, postopke in storitve, ampak tudi sisteme organizacijskega upravljanja. Vključujejo spremembo funkcionalnosti, ki se zahteva pri novih izdelkih, in spremembo poslovnega modela. Tako niso le vplivi na okolje, ampak tudi družbeni vplivi [10].

Na akademski ravni se inovacije večinoma dojemajo na dva načina [11]: (1) prvi je inovacija produktov (izdelkov ali storitev), (2) druga pa je inovacija procesa. Pomanjkanje osredotočenosti in skrbi za okoljsko uspešnost (tj. razmišljanje o življenjskem ciklu, sistem zaprte zanke, izogibanje ali zmanjševanje okoljske obremenitve itd.) z vidika inovativnosti, je bila glavna slabost prejšnjih inovacijskih ciljev. Čeprav eko-inovacije obljublajo zmanjšanje vpliva na okolje, pa ni jasno, pod kakšnimi pogoji se spodbujajo inovacije za okoljsko trajnost. V zadnjem času, se veliko podjetij, v različnih panogah ukvarja s problematiko eko-inovacij [12]. Slednje močno pridobiva na pozornosti, še zlasti z vidika ustvarjanja vrednosti za različne deležnike. Pravzaprav se povezuje med eko-inovacijami in uspešnostjo podjetja, pokaže pri zmanjšanju okoljskih tveganj, zmanjšanju stroškov, povečanju prodaje z različnimi izdelki, izboljšanjem stopnje dobička, izboljšanjem vrednosti blagovne znamke in dvigu ugleda podjetja [13].

## 2 METODOLOGIJA

Pri oblikovanju raziskovalnega pristopa smo sledili preteklim raziskovalnim priporočilom [14]. Pri tem smo upoštevali korake oblikovanja raziskovalnega problema, metodologijo pridobivanja preliminarnih izsledkov iz literature, kot tudi metodologijo analize in interpretacije podatkov.

V raziskavi nas je zanimalo stanje v slovenskih podjetjih z vidika eko-inovacij in krožnega gospodarstva. Predvsem smo želeli ugotoviti, katera so glavna gonila pobud za eko-inovacije in kateri so ključni izzivi, s katerimi se podjetja soočajo pri spodbujanju razvoja eko-inovacij. Raziskava temelji predvsem na primerjavi podatkov, pridobljenih z našim vprašalnikom in podatki, ki so javno dostopni. Mednje sodijo analize in rezultati domačih in tujih študij, ki so se osredotočali na podobno tematiko [14-18].

<sup>1</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kidričeva cesta 55a, SI-4000 Kranj



Zgoraj omenjene raziskave so bile tudi v pomoč pri oblikovanju anketnega vprašalnika, ki je vključeval naslednje sklope:

1. Značilnosti podjetja, vključno z velikostjo in starostjo;
2. Ključna gonila pobud za krožno gospodarstvo;
3. Ključne ovire pri spodbujanju krožnega gospodarstva;
4. Ključni dejavniki spodbujanja eko-inovacij;
5. Ključne ovire pri spodbujanju razvoja eko-inovacij;
6. Kazalniki učinkovitosti in uspešnosti.

Pri večini trditev smo uporabili 7-stopenjsko Likertovo lestvico (1 - sploh se ne strinjam do 7 - popolnoma se strinjam). Raziskava je bila izvedena z uporabo spletnega anketnega orodja 1KA (<https://www.1ka.si/>). Zbiranje podatkov je potekalo v decembru 2020.

## 3 REZULTATI

### 3.1 Značilnosti vzorca

V raziskavo je vključenih 40 slovenskih podjetij. Med anketiranimi podjetji, kot prikazuje Preglednica 1, prevladujejo srednje velika podjetja, in sicer s kar 39 %, s 25 % sledijo mala podjetja z do 50 zaposlenimi, visok pa je bil tudi odstotek mikro podjetij, ki znaša 23 %. Najmanj anketiranih podjetij je bilo velikih podjetij z nad 250 zaposlenimi, ki predstavljajo 13 % anketirancev.

### 3.2. Dejavniki spodbujanja in ovire pri uvajanju eko-inovacij

V nadaljevanju so prikazani rezultati raziskave, in sicer opisne statistike za ključne dejavnike spodbujanja eko-inovacij (Preglednica 2) in opisne statistike za ključne ovire pri spodbujanju razvoja in uvajanju eko-inovacij (Preglednica 3). Pri opisnih statistikah je prikazana povprečna vrednost posamezne trditve ter pripadajoči enostranski t-test, s katerim smo preverjali, če je povprečna vrednost statistično značilno višja od testne vrednosti 4.

Z največjo povprečno oceno 5,3 so anketirana podjetja kot najbolj pomemben dejavnik označila strinjanje z davčnimi ugodnostmi za inovacije in okolju prijazne izdelke. Glede na to, da so v predhodnih vprašanih izpostavili izziv financiranja, ne preseneča, da bi z manjšimi davki oziroma olajšavami, lahko znatno prispevali k večji usmerjenosti v razvoj eko-inovacij. Prav tako pomemben dejavnik so vire, ki jih financira država, označili z visoko povprečno oce-

Ključni dejavniki spodbujanja eko-inovacij	Povprečje	t (p)
Okoljska politika in zakonodajna reforma	5,1	2,63 (0,003)*
Viri, ki jih subvencionira država.	5,2	2,869 (0,002)*
Davčne ugodnosti za inovacije in okolju prijazne izdelke.	5,3	3,108 (0,001)*
Razvijanje odnosov z dobavitelji in poslovnimi partnerji v oskrbovalni verigi.	4,8	1,912 (0,016)*
Aktivno razvijanje sodelovanja s sekundarnimi deležniki (nevladne organizacije, poslovna združenja, mediji ipd.).	4,3	0,717 (0,119)*
Zahteva vlagateljev po ohranjanju donosnosti.	4,6	1,434 (0,040)*
Ugled zaposlenih z večjo okoljsko zavestjo.	4,6	1,434 (0,040)*
Zavezanost vodstva organizacije, ki področje eko-inovativnosti umešča v strateški nivo.	4,8	1,912 (0,016)*
Politika nagrajevanja zaposlenih v skladu z realizacijo pobud okoljskih izboljšav.	4,6	1,434 (0,040)*
Voditelji podjetja vidijo okolje kot dejavnik strateškega pomena.	4,7	1,673 (0,026)*
Podjetje ima človeške vire za razvoj eko-inovacij.	4,6	1,434 (0,040)*
Podjetje ima pogoje za vgradnjo in spretnosti prilagajanja za prevzem novih okoljskih tehnologij.	4,5	1,195 (0,060)*
Vzpostavitev sodelovanja in strateškega povezovanja z drugimi organizacijami.	4,5	1,195 (0,060)*
Jasno opredeljena strategija in akcijski načrt doseganja ciljev eko-inovativnosti v organizaciji.	4,8	1,912 (0,016)*
Prehod na tržišča, kjer prevladujejo okolju prijazni izdelki in storitve.	4,9	2,151 (0,009)*

Preglednica 2: Ključni dejavniki spodbujanja eko-inovacij

Opomba: \*statistično značilno pri stopnji 0,05

no 5,2. Za njima sledita dejavnika s povprečno oceno 5,1, ki se navezujeta na predpise, ki so pomembni za nadzor obremenjevanja okolja ob koncu proizvodnega procesa in predpise, ki podjetju zlužijo kot vodilo za inovacije, učenje in spreminjanje svojih praks. Podjetja se zavedajo, da so predpisi pomembni, predvsem z vidika, da ima lahko več zaposlenih vpogled v smernice in cilje podjetja s področja eko-inovacij. Kar podjetja dodatno motivira pri spodbujanju eko-inovacij, so prehodi na tržišča, kjer prevladujejo okolju prijazni izdelki in storitve. Ta dejavnik je dobil povprečno oceno strinjanja 4,9, pri katerem pa je kar 17 % podjetij označilo popolno strinjanje. Očitno gre za pokazatelj zavednosti podjetij, da če želijo ohraniti oz. povečati konkurenčno prednost, morajo sodelovati na trgih, kjer prevladujejo potrošniki, ki si želijo ekološko pridelanih izdelkov. Z enako

povprečno oceno 4,8 so podjetja ocenila tri dejavnike. Razvijanje odnosov z dobavitelji in poslovnimi partnerji v oskrbovalni verigi, saj lahko s skupnimi močmi in skupnim vlaganjem v razvoj eko-inovacij hitreje in lažje razvijemo nov proizvod, oblikujemo nov proces itd. Koristi ob tem so seveda obojestranske. Zavezanost vodstva organizacije, ki področje eko-inovativnosti umešča v strateški nivo, je anketirancem prav tako zelo pomembna, saj je vodstvo tisto, ki na koncu razporeja vire in odloča o kratkoročnih in dolgoročnih aktivnostih, ciljih podjetja. Prav tako morata biti jasno opredeljena strategija in akcijski načrt doseganja ciljev eko-inovativnosti v organizaciji, po katerih se vodstvo in zaposleni tekom razvoja lahko orientirajo. Z nekoliko manjšo povprečno oceno 4,6 so podjetja označila dejavnike, kot je zahteva vlagateljev po ohranjanju donosnosti, politika nagrajevanje zaposlenih v skladu z realizacijo pobud okoljskih izboljšav in da ima podjetja dovolj človeških virov za razvoj eko-inovacij. S povprečno oceno 4,5 sta ocenjena dejavnika, da ima podjetje pogoje za vgradnjo in spretnosti prilaganja za prevzem okoljskih tehnologij ter vzpostavitev sodelovanja in strateškega povezovanja z drugimi organizacijami. Najmanj pomemben dejavnik se je anketirancem s povprečno oceno 4,3 zdelo aktivno razvijanje sodelovanja s sekundarnimi deležniki, kot so nevladne organizacije, poslovna združenja, mediji ipd.

V nadaljevanju nas je zanimalo, s katerimi ovirami se podjetja v največji meri soočajo pri spodbujanju razvoja eko-inovacij. Rezultati raziskave so prikazani v Preglednici 3.

Število zaposlenih	Delež (v %)	Starost podjetja v letih	Delež (v %)
manj kot 10 zaposlenih	23	Do 5 let	18
od 11 do 50 zaposlenih	25	Od 6 do 10 let	5
od 51 do 250 zaposlenih	39	OD 11 do 15 let	5
251 ali več zaposlenih	13	Od 16 do 20 let	14
		Od 21 do 25 let	8
		Nad 26 let	50

Preglednica 1. Demografske značilnosti sodelujočih podjetij

Ključne ovire pri spodbujanju razvoja eko-inovacij	Povprečje	t (p)
Pomanjkanje strategije vizije trajnostnega razvoja.	4,6	1,434 (0,040)*
Konflikti med strukturo in strategijo in neučinkovito upravljanje.	4,5	1,195 (0,060)*
Pomanjkanje ustreznih virov in pobud.	5,0	2,390 (0,005)*
Pomanjkanje kulture (vrednote in organizacijske klime) inovacij in trajnosti.	4,6	1,434 (0,040)*
Osredotočenost na kratkoročne cilje in strategije njihovega doseganja.	4,6	1,434 (0,040)*
Pomanjkanje kompetentnosti uporabe metod in orodij s področja eko-inovativnosti.	4,7	1,673 (0,026)*
Pomanjkanje modelov, osredotočenih na celostno in sistemsko vključevanje eko-inovacij.	5,0	2,390 (0,005)*
Pomanjkanje modelov zrelosti eko-inovacij.	5,2	2,869 (0,002)*
Pomanjkanje standardiziranih metod za ocenjevanje zrelosti eko-inovacij.	5,1	2,630 (0,003)*
Visoki investicijski stroški.	5,3	3,108 (0,001)*

Preglednica 3: Ovire pri spodbujanju razvoja eko-inovacij  
Opomba: \*statistično značilno pri stopnji 0,05

Po pričakovanih je na prvem mestu z najvišjo povprečno oceno 5,3 ovira visokih investicijskih stroškov. Pri omenjeni oviri, je kar 20 % anketirancev označilo najvišjo stopnjo strinjanja, kar za mnoga podjetja predstavlja zelo visoko oviro, da bi lahko začela z večjimi premiki v smeri razvoja eko-inovacij. Mednje najverjetneje spadajo podjetja manjših velikosti, ki jih je tudi največ v zbranem vzorcu, medtem ko predvidevamo, da večjim podjetjem investicijski stroški ne predstavljajo večjih težav. Na drugem mestu se s povprečno oceno 5,2 nahaja pomanjkanje modelov zrelosti eko-inovacij ter na tretjem mestu s povprečno oceno strinjanja 5,1 pomanjkanje standardiziranih metod za ocenjevanje zrelosti eko-inovacij. Ravno oviro 'pomanjkanje modelov, osredotočenih na celostno in sistemsko vključevanje eko-inovacij', so anketiranci označili prav tako z visoko povprečno oceno 5. Očitno pa mnogokrat v podjetju primanjkuje ustreznih virov in pobud, tako s strani zaposlenih kot z vodstvene strani, saj je tudi ta ovira dobila povprečno oceno 5. Ker mnogo podjetij do sedaj razvoju eko-inovacij ni posvečalo veliko pozornosti, je mogoče zaznati pomanjkanje kompetentnosti uporabe metod in orodij s tega področja. Kot nekoliko manjše ovire so anketiranci s povprečno oceno 4,6 označili pomanjkanje strategij in pravočasno vizijo trajnostnega razvoja, pomanjkanje kulture (vrednote in organizacijske klime) inovacij in trajnost ter osredotočenost na kratkoročne cilje in strategijo njihovega doseganja. Kot najmanj pomembno oz. pogosto oviro, so podjetja označila konflikte med strukturo in strategijo in neučinkovito upravljanje.

#### 4 SKLEPNE UGOTOVITVE

Ob teoretičnem pregledu oz. študiji literature hitro ugotovimo, da so eko-inovacije ena od rešitev na poti k zelenemu gospodarstvu [16]. Predhodne raziskave odpirajo diskusijo glede pomembnosti eko-inovacij za gospodarsko rast ter nenazadnje poudarjajo tudi

pomembnost, tako naložb v raziskave in razvoj, kot tudi dopolnilne naložbe v osnovna sredstva, kot ključne dejavnike eko-inovacij [20]. Eko-inovacije so v središču strategije Evropa 2020: Strategija za pametno, trajnostno in vključujočo rast, predvsem zaradi potenciala za reševanje nekaterih ključnih družbenih vprašanj, povezanih z okoljem ter potenciala za izboljšanje konkurenčnosti, produktivnosti in rasti EU [20].

Ključne ugotovitve raziskave so strnjene v Preglednici 4. V zaključnih argumentih lahko izpostavimo pomembnost celovitega in sistematičnega pristopa h KG in eko-inovacijami. Slednje je potrebno tako na mikro ravni, kot tudi na mezo in makro ravni, kje je potrebno kontinuirano in sistematično spodbujati podjetja pri prehodu v KG, še zlasti z intenzivnejšim uvajanjem eko-inovacij.

Zdi se, da se pojavlja soglasje, da čeprav je veliko tehničnih in regulativnih izzivov, so resni-

<p><b>Ključni spodbujevalci naše raziskave</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmanjševanje stroškov.</li> <li>- Večji prihodki.</li> <li>- Povpraševanje strank.</li> <li>- Okoljski predpisi in zakoni.</li> <li>- Ugled podjetja.</li> <li>- Viri, ki jih subvencionira država.</li> <li>- Davčne ugodnosti za inovacije in okolju prijazne izdelke.</li> <li>- Prehod na tržišča, kjer prevladujejo okolju prijazni izdelki in storitve.</li> </ul>	<p><b>Ključni spodbujevalci tujih raziskav</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmanjševanje stroškov.</li> <li>- Povečanje dobička.</li> <li>- Načelo poslovanja.</li> <li>- Zmanjšanje materialnih stroškov.</li> <li>- Boljši odnosi z deležniki, kot so lokalne skupnosti, regulatorji in interesne skupine.</li> <li>- Izboljšan ugled podjetja.</li> <li>- Izboljšana morala zaposlenih.</li> <li>- Konkurenčna prednost.</li> <li>- Krepitev blagovne znamke.</li> </ul>
<p><b>Ključne ovire naše raziskave</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Neustrezna sistemska podpora pri razvoju eko-inovacij.</li> <li>- Infrastruktura za poslovanje in oskrbo z izdelki.</li> <li>- Trženje in izobraževanje kupcev.</li> <li>- Visoki investicijski stroški.</li> <li>- Omejeno financiranje</li> <li>- Nezadostna uporaba ali razvoj orodij, informacij in meritev, usmerjenih v krožno gospodarstvo in eko-inovacije.</li> <li>- Pomanjkanje standardizacije</li> <li>- Pomanjkanje ustreznih virov in pobud.</li> </ul>	<p><b>Ključne ovire tujih raziskav</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Odkup poslovnega modela.</li> <li>- Infrastruktura za poslovanje in oskrbo z izdelki.</li> <li>- Stroškovne in finančne omejitve.</li> <li>- Pomanjkanje izkušenj in znanj na obravnavanem področju.</li> <li>- Odpor izvršnega vodstva.</li> <li>- Pomanjkanje zunanega financiranja.</li> <li>- Negotova donosnost naložbe ali predolga doba vračila.</li> <li>- Pomanjkanje sodelovanja z raziskovalnimi inštituti in univerzami.</li> </ul>

Preglednica 4: Pregled ključnih ugotovitev raziskave v primerjavi s tujimi raziskavami [14-18, 18-19]

čne ovire pri spodbujanju krožnega gospodarstva, kot tudi eko-inovacij, kulturne in finančne in tržne narave, kot je to na primer pristop podjetja do sodelovanja z deležniki in težave pri dokazovanju močnih poslovnih razlogov za krožne modele in eko-inovacije [2, 21].

Z vidika omejitve raziskave lahko izpostavimo velikost vzorca, saj le-ta ni dovolj velika, da bi rezultate analize posplošili na celoten slovenski gospodarski sistem. V prihodnjih raziskavah, bi tudi bila smiselna primerjalna analiza podjetij s proizvodno dejavnostjo in podjetij s storitveno dejavnostjo.

#### LITERATURA

[1] MACARTHUR, Ellen. Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition. Dostopno na spletu: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>.

[2] HART, J., ADAMS, K., GIESEKAM, J., TINGLEY, D. D. in POMPONI, F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia Cirp*, 2019, vol. 80, str. 619-624.

[3] URBINATI, A., CHIARONI, D. in CHIESA, V. Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 168, str. 487-498.

[4] YUAN, Z., BI, J. in MORIGUCHI, Y. The circular economy: A new development strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 2006, vol. 10, št. 1-2, str. 4-8.

[5] BARREIRO-GEN, M. in LOZANO, R. How circular is the circular economy? Analysing the implementation of circular economy in organisations. *Business Strategy and the Environment*, 2020, vol. 29, št. 8, str. 3484-3494.

[6] BASSI, F. in DIAS, J. G. The use of circular economy practices in SMEs across the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, vol. 146, str. 523-533.

[7] ORMAZABAL, M., PRIETO-SANDOVAL, V., PUGA-LEAL, R. in JACA, C. Circular economy in Spanish SMEs: challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 185, str. 157-167.



[8] SCHEEL, C. Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of cleaner production*, 2016, vol. 131, str. 376-386.

[9] EIO and CfSD (2016), 2nd edition, Eco-innovate! A guide to eco-innovation for SMEs and business coaches. Eco-Innovation Observatory. Funded by the European Commission, DG Environment, Brussels. Dostopno na spletu: [https://www.sustainabilityexchange.ac.uk/files/me\\_eco-innovation\\_guide\\_2nd\\_edition\\_small.pdf](https://www.sustainabilityexchange.ac.uk/files/me_eco-innovation_guide_2nd_edition_small.pdf)

[10] XAVIER, A., et al. Eco-Innovation Maturity Model: A Framework to Support the Evolution of Eco-Innovation Integration in Companies. *Sustainability*, 2020, vol. 12, št.9, str. 3773.

[11] SMITH, D. EBOOK: Exploring Innovation. McGraw Hill, 2015, 337 str.

[12] FUKASAKU, Y. The need for environmental innovation indicators and data from a policy perspective. In: *Towards environmental innovation systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. str. 251-267.

[13] BRASIL, M. V. D. O., ABREU, M. C. S. D., SILVA FILHO, J. C. L. D. in LEOCÁDIO, A. L. Relationship between eco-innovations and the impact on business performance: an empirical survey research on the Brazilian textile industry. *Revista de Administração (São Paulo)*, 2016, vol. 51, str. 276-287.

[14] SEKARAN, U. in BOUGIE, R. *Research methods for business: A skill building approach*. John Wiley & sons, 2016.

[15] SINGER, T. *Business Transformation and the Circular Economy: A Candid Look at Risks and Reward*. 2017, Dostopno na spletu: <https://www.conference-board.org/topics/circular-economy/Linear-Economy-Shifts-to-Circular-Economy>

[16] HOJNIK, J. In Pursuit of Eco-innovation. *Koper: Založba Univerze na Primorskem*, 2017. 333 str.

[17] MAÇANEIRO, M. B., DA CUNHA, S. K. in BALBINOT, Z. Drivers of the adoption of eco-innovations in the pulp, paper, and paper

products industry in Brazil. *Latin American Business Review*, 2013, vol. 14, št.3-4, str. 179-208.

[18] HOJNIK, J. in RUZZIER, M. Drivers of and barriers to eco-innovation: a case study. *International Journal of Sustainable Economy*, 2016, vol. 8, št.4, str. 273-294.

[19] RYSZKO, A. Drivers and barriers to the implementation of eco-innovation in the steel and metal industry in Poland. In: *23rd International Conference on Metallurgy and Materials METAL*. 2014.

[20] LEITNER, S. M. *Eco-Innovation: Drivers, Barriers and Effects—A European Perspective*. wiiw Working Paper, 2018.

[21] KIEFER, C. P., DEL RIO GONZALEZ, P. in CARRILLO-HERMOSILLA, J. Drivers and barriers of eco-innovation types for sustainable transitions: A quantitative perspective. *Business Strategy and the Environment*, 2019, vol. 28, št. 1, str. 155-172.

# Produkti mikrobiološke razgradnje lignina

## Products of microbiological lignin degradation

►► Helena Plešnik<sup>1,2</sup>, Maja Zupan<sup>1</sup>, Jurij Trontelj<sup>2</sup>, Aleš Lapanje<sup>1</sup>, Tina Kosjek<sup>1</sup>

### IZVLEČEK

Lignin je kompleksen aromatski biopolimer, ki je v naravi prisoten v stenah rastlinskih celic, v velikih količinah pa nastaja kot odpadni produkt pridelave papirja in biogoriv. Skladno s konceptom krožnega gospodarstva in zelene tehnologije brez odpadkov je zanimanje za njegovo koristno uporabo v zadnjih letih precej zraslo, saj bi kot naravni vir aromatskega ogljika lahko predstavljala odlični vir za proizvodnjo materialov z dodano vrednostjo. Zato smo se osredotočili na okolju prijazno razgradnjo lignina z mikroorganizmi, in sicer smo preučevali ligninolitično aktivnost bakterijskih izolatov z lignolitično aktivnostjo. Ugotavljali smo, ali je pri izbranih pogojih prišlo do biorazgradnje lignina, in če je, kateri produkti so pri tem nastali. Tako smo na osnovi obstoječe literature definirali potencialne produkte bakterijske razgradnje lignina, za katere smo razvili tarčno analizo metodo s tekočinsko kromatografijo sklopljeno s tandemsko masno spektrometrično detekcijo (LC-MS/MS). Naši vzorci so bili pridobljeni iz šaržnih reaktorjev, kamor je bil bakterijam kot vir ogljika dodan lignin, pri čemer smo predpostavili, da določitev katerega od produktov razgradnje potrjuje biorazgradnjo v vzorcu. Po optimizaciji pogojev razgradnje smo v vzorcih dokazali prisotnost treh razgradnih produktov lignina, in sicer 4-hidroksiacetofenona, acetovanilona in vanilinske kisline. Z LC-MS/MS smo izvedli tudi netarčno analizo, ki je pokazala, da je pri razgradnji lignina nastalo še veliko drugih produktov razgradnje. Naš naslednji korak bo njihova identifikacija s pomočjo visokoločljivostne MS.

**Ključne besede:** lignin, bakterijska razgradnja, tekočinska kromatografija, masna spektrometrija

### ABSTRACT

*Lignin is a complex aromatic biopolymer present in nature as part of plant cell walls. It is generated in large quantities as a waste product in paper and biofuel industries. In the context of circular economy and green technologies, the interest in lignin valorisation has grown considerably in recent years. It is an abundant source of renewable aromatic carbon and could be a great source for producing value-added chemicals. Our research focuses on environmentally friendly bacterial degradation and studying the ligninolytic activity of the selected bacterial strains. Our objective was to determine whether biodegradation of lignin occurs under the selected conditions and the products generated in the process. Based on the existing literature, potential degradation products were defined and included in a targeted analytical method based on determination by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). Our samples contained lignin treated with the laccase-producing bacterial strains in batch reactors and it was presumed that the detection of any of the potential degradation products in the sample proves biodegradation. After the optimisation of the biodegradation conditions, we confirmed the presence of three products of the bacterial lignin degradation in the samples: 4-hydroxyacetophenone, acetovanillone, and vanillic acid. We also performed a non-targeted LC-MS/MS analysis, which has shown the presence of many additional degradation products. Our next step is to identify them using high-resolution mass spectrometry*

**Keywords:** lignin, bacterial degradation, liquid chromatography, mass spectrometry

<sup>1</sup> Inštitut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup> Fakulteta za farmacijo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 7, 1000 Ljubljana