

Мср Милица Маринковић, асистент
Правног факултета Универзитета у Крагујевцу
ORCID: 0000-0002-1275-3419

Изворни научни рад
УДК: 349.6:34(4-672EU)
DOI: <https://doi.org/10.46793/7623-154.577M>

ЕКОНОМСКИ И ЕКОЛОШКИ АСПЕКТИ РЕЦИКЛИРАЊА КРИТИЧНИХ СИРОВИНА ИЗ ЕЛЕКТРОНСКОГ ОТПАДА: ПРАВНИ И ТРЖИШНИ ИЗАЗОВИ У ЕВРОПСКОЈ УНИЈИ*

Резиме

Пораст производње и потрошње електричне и електронске опреме генерише најбрже растући ток отпада у Европској унији, истовремено проузрокујући и значајно расипање ретких метала. Овај рад истражује економски потенцијал и еколошку императив рециклирања ретких метала из електронског отпада (е-отпада). Фокус истраживања усмерен је на анализу европског регулаторног оквира, укључујући Директиву о е-отпаду (WEEE) и Акциони план за циркуларну економију и његову улогу у подстицању развоја тржишта секундарних сировина. Иако постоји јасна политичка визија, економски модел рециклирања критичних сировина суочава се са бројним изазовима. Технолошка сложеност вађења, високи трошкови логистике и прераде, као и недовољна стимулација за екодизајн производа који олакшавају рециклажу, представљају значајне баријере за стварање одрживог и конкурентног ланца снабдевања у односу на примарну екстракцију.

Рад наглашава да за остварење стратешких циљева ЕУ у погледу ресурсне независности и зелене транзиције није довољно једноставно унапредити технологију рециклирања. Неопходно је спровођење координисаних мера које укључују јачање обавезе произвођача, увођење фискалних подстицаја и хармонизацију стандарда на нивоу уније. Трансформација е-отпада у стратешки ресурс захтева целовит приступ који комбинује регулаторну извесност и тржишну иновацију.

Кључне речи: критичне сировине, електронски отпад, циркуларна економија, ЕУ регулативе, урбано рударство.

* Рад је резултат научноистраживачког рада аутора у оквиру Програма истраживања Правног факултета Универзитета у Крагујевцу за 2025. годину, који се финансира из средстава Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

1. Увод

Вртоглави напредак технологије, нарочито од Другог светског рата на овамо, умногоме олакшава свакодневни живот становника планете Земље. Од почетка ХХИ века сведоци смо неслућених размера до којих се развио интернет, рачунари и мобилни телефони. Нови, усавршени модели разнородних уређаја излазе на тржиште свакодневно. Досадашњи модел светске економије може се описати енглеском фразом *take-make-dispose*, односно „узми (из природе, прим. аут)-направи-одбаци“. Овај линеарни модел производње зависан је од константног екстраховања све већих и већих количина сировина из дубина Земље. Злато, ванадијум, волфрам, кобалт, антимон само су неки од ретких метала за којима потражња свакодневно расте. Последишно, електронски отпад (*Waste Electrical and Electronic Equipment – WEEE*) последњих деценија постао је најбрже растућа категорија отпада на свету.¹

Као одговор на растуће потребе за разноврсним сировинама и, последишно, све брже исцрпљивање ресурса и уништавање животне средине услед рударских активности, од седамдесетих година ХХ века² почиње да се говори о циркуларној економији. За разлику од већ описане линеарне, циркуларна економија је „регенеративни систем у којем материјали континуирано круже у процесима као што су поновна употреба, поправка, рециклажа и компостирање, како би се осигурало да производи и ресурси остану у употреби и никада не постану отпад“.³ То је модел привреде у коме се „вредност производа, материјала и ресурса одржава...што је дуже могуће, а генерисање отпада се минимизира“.⁴ Идеја циркуларне економије, према А. Поповићу и В. Радојевићу, подразумева „максималну употребу производа који су завршили свој животни циклус, уз што мању експлоатацију нових ресурса.“⁵ Три основна

¹ Serpe, A. et al., 2002–2022: 20 Years of E-Waste Regulation in the European Union and the Worldwide Trends in Legislation and Innovation Technologies for a Circular Economy, RSC Sustainability, no. 3/2025, стр. 1041.

² Osiecka-Brzeska, K., Próchniak, J., Czerepko, J., *The Circular Economy Principles: A Theoretical and Definitional Exploration within the European Union Framework*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio H – Oeconomia, no. 59, vol. 2/2025, стр. 184.

³ Adeyeni Afolabi, J., *Advancing the Circular Economy in Europe: The Role of Eco-Innovation, Economic Complexity, and Digitalization*, Technology in Society, no. 83, 2025, стр. 1, Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, 2013, стр. 7. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/27265af68f11ef30/original/Towards-the-circular-economy-Vol-1.pdf> датум приступа 28. октобар 2025.

⁴ Arbolino, R. et al., *Circular Economy Convergence Across European Union: Evidence on the Role Policy Diffusion and Domestic Mechanisms*, Socio-Economic Planning Sciences, no. 96/2024, стр. 1.

⁵ Popović, A., Radojević, V., *The Circular Economy – Principles, Strategies and Goals*, Economics of Sustainable Development, vol. 6, no. 1/2022, стр. 48.

принципа циркуларне економије постала су позната као „три Р“: смањење потрошње улазних сировина, тј. инпута (*reduction*), поновна употреба нуспроизвода (*reuse*) и рециклажа отпада (*recycling*).⁶

У претходних десет година скоро свака земља на свету почела је да чини кораке ка транзицији од линеарног ка циркуларном економском моделу. Ипак, ова транзиција је скопчана са високим трошковима и инерцијом привредних актера, па промене нису свуда на завидном нивоу. У земљама Европске уније је забележено веће интересовање за транзицију ка циркуларној економији него на другим просторима.⁷

2. Економски потенцијал „урбаног рударства“

Једна од идеја циркуларне економије је да, уколико производи досегну крај свог животног века, њихове сировине буду враћене у производни систем, уместо да постану отпад.⁸ Електронски уређаји на крају свог животног века (*End of Life – EoL*) постају електронски отпад (*WEEE, e-waste*). Само Европска унија је током 2021. године произвела 400 милиона тона електронског отпада, односно 527 kg по глави становника.⁹ Према подацима које износе Уједињене нације, до 2030. године ће у свету годишња производња електронског отпада износити 82 милиона тона.¹⁰ Електронски отпад полако, али сигурно постаје глобални еколошки проблем.

Производња електронских уређаја незамислива је без ретких, тзв. критичних минерала. Од почетка XXI века просечно трајање електронских уређаја драстично је смањено, а сами уређаји су постали све компликованији и састављени од огромног броја хемијских елемената. Савремени мобилни телефони, рачунари и таблети могу садржати и до 60 различитих хемијских елемената, у различитим односима и једињењима.¹¹ У периоду од 2000. до 2010. године рок трајања тзв. велике електричне опреме смањен је са просечно

⁶ Castillo-Díaz, F. J. et al., *Challenges and Perspectives of the Circular Economy in the European Union: A Comparative Analysis of the Member States*, Ecological Economics, no. 224, 2024, стр. 1. Agovino, M. et al., *European Waste Management Regulations and the Transition Towards Circular Economy. A Shift-And-Share Analysis*, Journal of Environmental Management, no. 354/2024, стр. 3.

⁷ Castillo-Díaz, F. J. et al., *нав. чланак*, стр. 1.

⁸ García-Velasco Garzas, M., Ruiz-Fuentsanta, M., *Analysing The Expansion of the Circular Economy in the European Union: How Important is the Regional Context?*, Ecological Economics, no. 231/2025, стр. 1.

⁹ Agovino, M. et al., *нав. чланак*, стр. 1.

¹⁰ The global E-waste Monitor 2024 – Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling: UN, <https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/> датум приступа 28. октобар 2025.

¹¹ Işıldar, A. et al., *Electronic Waste as a Secondary Source of Critical Metals: Management and Recovery Technologies*, Resources, Conservation & Recycling, 2017, стр. 4.

осам на две године. Код мобилних телефона, уместо четири године, просечан животни век уређаја смањен је на девет месеци.¹² Самим тим, електронски отпад се наметнуо као важан „рудник“ ретких метала, а рециклажа као начин да се обезбеди колико-толико сигурно снабдевање овим елементима.

Термин „урбано рударење“ појавио се у научној литератури средином осамдесетих година XX века, а односи се на повраћај вредних сировина из отпада насталог у урбаним срединама, где је највреднија категорија електронски отпад.¹³ Неке сировине попут ванадијума, кобалта, волфрама и антимона имају високу стопу исплативости рециклаже.¹⁴ Друге имају добру укупну стопу рециклаже у уређајима на крају животног века. Илустративан пример је платина, код које се чак 95% укупне количине у одбаченим уређајима може поново искористити након рециклаже.¹⁵ Поред тога, количина струје и воде која се троши за екстраховање метала из отпада је 7-75 пута мања него код екстраховања из руда.¹⁶ Према неким проценама, вредност метала који се годишње могу рециклирати из електронског отпада на глобалном нивоу је око 100.000.000.000 америчких долара.¹⁷

Критично важни и ретки метали имају велики технички и економски потенцијал за рециклажу. Ипак, циркуларна економија у овој области привреде у Европској унији није заживела жељеним капацитетом. Стопа рециклаже за поједине критично важне метале је и даље ниска из више разлога. На првом месту, технологија сортирања и рециклаже¹⁸ електронског отпада за сада није доступна по конкурентним ценама. Поред тога, битан фактор је и то што потражња за критичним металима расте у бројним привредним секторима, а количине добијене рециклажом то не могу да подмире.¹⁹ Према подацима које износи *OECD*, рециклажа је тренутно ограничена на материјале који обезбеђују

¹² Исто, стр. 1

¹³ Serpe, A. et al., *нав. чланак*, стр. 1039.

¹⁴ European Commission, *Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy*, Brussels, 2018, стр. 11.

¹⁵ Исто.

¹⁶ Исто.

¹⁷ Serpe, A. et al., *нав. чланак*, стр. 1041.

¹⁸ Тренутно најбоља доступна технологија (*best available technology – BAT*) рециклаже електронског отпада је топљење. Међутим, ако имамо у виду да се, нпр, штампане плоче састоје од мешавине пластике и стаклених влакана на којима су ситне и сложене електронске компоненте, јасно је да топљење није оптимална метода рециклаже за овај отпад. Ипак, за сада не постоји друга метода која се може на исплатив начин користити у индустријским размерама. Коришћење хидрометалуршких и биохидрометалуршким метода могло би постићи бољу селективност при рециклажи, али су ове методе скопчане са већим трошковима. Işildar, A. et al., *нав. чланак*, стр. 9, 14.

¹⁹ European Commission, *Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy*, Brussels, 2018, стр. 10.

довољан поврат из рециклаже, у смислу количине и концентрације сировина у испорученом отпаду.²⁰

Најзаступљеније врсте уређаја у електронском отпаду су соларни панели, телевизори, десктоп и лаптоп рачунари, таблети, мобилни телефони, хард дискови и штампане плоче. Када се говори о соларним панелима, већина панела који се данас рециклирају су инсталирани током последње деценије XX века. Трошак њихове рециклаже превазилази вредност сировина које се могу извући из њих.²¹ Што се тиче телевизора и различитих врста монитора и екрана, најлакше се рециклирају катодни екрани, међутим они се више не производе. У LCD и LED екранима има галијума, германијума и других ретких метала, због чега њихово рециклирање није нерентабилно.²² Таблети и мобилни телефони имају највећу концентрацију ретких метала по килограму масе, али су због компактнoг дизајна тешки за растављање и рециклажу, а технике рециклаже још увек нису прилагођене преради оваквих уређаја.²³ Код мобилних телефона и таблета тренутно најједноставнији делови за рециклажу су литијум-јонске батерије. Ипак, већина прихода од рециклаже мобилних телефона долази од злата, паладијума, платине и других метала.²⁴ Штампане плоче су саставни део готово сваког савременог уређаја, па чак и веш-машина, шпорета и других. Међутим, само се мањи део штампаних плоча рециклира. Тренутно расположиве технологије рециклаже су у стању да опораве само 30-35% присутних метала, док преостали материјали (међу којима и многи ретки метали) и целокупна неметална фракција (првенствено пластика) остају нерестилиране и завршавају на депонијама.²⁵ Упркос ниској искористивости метала, рециклажа штампаних плоча може донети до 21.200 америчких долара по тони, док удео злата износи око 15.200 долара по тони.²⁶ Код хард дискова најчешће је исплатива само рециклажа магнетног дела, док остатак, што је већи део, није рентабилно рециклирати.²⁷

Када су земље у развоју у питању, тешко је доћи до прецизних података о производњи и рециклажи електронског отпада. Недостатак званичних путева рециклаже електронског отпада отвара врата тзв. „неформалном“ сектору

²⁰ То су за сада углавном гвожђе, челик, хром, бакар, калај. У електронском отпаду је значајан удео и злата. OECD, *Global Material Resources Outlook to 2060, Economic Drivers and Environmental Consequences*, Paris, 2019, стр. 144.

²¹ Cucchiella, F. et al., *Recycling of WEEE: An Economic Assessment of Present and Future E-Waste Streams*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 51/2015, стр. 264.

²² Исто, стр. 265.

²³ Поред тога, због малих димензија, људи старе и покварене таблете и мобилне телефоне често чувају код куће, уместо да их предају на рециклажу. Исто, стр. 265.

²⁴ Исто, стр. 268.

²⁵ Исто, стр. 264.

²⁶ Исто, стр. 268.

²⁷ Исто, стр. 264.

рециклаже, који је слабо или нимало документован.²⁸ Велики проблем представља и транспорт електронског отпада из развијених у неразвијене земље у виду хуманитарне помоћи и половних производа. Према подацима које износе А. Серпе (A. Serpe) и сарадници, око 80% електронског отпада произведеног у свету нађе пут ка неразвијеним земљама попут Индије, Пакистана, Филипина, Малезије, Нигерије и Гане.²⁹ Град Гуију у покрајини Гуангдонг у Кини познат је као „светска престоница електронског отпада“. У овом граду послује преко 300 компанија и радионица где се обављају неформалне активности рециклаже електронског отпада. Неретко су радници у овим радионицама жене и деца.³⁰ Недостатак контролисаних постројења за прераду електронског отпада значи да се непознат, али велики удео овог отпада рециклира у импровизованим „уради сам“ постројењима.³¹ Имајући у виду да електронски отпад чине врло сложени уређаји који у себи садрже велики број хемијских елемената и различите врсте пластике, јасно је да ово неформално рециклирање представља потенцијалну опасност за животну средину и здравље самих људи који рециклирање обављају.³²

Стопа производње, али и рециклаже електронског отпада директно је повезана са економском развијеношћу земље.³³ Примера ради, Румунија има другу најнижу стопу употребе циркуларних материјала у Европској унији.³⁴ С друге стране, Немачка је тренутно лидер у Европској унији када је у питању примена циркуларне економије у пракси. Прате је Италија и Белгија.³⁵

3. Регулаторни оквир као подстицај рециклажи сировина

У циљу регулисања и поспешивања циркуларне економије, Европска унија и Уједињене нације донеле су већи број аката посвећених рециклажи електронског отпада и смањењу његовог утицаја на животну средину.

²⁸ Işıldar, A. et al., *нав. чланак*, стр. 1

²⁹ Serpe, A. et al., *нав. чланак*, стр. 1044.

³⁰ Rucevska, I. et al., *Waste Crime – Waste Risks: Gaps in Meeting the Global Waste Challenge*, A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, Nairobi, Arendal, 2015, стр. 37.

³¹ У Гани је овакав неформални рециклажни сектор битан део привреде. Приликом рециклаже користе се примитивне методе растављања и топљења у неадекватним постројењима, са великим уделом мануелног рада. Константна изложеност отровним течностима и испарењима из оваквих рециклажних процеса представљају велику опасност за здравље радника. Serpe, A. et al., *нав. чланак*, стр. 1044, 1045.

³² Cucchiella, F. et al., *нав. чланак*, стр. 264.

³³ Işıldar, A. et al., *нав. чланак*, стр. 1

³⁴ Chepeliev, M. et al., *Circular Economy Transition in Europe Requires Ambitious Policies Beyond*

Climate Mitigation, Resources, Conservation & Recycling, no. 225/2025, стр. 2.

³⁵ Castillo-Díaz, F. J. et al., *нав. чланак*, стр. 1.

„Циљеви одрживог развоја“ (*Sustainable Development Goals*) су акт који су донеле Уједињене нације 2015. године као „универзални позив на заједничку акцију у циљу искорењивања сиромаштва, заштите планете и обезбеђивања мира и просперитета за све људе – најкасније до 2030. године“.³⁶ Овај документ даје „кровни оквир за друштвену транзицију ка одрживости“.³⁷ Многобројне појединачне државе такође су донеле законе на ову тему. Без обзира на конкретну садржину закона, генерални циљ ове легислативне активности јесте да се регулише руковање електронским отпадом на крају животног века уређаја, реформулишу рестриктивне дефиниције отпада које спречавају рециклирање и поновну употребу материјала и компоненти, као и да се елиминишу све врсте субвенција за фосилна горива и новостворене материјале уопште.³⁸

Европска комисија је 2019. године донела и значајан акт познат као „Европски зелени договор“ (*The European Green Deal*), којим је прокламована идеја да се економија Европске уније „озелени“, односно да се ресурси ефикасно користе како би се до 2050. године Европска унија претворила у економски систем који не емитује гасове стаклене баште.³⁹ Када је реч о електронском отпаду, овај акт предвиђа „охрабривање“ произвођача електронске и електричне опреме да своје производе дизајнирају на начин који омогућава дужи век трајања и лакшу поправку. „Европски зелени договор“ такође на врло уопштен начин предлаже да се смањи „планирана застарелост“ (*planned obsolescence*), нарочито електронских уређаја.⁴⁰

Конкретнији кораци ка увођењу циркуларне економије у Европској унији начињени су доношењем Акционих планова за циркуларну економију (*Circular Economy Action Plan - CEAP*) 2015. и 2020. године. Акциони план из 2015. године истиче да је велики број критичних сировина (*critical raw materials – CRM*) заробљен у електронском отпаду и да је неопходно побољшати технологију рециклирања како би се повећала количина ових важних материјала који се могу поново употребљавати након рециклаже.⁴¹ Акциони план из 2015. године такође као проблеме у повећању циркуларности економије када је електронски отпад у питању истиче слабу размену информација између произвођача и рециклажера електронског отпада, одсуство стандарда рециклаже и недостатак јасних и недвосмислених података о економском потенцијалу рециклираних критичних сировина.⁴² У циљу

³⁶ Циљеви одрживог развоја, <https://www.undp.org/sr/serbia/ciljevi-odr%C5%BEivog-gazvoja> датум приступа 29. октобар 2025. г.

³⁷ Hartley, K. et al., *A Policy Framework for the Circular Economy: Lessons from the EU*, Journal of Cleaner Production, no. 41/ 2023, стр. 2

³⁸ Исто.

³⁹ The European Green Deal, Brussels, 2019, стр. 2.

⁴⁰ The European Green Deal, Brussels, 2019, стр. 8.

⁴¹ Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy, Brussels, 2015, стр. 16.

⁴² Исто.

поспешивања рециклаже електронског отпада, Акциони план уводи појам еко-дизајна. Фокус еко-дизајна треба да буде да се електронски производи дизајнирају на начин који омогућава већу трајност и лакше поправљање, надограђивање и рециклажу.⁴³ Године 2020. донет је нови Акциони план за циркуларну економију, који је посветио још више пажње проблему континуираног раста електронског отпада. Нови акциони план изнео је податке да количина електронског отпада расте 2% сваке године.⁴⁴ С друге стране, у том тренутку процењено је да се на територији Европске уније рециклира мање од 40% електронског отпада.⁴⁵ Фокус новог Акционог плана био је етаблирање тзв. „права на поправку“. Наиме, Европска комисија је анкетама утврдила да потрошачи желе да наставе да користе своје старе уређаје докле год они имају задовољавајуће карактеристике. Право на поправку значи да се произвођачи обавезују да ће обезбедити доступност резервних делова за уређаје одређени број година чак и након престанка производње конкретног уређаја. То се односи и на софтвер за електронске уређаје.⁴⁶ Акциони план из 2020. године између осталих мера предвиђа и увођење универзалног модела пуњача за све електронске уређаје, пошто је уочено да незанемарљив део електронског отпада, 11.000 тона годишње,⁴⁷ представљају пуњачи који се праве посебно за различите категорије уређаја.⁴⁸ Поред тога, предвиђено је да се све више уређаја продаје без пуњача, како би се количина произведених и одбачених пуњача смањила.⁴⁹ Претпоставка је да корисници већ имају пуњаче од старих уређаја. Акционим плановима из 2015. и 2020. године Европска унија је показала посвећеност да буде светски лидер када је транзиција ка циркуларној економији у питању.⁵⁰

⁴³ Исто, стр. 4.

⁴⁴ A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, Brussels, 2020, стр. 7.

⁴⁵ Исто.

⁴⁶ Исто.

⁴⁷ EU Common Charger Rules: Power All Your Devices with a Single Charger, https://commission.europa.eu/news-and-media/news/eu-common-charger-rules-power-all-your-devices-single-charger-2024-12-28_en датум приступа 30. октобар 2025.

⁴⁸ A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, стр. 7. С тим у вези, у другој половини 2024. године одјекнула је вест да ће, почев од 28. децембра 2024. године, сви мобилни телефони, таблети, звучници, слушалице, камере, тастатуре, конзоле за видео-игре, тастатуре, мишеви и преносиви системи за навигацију који се продају као нови уређаји на тржишту Европске уније морати да подржавају пуњење помоћу USB кабла типа Ц. Ово се односи и на производе фирме „Епл“, који су били познати по специфичним пуњачима. Од 28. априла 2026. године ово правило ће се примењивати и на лаптоп рачунаре. EU common charger rules: Power all your devices with a single charger, https://commission.europa.eu/news-and-media/news/eu-common-charger-rules-power-all-your-devices-single-charger-2024-12-28_en датум приступа 30. октобар 2025.

⁴⁹ A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, стр. 7.

⁵⁰ Adeyeni Afolabi, J., *нав. чланак*, стр. 1

Не сме се пренебрегнути ни значајна и детаљна Директива Европске уније о отпадној електричној и електронској опреми (*Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*), која је, поред већ познатог принципа „три Р“, предвидела обавезу произвођача електронске опреме да учествују у трошковима прикупљања, сортирања и рециклаже електронског отпада.⁵¹ Ради остварења циљева циркуларне економије и смањење опасности за животну средину, неопходно је побољшати сортирање комуналног отпада и издвајање електронског отпада из њега, што је лајт-мотив ове Директиве.

Као резултат ових правно-политичких аката, у Европској унији је 2021. године 16 држава-чланица премашило стопу прикупљања електронског отпада од 45%, а четири су премашиле 60%.⁵² Ипак, то и даље не значи да је целокупна прикупљена количина отпада такође и рециклирана.

4. Закључак

Тренутни економски модел „узми – направи – одбаци“ (*take-make-dispose*) линеарне економије је све очигледније неодржив. Екстракција нових сировина је скопчана са великим трошковима, девастацијом животне средине и исцрпљивањем минералних ресурса. Као одговор на ове проблеме, седамдесетих година XX века почиње да се говори о циркуларној економији. Овај економски модел подразумева смањење потрошње природних ресурса, поновну употребу већ произведених добара када и докле год је то могуће, а на крају животног века конкретног производа, рециклажу како би се ослободило и поново увело у производни процес што више сировина из отпада. Циркуларна економија добија на замаху у читавом свету, а Европска унија предњачи у њеном увођењу. Ипак, нивои циркуларности економије се разликују од једне до друге земље чланице. Богатије и развијеније земље чланице, због већих улагања у еколошке иновације, имају боље показатеље циркуларности економије него мање развијене државе. Увођење циркуларне економије у Европској унији не иде увек глатко; скопчано је са разноврсним културним, тржишним, економским и регулаторним баријерама.

У оквиру дискурса о циркуларној економији, значајно место заузима питање рециклаже електронског отпада (*WEEE*). Све већа потражња за најразличитијим електронским уређајима доводи до убрзаних иновација у производњи, а то као последицу има скраћен радни век производа и претварање све већег броја уређаја у електронски отпад. Према подацима Уједињених нација и Европске уније, електронски отпад је тренутно најбрже растућа категорија отпада глобално. Европска унија је, ради хватања у коштац

⁵¹ Directive 2012/19/EU of The European Parliament and of The Council of 4 July 2012 On Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Official Journal of the European Union, 2012, чл. 6, 7, 23. Rucevska, I. *et al.*, *нав. чланак*, стр. 35.

⁵² Serpe, A. *et al.*, *нав. чланак*, стр. 1068.

са овим проблемом донела већи број аката који регулишу прикупљање, сортирање и рециклажу електронског отпада, као и практичне мере за смањење његовог генерисања. Једна од медијски најпропраћенијих било је увођења USB-C пуњача за новопродате електронске уређаје.

У светлу тренутних геополитичких прилика, „урбано рударење“, односно добијање ретких метала рециклирањем електронског отпада се намеће као важна тема од значаја за земље колективног запада. Будући да се велики део ретких метала рудари у Русији, Кини и Јужноафричкој Републици, очекивано је да западне земље желе да се ослободе привредне зависности од ових земаља. Стога се циркуларна економија третира не само као еколошко и економско, него и као *par excellence* политичко питање. Упркос значајним корацима начињеним ка повећању стопе рециклаже електронског отпада, стопа рециклаже је и даље испод 50%, а циљеви Европске комисије остаће непотпуно остварени и у наредним годинама.

*Milica Marinković. LL.M., Assistant
Faculty of Law, University of Kragujevac*

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF RECYCLING CRITICAL RAW MATERIALS FROM ELECTRONIC WASTE: LEGAL AND MARKET CHALLENGES IN THE EUROPEAN UNION

Summary

The increasing production and consumption of electrical and electronic equipment generate the fastest-growing waste stream in the European Union, while also leading to significant wastage of rare metals. This paper explores the economic potential and environmental imperative of recycling rare metals from electronic waste (e-waste). The research focuses on analyzing the European regulatory framework, including the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive and the Circular Economy Action Plan, and their role in fostering the development of a secondary raw materials market. Although there is a clear political vision, the economic model for recycling critical raw materials faces numerous challenges. The technological complexity of extraction, high logistics and processing costs, and insufficient incentives for eco-design that facilitates recycling represent significant barriers to creating a sustainable and competitive supply chain compared to primary extraction.

In conclusion, the paper emphasizes that achieving the EU's strategic goals regarding resource independence and the green transition requires more than simply advancing recycling technology. Coordinated measures are necessary, including strengthening producer responsibility, introducing fiscal incentives, and harmonizing standards at the Union level. Transforming e-waste into a strategic resource requires a comprehensive approach that combines regulatory certainty and market innovation.

Key words: critical raw materials, electronic waste, circular economy, EU regulations, urban mining.

Литература

- Adeyeni Afolabi, J., *Advancing the Circular Economy in Europe: The Role of Eco-Innovation, Economic Complexity, and Digitalization*, Technology in Society, no. 8//2025.
- Agovino, M. et al., *European Waste Management Regulations and the Transition Towards Circular Economy. A Shift-And-Share Analysis*, Journal of Environmental Management, no. 354/2024.
- Arbolino, R. et al., *Circular Economy Convergence Across European Union: Evidence on the Role Policy Diffusion and Domestic Mechanisms*, Socio-Economic Planning Sciences, no. 96/2024.
- Castillo-Díaz, F. J. et al., *Challenges and Perspectives of the Circular Economy in the European Union: A Comparative Analysis of the Member States*, Ecological Economics, no. 224/2024.
- Chepeliev, M. et al., *Circular Economy Transition in Europe Requires Ambitious Policies Beyond Climate Mitigation*, Resources, Conservation & Recycling, no. 225/2025.
- Cucchiella, F. et al., *Recycling of WEEE: An Economic Assessment of Present and Future E-Waste Streams*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 51/2015.
- García-Velasco Garzas, M., Ruiz-Fuentsanta, M., *Analysing The Expansion of the Circular Economy in the European Union: How Important is the Regional Context?*, Ecological Economics, no. 231/2025.
- Hartley, K. et al., *A Policy Framework for the Circular Economy: Lessons from the EU*, Journal of Cleaner Production, no. 412/2023.
- İşildar, A. et al., *Electronic Waste as a Secondary Source of Critical Metals: Management and Recovery Technologies*, Resources, Conservation & Recycling, 2017.
- Osiecka-Brzeska, K., Próchniak, J., Czerepko, J., *The Circular Economy Principles: A Theoretical and Definitional Exploration within the European Union Framework*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio H – Oeconomia, vol. 2, no. 59/2025.
- Popović, A., Radojević, V., *The Circular Economy – Principles, Strategies and Goals*, Economics of Sustainable Development, vol. 6, no. 1/2022.

- Rucevska, I. et al., *Waste Crime – Waste Risks: Gaps in Meeting the Global Waste Challenge*, A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, Nairobi, Arendal, 2015.
- Serpe, A. et al., *2002–2022: 20 Years of E-Waste Regulation in the European Union and the Worldwide Trends in Legislation and Innovation Technologies for a Circular Economy*, RSC Sustainability, no. 3/2025.
- A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, Brussels, 2020.
- Циљеви одрживог развоја, <https://www.undp.org/sr/serbia/ciljevi-odr%C5%BEivog-razvoja> датум приступа 29. октобар 2025.г.
- Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy, Brussels, 2015.
- Directive 2012/19/EU of The European Parliament and of The Council of 4 July 2012 On Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Official Journal of the European Union, 2012.
- Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, 2013. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/27265af68f11ef30/original/Towards-the-circular-economy-Vol-1.pdf> датум приступа 28. октобар 2025.
- EU Common Charger Rules: Power All Your Devices with a Single Charger, https://commission.europa.eu/news-and-media/news/eu-common-charger-rules-power-all-your-devices-single-charger-2024-12-28_en датум приступа 30. октобар 2025.
- European Commission, *Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy*, Brussels, 2018.
- OECD, *Global Material Resources Outlook to 2060, Economic Drivers and Environmental Consequences*, Paris, 2019.
- The Global E-waste Monitor 2024 – Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling: UN, <https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/> датум приступа 28. октобар 2025.
- The European Green Deal, Brussels, 2019.