



Vpeljava kvantitativnega večnivojskega spremljanja prehoda v krožno gospodarstvo

Zaključno poročilo CRP V2-2279

Maribor, oktober 2024



Zaključno poročilo CRP V2-2279

Vpeljava kvantitativnega večnivojskega spremljanja prehoda v krožno gospodarstvo

Šifra projekta:	V2-2279
Naslov projekta:	Vpeljava kvantitativnega večnivojskega spremljanja prehoda v krožno gospodarstvo
Trajanje projekta:	1. 10. 2022 - 30. 9. 2024
Nosilna raziskovalna organizacija:	Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
Sodelujoča raziskovalna organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Vodja projekta:	dr. Zorka Novak Pintarič
Avtorji:	dr. Zorka Novak Pintarič, Jan Drofenik, dr. Tine Seljak, Tinkara Ošlovnik

Projekt sta financirala Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo ter Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenija v okviru Ciljnega raziskovalnega programa 2022



Kazalo

Kazalo	1
Zahvala.....	3
Povzetek.....	4
Abstract	5
Seznam tabel.....	6
Seznam slik	6
Uporabljene kratice	8
Spletna stran projekta	8
1 Uvod	9
1.1 Opredelitev problema	9
1.2 Cilji	10
1.3 Zastavljene hipoteze	10
2 Sistemi za spremljanje krožnosti	11
2.1 Okvir EU za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo	11
2.1.1 Smernice EU.....	11
2.1.2 Metodologija EU za spremljanje krožnosti	12
2.2 Sistemi mednarodnih organizacij	15
2.2.1 Poročila CGR.....	15
2.2.2 Fundacija Ellen MacArthur	17
2.2.3 OECD	17
2.3 Komercialni in akademski sistemi	18
3 Razvoj integrirane, večnivojske metodologije za spremljanje krožnosti	20
3.1 Izrazoslovje	21
3.2 Izbrane kategorije	21
3.2.1 Kategorija voda	21
3.2.2 Kategorija energija	22
3.2.3 Kategorija emisije	22
3.2.4 Kategorija odpadki	22
3.2.5 Kategorija materiali	22
3.2.6 Kategorija organizacija	23
3.3 Vhodni podatki	24
3.3.1 Podatki makro nivoja (država).....	24
3.3.2 Podatki mezo nivoja (statistična regija ali sektor)	25
3.3.3 Podatki mikro nivoja (podjetje)	26
3.4 Kazalniki in njihova normalizacija	27
3.4.1 Kazalniki makro nivoja (država).....	27
3.4.2 Kazalniki mezo nivoja (primer za kmetijski sektor)	29
3.4.3 Kazalniki mikro nivoja (podjetje)	30
3.5 Izračun podindeksov kategorij.....	31
3.6 Izračun skupnega indeksa krožnosti	31
4 Študijski primer za makro nivo - Slovenija.....	32
4.1 Ocena krožnosti za Slovenijo.....	32
4.2 Analiza občutljivosti.....	33
4.3 Ocena krožnosti za scenarije NEPN.....	34
5 Študijski primer za mikro nivo – izbrano podjetje	39
5.1 Ocena krožnosti podjetja	39



5.2	Predlagani energetske ukrepi za izboljšanje krožnosti podjetja	40
5.2.1	Vpliv ukrepov na krožnost podjetja	41
5.2.2	Tehno-ekonomska analiza ukrepov	41
6	Študijski primer za mezo nivo – kmetijski sektor	44
7	Kalkulator za oceno krožnosti	46
7.1	Delovanje spletnih kalkulatorjev krožnosti	48
7.1.1	Podatki o entiteti in naslovna vrstica	48
7.1.2	Tabele za vnos podatkov	49
7.1.3	Tabele za izračun kazalnikov, njihovih normiranih vrednosti in vizualizacija	50
8	Diskusija in priporočila	52
9	Zaključek	54
10	Literatura	55
11	Seznam publikacij, ki so nastale v okviru projekta	59



Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Ministrstvu za okolje, podnebje in energijo ter Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za financiranje ciljnega projekta V2-2279.

Posebej se zahvaljujemo vsebinski spremljevalki ge. Jasmini Karba za usmerjanje, nasvete in podporo pri izvajanju projekta.

Zahvaljujemo se strokovnjakom SURS, ARSO in MOPE za informacije o statističnem spremljanju podatkov, ki smo jih potrebovali v študiji.



Povzetek

V okviru projekta V2-2279 je bil izdelan koncept za vpeljavo kvantitativnega, večnivojskega spremljanja prehoda v krožno gospodarstvo, ki omogoča usklajeno spremljanje krožnosti na nivoju podjetij, gospodarskih sektorjev, regij in države. Koncept spremlja krožnost na področjih vode, energije, materialov, emisij in odpadkov. Na vseh nivojih se uporabljajo primerljive skupine podatkov, ki se na enak način preračunavajo v kazalnike, na enak način normirajo v brezdimenzijska števila in združujejo v indekse krožnosti, ki so izraženi na isti merilni lestvici. To omogoča primerljivost rezultatov na mikro, mezo in makro nivoju.

Na osnovi koncepta je bila razvita integrirana metodologija, ki temelji na pristopu »od zgoraj navzdol«. Na makro nivoju države se preveri stanje krožnosti v glavnih kategorijah, s čemer se določijo kritična področja, ki izkazujejo najnižje stopnje krožnosti in tista, ki lahko največ prispevajo k dvigu stopnje krožnosti države. Na tej osnovi se oblikujejo strategije in konkretni ukrepi za implementacijo krožnih projektov na mikro nivoju, to je v gospodarstvu. Preliminarne tehnno-ekonomske analize nakažejo tehnološko in ekonomsko izvedljivost predlaganih projektov. Povezovanje ciljev na makro ravni in ukrepov na mikro ravni omogoča oblikovanje kohezivne strategije za napredek krožnega gospodarstva. Metodologija tako vladam držav kot podjetjem omogoča, da kvantitativno ocenijo učinke svojih strategij in ukrepov, kar omogoča merljiv in usklajen napredek v smeri krožnega gospodarstva.

Uporaba metodologije na ravni države Slovenije kaže, da je vrednost skupnega indeksa krožnosti v zadnjih petih letih malo nad 50 točkami na lestvici od 0 do 100, kjer 0 predstavlja povsem linearno in 100 povsem krožno gospodarstvo. Ugodna situacija je na področju vode in odpadkov, kjer sta podindeksa okoli 70 točk, manj ugodno je stanje na področju energije in emisij, kjer so stopnje krožnosti okoli 40 točk. Najslabša situacija je pri rabi materialov, kjer je podindeks krožnosti okoli 30 točk. Analiza občutljivosti je pokazala, da imajo največji vpliv na krožnost kazalniki v kategorijah energija in emisije, zato je bil analiziran vpliv scenarijev iz Nacionalnega energetskega in podnebne načrta (NEPN) na stopnjo krožnosti. Scenarij ukrepov s poudarkom na obnovljivih virih (DU-OVE v NEPN) bi povišal skupni indeks krožnosti v Sloveniji s sedanjih 51,8 na 62,9 točk, scenarij s poudarkom na jedrski energiji (DU-JE v NEPN) pa na 61,2 točk.

Za študijski primer na mikro ravni je bilo izbrano podjetje s skupnim indeksom krožnosti malo pod 40 točkami. Na podlagi rezultatov analize krožnosti na nacionalni ravni ter v skladu s strategijami in scenariji NEPN so bili za podjetje oblikovani ukrepi, ki vključujejo naložbe v izboljšanje energetske učinkovitosti in proizvodnjo električne energije v velikih sončnih elektrarnah z baterijami za shranjevanje energije. Ugotovljeno je bilo, da bi se indeks krožnosti podjetja s temi ukrepi zvišal z 38,3 na 52,4 točk, emisije toplogrednih plinov bi se znižale na 41 % sedanje vrednosti. Ocenjeno je, da bi bila vrednost investicije v zmogljivosti za proizvodnjo nizkoogljivne energije, potrebne za dvig skupnega indeksa krožnosti za eno točko, reda velikosti 10 milijonov eurov.

Projekt V2-2279 je izpostavil potrebo po usklajenih ukrepih na vseh ravneh za doseganje večje stopnje krožnosti. Razvita metodologija omogoča kvantitativno sledenje napredku ter identificira ključna področja za prihodnje izboljšave. Za uspešno implementacijo priporočil je potrebna podpora na ravni politike in gospodarstva, zlasti pri spodbujanju zmanjševanja emisij, rabe obnovljivih virov energije, krožne uporabe materialov in zmanjševanja nastajanja odpadkov. S takšnim pristopom bi lahko Slovenija postala vzor v sistematičnem spremljanju krožnega gospodarstva in doslednem napredovanju k trajnostnemu razvoju.



Abstract

The V2-2279 project developed a framework for quantitative, multi-level monitoring of the transition to a circular economy, enabling coordinated tracking of circularity at the levels of companies, economic sectors, regions, and the country as a whole. This framework monitors circularity across the areas of water, energy, materials, emissions, and waste. Comparable data groups are used across all levels, converted into indicators in a consistent manner, normalized into dimensionless numbers, and aggregated into circularity indices expressed on a common measurement scale. This approach enables meaningful comparisons of results across the micro, meso, and macro levels.

Based on this framework, an integrated methodology was developed following a "top-down" approach. At the country's macro level, the circularity status is assessed across key categories to identify critical areas with a lower degree of circularity and those with the greatest potential for improving the national circularity. From these insights, strategies and concrete measures are formulated for implementing circular projects at the micro level, specifically within the economy. Preliminary techno-economic analyzes indicate the technological and economic feasibility of the proposed projects. Linking macro-level objectives with micro-level measures enables the development of a coherent strategy to advance the circular economy. This methodology allows both national governments and businesses to quantitatively assess the impact of their policies and actions, facilitating measurable and verifiable progress toward a circular economy.

Applying the methodology at the national level in Slovenia reveals that the overall circularity index over the past five years stands slightly above 50 points on a scale from 0 to 100, where 0 represents a fully linear economy and 100 represents a fully circular economy. The water and waste categories show favorable results, with sub-indices around 70 points. However, the results are less favorable in energy and emissions categories, where the circularity levels are around 40 points, and least favorable in material use, with a circular economy sub-index of around 30 points. The sensitivity analysis shows that the indicators in the energy and emissions categories have the greatest influence on the circularity. Consequently, the impact of scenarios from the National Energy and Climate Plan (NEPN) on circularity levels was analyzed. The scenario focusing on renewable resources (DU-OVE in the NEPN) would increase Slovenia's overall circularity index from the current 51.8 to 62.9 points, while the scenario focusing on nuclear energy (DU-JE in the NEPN) would increase it to 61.2 points.

A company with an overall circularity index of just under 40 points was chosen for the micro-level case study. Based on the results of the national circularity analysis and in line with the strategies and scenarios of the NEPN plan, measures were proposed for the company, including investments in improving energy efficiency and electricity generation through large solar power plants equipped with energy storage batteries. These measures are expected to increase the company's circularity index from 38.3 to 52.4 points and reduce greenhouse gas emissions to 41 % of the current level. The estimated investment in low-carbon energy generation required to increase the overall circularity index by one point is around €10 million.

The V2-2279 project shows that a coordinated approach at all levels is essential to achieve a higher level of circularity. The methodology developed enables quantitative tracking of progress and identifies key areas for future improvement. Successful implementation of the recommendations requires support at political and economic levels, particularly in promoting emission reduction, the use of renewable energy, the use of circular materials and waste reduction. With this approach, Slovenia could become a model for the systematic monitoring of the circular economy and consistent progress towards sustainable development.



Seznam tabel

Tabela 1: Delež materiala v kroženju (Eurostat koda podatkov: env_ac_cur) [18]	14
Tabela 2: Podatki za oceno krožnosti države	24
Tabela 3: Podatki za oceno krožnosti podjetja	26
Tabela 4: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti za makro nivo	28
Tabela 5: Enačbe za izračun podindeksov kategorij	31
Tabela 6: Podatki za tehno-ekonomsko analizo ukrepov v podjetju	42
Tabela 7: Rezultati tehno-ekonomske analize	42

Seznam slik

Slika 1: Shema sistemov za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo	11
Slika 2: Področja spremljanja krožnega gospodarstva za EU po Eurostatu [17]	13
Slika 3: Diagram masnih tokov za Slovenijo v letu 2022 po Eurostat [19]	15
Slika 4: Skupine materialov v različnih delih gospodarstva v poročilih CGR [21]	16
Slika 5: Konceptualni okvir za ocenjevanje krožnosti po OECD [24]	18
Slika 6: Koncept integriranega spremljanja in izboljševanja krožnih praks na makro in mikro nivoju	20
Slika 7: Podatki za izračun indeksa krožnosti kmetijstva	25
Slika 8: Zbiranje podatkov za mikro nivo po sektorjih	27
Slika 9: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti kmetijskega sektorja	29
Slika 10: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti podjetij	30
Slika 11: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti podjetja na monetarni način	31
Slika 12: Ocena stopnje krožnosti za državo Slovenijo	32
Slika 13: Analiza občutljivosti indeksa krožnosti Slovenije	33
Slika 14: Izbrani scenariji iz dokumenta NEPN	34
Slika 15: Ocena izboljšanja krožnosti za scenarij 1 (OU iz NEPN)	35
Slika 16: Ocena izboljšanja krožnosti za scenarij 2a (DU-OVE iz NEPN)	36
Slika 17: Ocena izboljšanja krožnosti za scenarij 2b (DU-JE iz NEPN)	37
Slika 18: Skupni indeks krožnosti za tri scenarije	38
Slika 19: Ocena stopnje krožnosti za podjetje	40
Slika 20: Dinamika sprejemanja ukrepov v podjetju	41
Slika 21: Vpliv predlaganih ukrepov na indeks in podindeksa krožnosti podjetja	41
Slika 22: Vpliv spremembe v investiciji in LCOE za fotovoltaike na neto sedanjo vrednost	43



Slika 23: Vrednosti indeksa krožnosti kmetijstva in podindeksov kategorij v posameznih scenarijih.....	45
Slika 24: Navodila za lastno uporabo kalkulatorja	46
Slika 25: Spletni kalkulator krožnosti za makro nivo - primer Slovenije	47
Slika 26: Podatki o entiteti	48
Slika 27: Naslovna vrstica kalkulatorja	49
Slika 28: Sklop tabel za vnos podatkov	49
Slika 29: Sklop tabel z izračuni vrednosti normiranih kazalnikov, podindeksov kategorij in skupnega indeksa krožnosti	50
Slika 30: Sklop tabel z vrednostmi kazalnikov	51
Slika 31: Graf za vizualizacijo rezultatov	51



Uporabljene kratice

CEAP	načrt za prehod v krožno gospodarstvo (ang. Circular Economy Action Plan)
CEMF	okvir za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo (ang. Circular Economy Monitoring Framework)
DU	dodatni ukrepi
FTE	ekvivalent polnega delovnega časa (ang. Full-Time Equivalent)
GRI	pobuda za globalno poročanje (ang. Global Reporting Initiative)
JE	jedrska energija
KG	krožno gospodarstvo
MCI	kazalnik krožnosti materiala (ang. Material Circularity Indicator)
NEPN	Nacionalni energetske in podnebne načrt
OECD	Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (ang. Organisation for Economic Cooperation and Development)
OU	obstoječi ukrepi
OVE	obnovljivi viri energije
TGP	toplogredni plini
UNECE	Ekonomska komisija Združenih narodov za Evropo (ang. the United Nations Economic Commission for Europe)

Spletna stran projekta

<https://www.fkkt.um.si/vpeljava-kvantitativnega-vecnivojskega-spremljanja-prehoda-v-krozno-gospodarstvo/>



1 Uvod

Število prebivalcev na Zemlji se je v zadnjem stoletju povečalo za štirikrat, tj. z dveh milijard v dvajsetih letih prejšnjega stoletja na približno osem milijard danes [1]. Rast je posledica izjemnega napredka v medicini, izboljšanja življenjskega standarda in obsežnega industrijskega razvoja. Hitra rast prebivalstva je povzročila tudi znatno povečanje porabe materialov in drugih virov. Poraba je v veliki meri še vedno linearna - po principu vzemi-uporabi-zavrzi. Snovni odtis na prebivalca, ki odraža količino virov, potrebnih za podporo povprečnega življenjskega sloga, presega zmogljivost enega planeta v večini razvitih držav [2], kar kaže, da trenutni vzorci potrošnje na dolgi rok niso trajnostni. Koncept krožnega gospodarstva (KG) je bil uveden z namenom spodbujanja trajnostnega ravnanja z viri in temelji na učinkoviti rabi surovin, podaljševanju življenjske dobe izdelkov ter spodbujanju ponovne uporabe in recikliranja materialov.

O KG se v zadnjih letih veliko razpravlja, vendar se v praksi še ni povsem uveljavilo [3]. Večina virov, ki jih uporablja gospodarstvo, je še vedno prvinskih, delež sekundarnih materialov pa se je v zadnjih petih letih na svetovni ravni celo zmanjšal z 9,1 % na 7,2 % [2]. Vzroke za razkorak med prepoznavanjem pomembnosti krožnega gospodarstva (KG) in pomanjkanjem njegove dejanske implementacije pripisujejo predvsem težavam pri prenosu teorije v prakso, kar je posledica tehničnih in ekonomskih ovir ter pomanjkanja ustreznega znanja in veščin [4].

Vodilna država na področju KG je Nizozemska, ki je leta 2020 uspela ponovno uporabiti 24,5 % sekundarnih materialov in obnovljivih virov [5]. V letih zatem dosega ta delež po podatkih Eurostata okoli 28 %. Nizozemska vlada si je zadala cilj, da do leta 2050 doseže 100 % stopnjo krožnosti [5]. Slovenija se po podatkih Eurostata giblje pri okoli 10 % rabi sekundarnih surovin.

Učinkovita raba materialov in drugih virov je osrednji cilj KG, vendar njegov vpliv presega področje materialov in virov. Vpliva namreč tudi na porabo energije, emisije toplogrednih plinov (TGP), porabo vode in celoten okoljski odtis. Z zmanjšanjem povpraševanja po prvinskih virih in spodbujanjem zaprtih zank lahko KG bistveno zmanjša tako porabo vode in energije kot tudi uporabo primarnih virov in toplogredne emisije [6]. S temi učinki je KG ključen dejavnik za izboljšanje odpornosti na podnebne spremembe in eden izmed ključnih pristopov za prehod v trajnostno družbo [7].

1.1 Opredelitev problema

Eden izmed problemov pri uveljavljanju in spremljanju napredka h krožnemu gospodarjenju z viri je, da ne obstaja standardizirana in splošno sprejeta metodologija za kvantitativno merjenje krožnosti. Organizacije na nivoju držav, regij, sektorjev, mest, podjetij se ukvarjajo z merjenjem krožnosti nepovezano in neusklajeno. Številni kazalniki, indikatorji in računska orodja za spremljanje KG so praviloma razviti za specifičen nivo: makro, mezo, mikro ali nano [8]. Makro nivo zajema države ali skupnosti več držav, mezo se običajno osredotoča na gospodarske sektorje znotraj države ali skupnosti držav, lahko pa tudi na mesta in statistične regije znotraj posamezne države. Mikro nivo se ukvarja s podjetji, nano pa s posameznimi produkti.

Povezave med nivoji in vplivi na druge nivoje pogosto niso jasno razvidni. Rezultati ocen krožnosti, dobljeni z različnimi razpoložljivimi orodji, so le malo primerljivi. Na ta način je težko vzpostaviti dobro osnovo za načrtovanje ukrepov in politik, s katerimi bi učinkovito usmerjali razvoj v smeri proti KG, saj se sistemski, večkriterijski in integriran pristop praktično ne uporablja. Težava pri merjenju prehoda v krožno gospodarstvo je, da ni povezave med sistemi za ocenjevanje posameznih nivojev, zaradi česar ni možno primerjati vpliva strategij in ukrepov na ravni države ali regije na krožnost posameznega podjetja in tudi obratno - vpliva krožnih investicij posameznega podjetja na makro nivo.



Zato je cilj tega projekta razvoj integrirane metodologije, ki omogoča spremljanje krožnega gospodarstva na ravni podjetij in države, ob tem pa uporablja podobne podatke in izračune ter izraža stopnjo krožnosti na isti lestvici. Cilj je uporaba že obstoječih zanesljivih podatkov iz podjetij ali uradnih baz, kot je Eurostat. Analiza na ravni države naj izpostavi kritična področja, ki so na nizki stopnji krožnosti in imajo velik vpliv na rast krožnosti. Na tej osnovi se oblikujejo politike s strategijami in konkretnimi ukrepi za izboljšanje krožnosti, ki se nato realizirajo v podjetjih, država pa lahko učinkoviteje usmerja in finančno podpira projekte za napredovanje h KG.

1.2 Cilji

Glavni cilj in teza CRP projekta V2-2279 je izdelati koncept in metodologijo, s katero je mogoče kvantitativno, večkriterijsko in večnivojsko spremljati prehod v KG na nivoju podjetij, gospodarskih sektorjev, statističnih regij in države. Za doseg tega cilja so definirani naslednji vmesni cilji:

- Pristop naj bo čim bolj harmoniziran z načrtom Evropske unije (EU) za prehod v KG.
- Uporabljeni naj bodo podatki, ki se po možnosti že zbirajo in so na voljo v zanesljivih, prosto dostopnih virih.
- Kazalci za makro, mezo in mikro nivo naj bodo definirani poenoteno, da je omogočeno povezovanje metrik med posameznimi nivoji.
- Razvije se prototip integrirane metodologije za merjenje krožnosti na različnih nivojih in prikaže študije primerov za vsak nivo. Namen te aktivnosti ni razvoj še ene metode v množici obstoječih orodij za spremljanje krožnosti, temveč ocena krožnosti na nivoju države Slovenije, identifikacija kritičnih področij ter oblikovanje ukrepov za implementacijo na mikro nivoju.
- Izdelajo se kalkulatorska orodja za analizo podatkov in vizualizacijo rezultatov.
- Izdelajo se pilotna tehno-ekonomska ocena implementacije ukrepa za izboljšanje krožnosti.

1.3 Zastavljene hipoteze

Na podlagi teze in ciljev projekta so bile postavljene naslednje hipoteze:

1. Obstaja veliko sistemov za spremljanje krožnosti na makro, mezo in mikro ravni, ki so praviloma namenjeni enemu nivoju, ne uporabljajo istih podatkov in dajejo različne rezultate.
2. V javno dostopnih virih, kot sta bazi SURS in Eurostat ter trajnostna poročila podjetij, je mogoče pridobiti dovolj kvalitetne podatke za oceno krožnosti držav, regij, gospodarskih sektorjev in podjetij.
3. Na osnovi izbrane izhodiščne metode je mogoče razviti usklajeno in povezano metodologijo za vse tri nivoje in jo preizkusiti na študijskih primerih.
4. Z razvito večnivojsko metodologijo je mogoče oceniti vpliv različnih aktivnosti in ukrepov, kot je npr. Nacionalni energetske in podnebni načrt (NEPN), na krožnost države in oblikovati načrte za učinkovito implementacijo projektov za rast stopnje krožnosti na ravni podjetij.

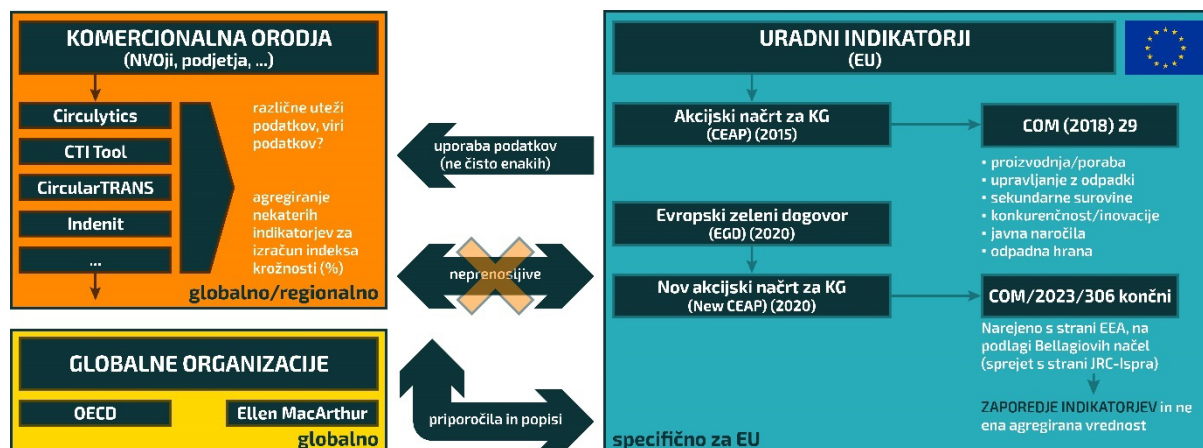


2 Sistemi za spremljanje krožnosti

Sistemi za spremljanje krožnosti so številni in raznoliki. Orodja, inventarije in kazalnike, ki so na voljo splošnim in profesionalnim uporabnikom in so relevantni za ocenjevanje oz. spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo, lahko razdelimo v tri ključne skupine (slika 1):

- Evropske smernice in formalno priznani indikatorji so edini uradni okvir, ki z robustno metodologijo in uradno zbranimi podatki omogočajo uspešnost oz. vpliv koordiniranih akcij na podlagi akcijskih načrtov. Indikatorji so enostopenjski, brez agregiranja in ekstrakcije indeksov.
- Neobvezujoča priporočila globalnih organizacij, ki predlagajo posamezne elemente kazalnikov ter njihov vpliv in fokusiranje na posamezna področja (npr. inventariji). Ista globalna podjetja lahko poleg svojih priporočil ponujajo tudi orodja za izračun stopnje krožnosti in se s tem deloma prekrivajo s kategorijo komercialnih in odprtih orodij.
- Komercialna in odprta orodja, ki so na voljo s strani različnih podjetij, inštitutov, raziskovalnih skupin, nevladnih organizacij, ter vključujejo metodologijo, tj. način izračuna ključnih kazalnikov za prehod v krožno gospodarstvo. Metodologije se med seboj razlikujejo, uporabljajo različne sete podatkov ter kot rezultat pogosto podajajo agregirane vrednosti, npr. indekse, procente ipd.

Vse tri skupine so predstavljene v nadaljevanju.



Slika 1: Shema sistemov za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo

2.1 Okvir EU za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo

Evropa je surovinsko in energetska ena najbolj omejenih celin, zato je krožno gospodarstvo za Evropsko unijo strateškega pomena, saj zmanjšuje rabo naravnih virov, v geo-političnem smislu pa omogoča predvsem zmanjšano surovinsko in energetska odvisnost od tretjih držav.

2.1.1 Smernice EU

Zaradi nujnosti racionalne rabe virov je bila EU ena prvih globalnih političnih organizacij, ki je leta 2015 formalizirala koncept krožnega gospodarstva v okviru prvega načrta za prehod v krožno gospodarstvo (ang. the first Circular Economy Action Plan (CEAP)) [9] in pričela z uvajanjem okvirja za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo (ang. Circular Economy Monitoring Framework, CEMF) [10]. Okvir vključuje 10 kazalnikov, razdeljenih v štiri kategorije: proizvodnja in potrošnja, ravnanje z odpadki, sekundarne surovine ter konkurenčnost in inovacije. Uporabljena metrika je načeloma enostopenjska, torej za spremljanje prehoda v krožno



gospodarstvo uporabi neposredne podatke, brez morebitnih dodatnih transformacij, uteževanja ali grupiranja.

V okviru Evropskega zelenega dogovora [11] in v skladu z zaključki prvega akcijskega načrta je Evropska komisija leta 2020 sprejela nov akcijski načrt za krožno gospodarstvo (CEAP) [12]. Ta načrt predvideva nadaljnji razvoj okvira za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo. Posodobljeni okvir CEMF [13] vključuje Bellagio načela [14] in uvaja peto dimenzijo globalne trajnosti in odpornosti. Dodani so bili novi kazalniki, kot so snovni odtis, produktivnost virov, odtis porabe, emisije TGP iz proizvodnih dejavnosti in odvisnost od uvoženih materialov. Evropski zakon o kritičnih surovinah [15] poudarja strateški pomen zagotavljanja ključnih surovin in njihove krožne uporabe.

2.1.2 Metodologija EU za spremljanje krožnosti

Sistem CEMF 2023 je v Evropski uniji edini formalni okvir za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo, ki je prenosljiv, transparenten in temelji izključno na uradnih podatkih. Podatke zbira statistični urad Evropske unije Eurostat, kjer so na voljo vrednosti podatkov in kazalnikov, pa tudi njihove definicije z enačbami in merskimi enotami ter kako in kje se zbirajo podatki. Eurostat [16] zbira podatke in pripravlja kazalnike KG v petih sklopih po posodobljenem sistemu CEMF [17]. Ti so prikazani na sliki 2:

- kazalniki proizvodnje in porabe kažejo napredek pri zmanjševanju količine odpadkov,
- kazalniki ravnanja z odpadki spremljajo delež odpadkov, ki se reciklirajo in vrnejo v proizvodni proces ter tako nadomestijo rabo primarnih surovin,
- kazalniki sekundarnih surovin kažejo, v kolikšni meri reciklirani materiali nadomestijo uporabo primarnih surovin, povečajo samozadostnost pri dobavi surovin ter zmanjšajo okoljski odtis proizvodnje in porabe,
- kazalniki konkurenčnosti in inovacij spremljajo vpliv napredka pri prehodu v krožno gospodarstvo na ustvarjanje novih delovnih mest in uvajanje inovativnih tehnologij,
- kazalniki globalne trajnosti in odpornosti spremljajo trajnostni razvoj in odpornost na globalne izzive, kot so podnebne spremembe, socialna neenakost in gospodarska odpornost, z namenom zagotavljanja dolgoročne blaginje.

Statistični podatki, ki jih zbira Eurostat, predstavljajo zanesljivo in obsežno bazo podatkov za Evropsko unijo, ki ji v veliki meri sledijo tudi nacionalne baze. Na voljo je veliko število različnih kazalnikov, ki se izražajo v različnih enotah na letni ravni, predvsem v deležih oz. odstotkih in v masnih enotah – bodisi za celotno državo bodisi na prebivalca. S tem omogoča konsistentno spremljanje posameznih ožjih področij, ki so pomembna za krožnost. Kazalnikov pa ne združuje, zato si je težje ustvariti širši, generalni vtis o napredovanju neke države proti krožnemu gospodarstvu.



Podatki v bazi EUROSTAT po sistemu CEMF

Kazalniki proizvodnje in porabe	Kazalniki ravnanja z odpadki	Kazalniki sekundarnih surovin	Kazalniki konkurenčnosti in inovacij	Kazalniki globalne trajnosti in odpornosti
Samozadostnost na področju surovin - pridobivanje ali predelava* (%)	Skupna stopnja recikliranja: - stopnja recikliranja komunalnih odpadkov (%), - stopnja recikliranja odpadkov, brez mineralnih (%)	Prispevek recikliranih materialov k pokrivanju povpraševanja po primarnih surovinah: - stopnja vnosa recikliranega materiala ob koncu življenjske dobe* (%) - po kovinah posebej, - delež uporabe materiala v kroženju (%)	Zasebne naložbe, delovna mesta in bruto dodana vrednost v izbranih sektorjih krožnega gospodarstva (sektor recikliranja, sektor popravil in ponovne uporabe in sektor najema): - bruto investicije v opredmetena osnovna sredstva (mio EUR) - bruto investicije v opredmetena osnovna sredstva (% BDP v tekočih cenah), - število oseb, ki delajo v izbranih sektorjih krožnega gospodarstva (število), - število oseb, ki delajo v izbranih sektorjih krožnega gospodarstva (% od celotne zaposlenosti), - dodana vrednost v stroških faktorjev (mio EUR) - dodana vrednost v stroških faktorjev (% BDP v tekočih cenah)	Odtis porabe Emisije TGP iz proizvodnje Odvisnost od uvoza surovin Samooskrba EU s surovinami
Surovinski odtis - kvantificira svetovno potrebo za predelavo surovin zaradi porabe in investicij s strani gospodinjstev, vlad in podjetij v EU (t/prebivalca)	Recikliranje/predelava posameznih tokov odpadkov: - stopnja recikliranja odpadne embalaže (%), - stopnja recikliranja odpadne plastične embalaže (%), - stopnja recikliranja odpadne lesene embalaže (%), - stopnja recikliranja odpadne kovinske embalaže (%), - stopnja recikliranja odpadne steklene embalaže (%), - stopnja recikliranja odpadne papirnate embalaže (%), - stopnja recikliranja e-odpadkov (%), - recikliranje biološko razgradljivih odpadkov (kg/prebivalca), - stopnja predelava gradbenih odpadkov (%)	Trgovanje s surovinami, ki jih je mogoče reciklirati: - uvoz iz držav zunaj EU (t ali mio EUR), - izvoz v države zunaj EU (t ali mio EUR), - uvoz iz držav članic EU (t ali mio EUR)	Število patentov, ki se nanašajo na recikliranje in sekundarne surovine* Število patentov na milijon prebivalcev, ki se nanašajo na recikliranje in sekundarne surovine*	
Snovna učinkovitost - BDP deljeno z domačo porabo materialov (EUR BDP/t)				
Nastajanje odpadkov: - komunalni odpadki (kg/preb), - odpadki, brez mineralnih, na enoto BDP (kg/1000 EUR 2010), - odpadki, brez mineralnih, na domačo porabo snovi (%), - odpadna embalaža (kg/prebivalca), - odpadna plastična embalaža (kg/prebivalca)				
Odpadna hrana (1000 t)				

Slika 2: Področja spremljanja krožnega gospodarstva za EU po Eurostatu [17]

Posebno pozornost v bazi Eurostat pritegne kazalnik delež porabe materiala v kroženju (angl. circular material use rate, CMU). Definiran je kot delež materiala, ki se predela in vrne v proizvodne procese oz. v gospodarstvo, s čemer se zmanjšuje pridobivanje primarnih surovin (enačbe 1, 2, 3):

$$CMU = \frac{U}{M} \quad (1)$$

$$U = RCV_R - IMP_W + EXP_W \quad (2)$$

$$M = DMC + U \quad (3)$$

kjer je:

- CMU delež porabljenih materialov v kroženju (-)
- U masa porabljenih materialov v kroženju (t)
- M masa vseh porabljenih materialov (t)
- RCV_R masa odpadkov, recikliranih v nacionalnih obratih za predelavo odpadkov; postopki predelave od R2 do R11 (t)
- IMP_W masa uvoženih odpadkov za recikliranje (t)
- EXP_W masa izvoženih odpadkov za recikliranje (t)
- DMC domača poraba materialov (t).

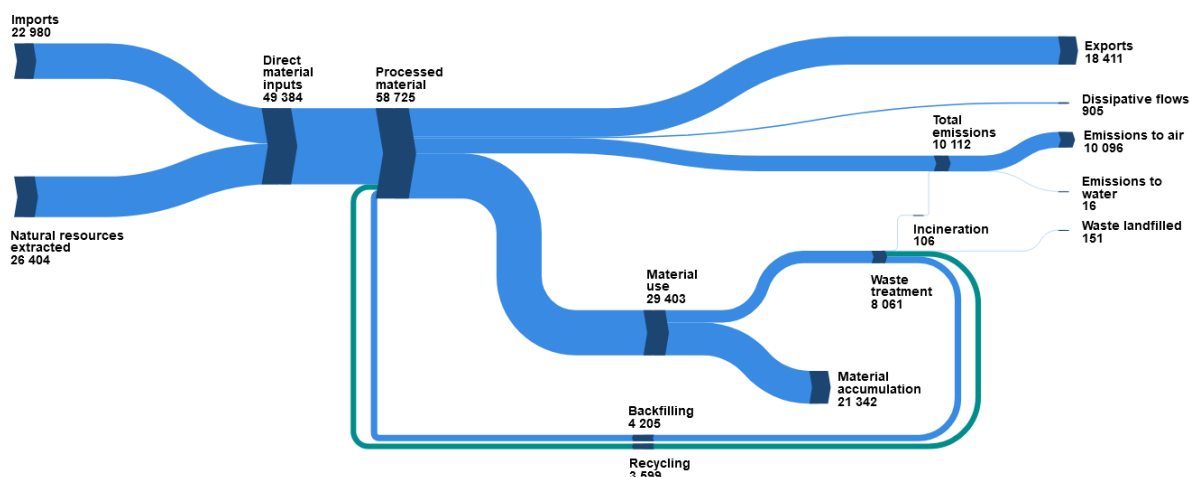


Po podatkih Eurostat je v EU delež materiala v kroženju za leto 2022 znašal 11,5 % in v Sloveniji 9,4 % (tabela 1). Podatki se nekoliko razlikujejo od izračunanih po SURS, ki za leto 2022 navaja vrednost v Sloveniji 10,0 %. Eurostat uporablja maso odpadkov na vhodu v obrate za predelavo odpadkov kot sprejemljiv približek za maso recikliranih odpadkov RCV_R ; torej ne uporablja dejanske mase predelanih odpadkov na izhodu iz teh obratov.

Tabela 1: Delež materiala v kroženju (Eurostat koda podatkov: env_ac_cur) [18]

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Evropska unija - 27 držav (od 2020)	11,4	11,5	11,6	11,3	11,6	11,4	11,5
Avstrija	12,0	12,1	11,9	11,6	11,5	12,8	13,8
Belgija	18,2	19,1	20,8	20,7	23,0	23,7	22,2
Bolgarija	4,4	3,5	2,5	4,1	5,9	4,8	4,8
Češka	7,5	9,1	10,4	10,5	11,5	11,4	11,9
Ciper	2,4	2,4	2,7	3,1	3,8	2,8	3,2
Danska	8,0	7,9	8,0	7,6	7,6	8,0	7,4
Estonija	12,1	12,7	13,9	15,4	16,5	15,9	16
Irska	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	1,9	1,8
Finska	3,8	4,4	4,4	4,5	4,4	1,6	0,6
Francija	19,3	18,7	19,5	18,1	18,7	18,7	19,3
Grčija	2,1	2,5	3,0	3,4	4,2	3,5	3,1
Hrvaška	4,6	5,1	5,0	5,3	5,5	5,7	5,8
Italija	17,8	18,4	18,8	18,8	20,6	19,0	18,7
Latvija	6,5	5,4	4,7	4,7	5,2	5,6	5,4
Litva	4,6	4,5	4,3	3,9	4,0	4,2	4,1
Luksemburg	7,0	10,4	10,7	9,0	9,6	4,1	5,2
Madžarska	6,4	6,8	7,0	5,6	5,2	7,3	7,9
Malta	4,2	6,6	8,3	12,8	16,5	12,8	15,1
Nemčija	11,8	11,7	12,1	12,5	12,9	12,7	13,0
Nizozemska	29,0	26,8	25,8	25,6	27,2	28,5	27,5
Poljska	10,6	10,4	10,5	9,2	7,3	9,1	8,4
Portugalska	2,1	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,6
Romunija	1,7	1,8	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4
Slovaška	5,3	5	4,9	8,4	10,4	8,2	9,1
Slovenija	8,7	9,8	10,0	10,2	9,9	10,1	9,4
Španija	8,2	8,8	8,9	9,0	9,2	6,9	7,1
Švedska	6,9	6,7	6,6	6,4	6,9	6,2	6,1

Eurostat omogoča tudi vizualizacijo snovnih tokov za EU in posamezne države članice v obliki Sankey-evih diagramov [19]. Primer za Slovenijo za leto 2022 prikazuje slika 3, možno pa je spremljati tudi dinamičen prikaz po letih od leta 2010 naprej.



Slika 3: Diagram masnih tokov za Slovenijo v letu 2022 po Eurostat [19]

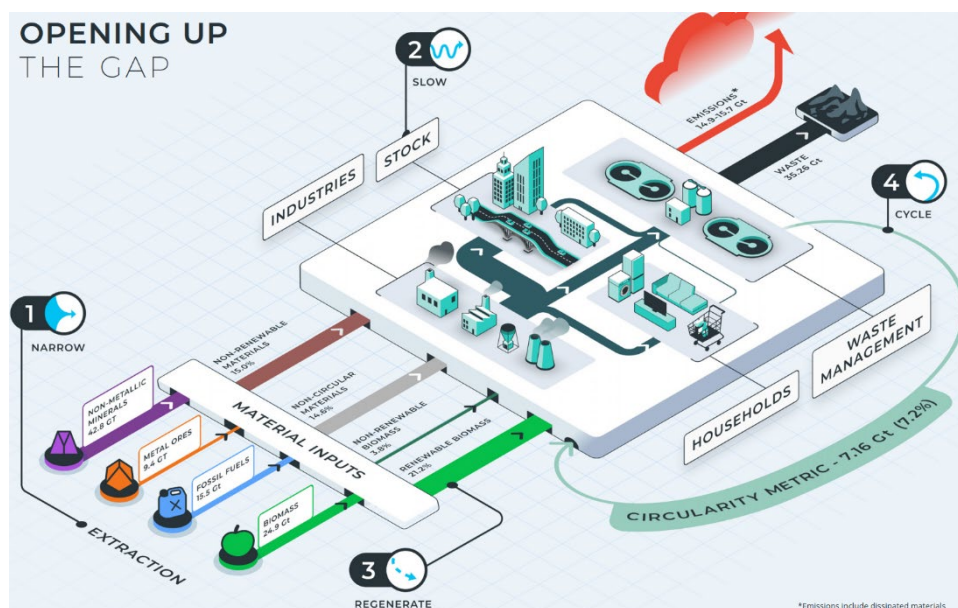
2.2 Sistemi mednarodnih organizacij

Od mednarodnih organizacij, ki se ukvarjajo z merjenjem napredka h KG, izpostavljamo poročila “Circularity Gap Report” (CGR), Fundacijo Ellen MacArthur in Organizacijo za gospodarsko sodelovanje in razvoj (OECD).

2.2.1 Poročila CGR

Poročila CGR pripravlja neprofitna organizacija Circle Economy, ki se financira iz različnih virov, kot so nepovratna sredstva, projekti, partnerstva, članstva, svetovalne storitve in sodelovanja z vladami, podjetji, človekoljubnimi organizacijami in mednarodnimi institucijami. Globalno poročilo za leto 2024 [2] je pripravljeno v sodelovanju s svetovalno družbo Deloitte. Poročilom CGR daje velik pomen tudi Evropska komisija. Osnovna metodologija, uporabljena v poročilih CGR, izvira iz članka Mayer in drugi [20] in prvenstveno obravnava ekstrakcijo in uporabo materialov ter tokove odpadkov. Pri tem uporablja uradne statistične baze in pristop izračunov snovnih tokov oz. masnih bilanc (angl. Economy-wide Material Flow Accounts). Poročila CGR so namenjena zlasti ocenam na ravni držav in globalno (makro nivo). Osnovni kazalnik krožnosti je delež sekundarnih materialov, ki se vračajo nazaj v globalno ali nacionalno gospodarstvo glede na maso vseh vhodnih materialov.

Globalna in nacionalna poročila CGR obravnavajo masne tokove materialov (rude, kovine, biomaso in fosilna goriva) skozi vse faze ekonomskega sistema (ekstrakcija, predelava, proizvodnja, uporaba, konec uporabne dobe) (slika 4). Biomasa vključuje vse, kar se pridobiva iz zemlje (pridelki za hrano, krmo, naravna vlakna, lesni izdelki) in predstavlja na globalni ravni 24,9 Gt/leto oz. 27 % mase ekstrahiranih materialov. Kovinske rude predstavljajo 9,4 Gt/leto oz. 10 % celotne mase materialov, nekovinske mineralne snovi pa 42,8 Gt/leto, kar predstavlja skoraj polovico celotne mase ekstrahiranih materialov. Fosilna goriva po svoji naravi niso krožna, saj povzročajo razpršene emisije v ozračju. Poraba fosilnih goriv v svetu znaša 15,5 Gt/leto. Vhodni materiali se nato združijo v 5 kategorij: neobnovljivi viri (15 %), nekrožni viri (14,6 %), neobnovljiva biomasa (3,8 %), ogljično nevtralna biomasa (21,2 %) in sekundarni viri (7,2 %). Poraba teh virov se razdeli med 4 porabnike: industrijo, gospodinjstva, ravnanje z odpadki in zaloge. Pod zaloge štejejo material, ki se uporablja za gradnjo stavb, infrastrukture in strojev in predstavlja 38 % celotnega vnosa materialov.



Slika 4: Skupine materialov v različnih delih gospodarstva v poročilih CGR [21]

Slika 4 prikazuje tudi štiri strategije, ki se uporabljajo v različnih stopnjah masne verige. »Narrow« označuje ozke strategije in s tem zmanjševanje ekstrakcije ter posledično uporabe materiala in energije. »Slow« označuje počasne strategije zlasti na ravni uporabe in s tem daljšanje uporabe materialov in njihovim trajnostnim oblikovanjem. »Regenerate« označuje postopno zamenjavo nevarnih in strupenih materialov z regenerativnimi viri biomase, pri čemer posnemamo naravne cikle. »Cycle« označuje ponovno uporabo in kroženje materialov z višjo vrednostjo ter s tem povečanje sekundarnih tokov.

Iz globalnih poročil CGR je razvidno, da se je v zadnjih petih letih delež sekundarnih materialov glede na vse vhodne materiale na svetovni ravni znižal z 9,1 % v letu 2018 na 7,2 % v letu 2023 [2]. Svetovna raba surovin je dosegla okoli 100 Gt, od tega je le 7,2 Gt sekundarnih materialov. Glavni razlogi za slabšanje indikatorja so, da se recikliranje sekundarnih surovin ne povečuje, ekstrakcija svežih surovin narašča, vse več materialov se uporablja za ceste, stavbe in druge trajnejše izdelke, kar pomeni, da niso na voljo za recikliranje v obdobju do enega leta. Zato je za prehod v krožno gospodarstvo nujno zmanjšati porabo primarnih surovin.

Poročila CGR se pripravljajo tudi za posamezne države. Glede na njih je Nizozemska država z najvišjo vrednostjo indikatorja krožnosti, ki znaša 24,5 % v poročilu iz leta 2022 [5]. Po tem poročilu je poraba materialov za potrebe v državi okoli 220 milijonov ton. Razmeroma nizka poraba surovin je posledica nizkega števila prebivalcev, ekološki odtis države je namreč visok in znaša 4,8 gha (globalne hektarje) na prebivalca. Globalni hektar predstavlja, koliko biološko produktivnega zemljišča je potrebno za zadovoljevanje potreb in absorpcijo emisij prebivalca glede na biokapaciteto Zemlje. Ocenjuje se, da ima naš planet trenutno zadostno biokapaciteto za vsakega prebivalca v obsegu 1,6 do 1,8 gha/leto.

V nadaljevanju poročilo izpostavi štiri ključne sektorje v državi Nizozemski, to so gradbeništvo, prehrana in kmetijstvo, goriva in energija ter proizvodnja, popravila in recikliranje. Za te štiri sektorje razvije scenarije, ki naj bi prispevali k izboljševanju indikatorja krožnosti. Na primer, na področju krožnega kmetijstva in prehranskega sistema predlaga: a) ustavitev uvoza in izvoza produktov živalskega izvora in krme ter spodbujanje regionalne in lokalne proizvodnje hrane; b) eliminacijo odpadne hrane in boljšo uporabo bioodpadkov v verigi, npr. za prehrano živali ali proizvodnjo bioosnovanih produktov in goriv. Poudarja se vloga digitalizacije in umetne



inteligence pri prepoznavanju odpadne hrane, kar omogoča sprejemanje učinkovitih ukrepov za njeno zmanjšanje. Za vsakega od ukrepov je ocenjen doprinos k izboljšanju indikatorja krožnosti.

Slovenija k izdelavi poročila CGR (še) ni pristopila. Raziskovalci projekta V2-2279 smo mnenja, da bi interdisciplinarni konzorcij domačih strokovnjakov v sodelovanju s Statističnim uradom in ministrstvu lahko izdelal podobno analizo stanja v Sloveniji, kot je prikazana v poročilih CGR za druge države.

2.2.2 Fundacija Ellen MacArthur

Eden prvih svetovno priznanih kazalnikov za spremljanje krožnosti je bil kazalnik krožnosti materiala (MCI, Material Circularity Index), ki ga je leta 2015 uvedla Fundacija Ellen MacArthur [22]. Kazalnik MCI je omogočal podjetjem, da so ocenila krožnost snovnih tokov v svojih proizvodnih procesih in je še vedno dostopen kot brezplačno Excel orodje. Na podlagi uspeha MCI je fundacija leta 2020 uvedla celovitejše okolje Circulytics, ki ne ocenjuje le snovnih tokov, ampak tudi organizacijske vidike, kot so poslovni modeli, strategije, inovacije in sodelovanje vodstva [23]. Vendar pa podjetja oz. organizacije od avgusta 2023 v okolje Circulytics ne morejo več predložiti novih podatkov za oceno krožnosti, saj fundacija na svoji spletni strani usmerja organizacije, da ocenijo svojo uspešnost pri prehodu v krožno gospodarstvo v skladu z evropskimi standardi poročanja o trajnostnem razvoju (ESRS).

Kljub temu velja omeniti, da so bili v orodju Circulytics upoštevani na eni strani t.i. spodbujevalci (angl. enablers) in na drugi strani izidi (angl. outcomes). Med spodbujevalce so šteli organizacijski vidiki, kot so strategije, inovacije, usposobljenost ljudi itd., med izide pa fizikalno merljivi parametri v skupinah produkti, materiali, voda, energija, finance itd. Na vsakem od omenjenih področij se je organizacija razvrstila v območje ocen od najboljše A (100 do 89) do najslabše E (11 do 0), prav tako pa se je izračunala tudi celokupna ocena za podjetje, ki predstavlja empirično oceno uspešnosti pri prehodu v krožno gospodarstvo.

2.2.3 OECD

Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (OECD) je kot zveza gospodarsko najmočnejših držav aktivna tudi pri prizadevanjih za prehod iz linearnega v krožno gospodarstvo, zlasti na ravni mest in regij. Pripravlja kontrolne sezname, s katerimi lahko mesta in regije ocenijo svoje potencialne za prehod v krožno gospodarstvo in oblikujejo ukrepe. Organizirajo številne okrogle mize po svetu, zbirajo pa tudi indikatorje za spremljanje krožnega gospodarstva.

Nedavno so izdali svoj okvir za spremljanje napredka proti učinkovitemu ravnanju z viri in krožnem gospodarstvu [24]. Okvir je zaenkrat na konceptualnem nivoju, pokriva vse dimenzije KG in celoten življenjski cikel materialov, produktov in storitev. Struktura sestoji iz štirih blokov: življenjski cikel materialov in vrednostne verige, interakcije z okoljem, odzivi in ukrepi, socialno-ekonomske priložnosti (slika 5).

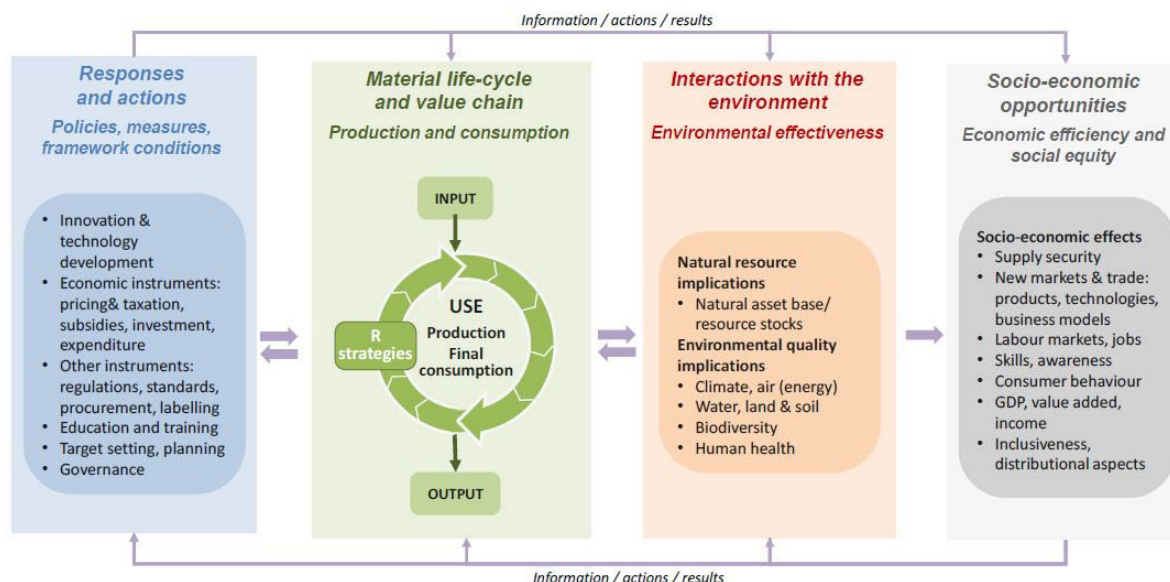
Znotraj blokov so posamezne teme in v vsaki temi predlagan nabor osnovnih kazalnikov. Ti niso obvezni, temveč so predlagani kot smernice, ki jih lahko države prilagodijo svojim potrebam in okoliščinam. Predlagani kazalniki so prilagojeni za nacionalni oz. makro nivo, čeprav navajajo, da se lahko prilagodijo tudi za uporabo na nivoju sektorjev, podjetij in produktov.

Gradivo omenja tudi agregiranje kazalnikov, saj agregirani indeksi poenostavijo kompleksne okoljske probleme in so uporabnejši za komunikacijo z javnostjo. Združevanje kazalnikov je opredeljeno kot »postopek dodajanja spremenljivk ali enot s podobnimi lastnostmi, da bi dobili eno samo število, ki predstavlja približno skupno vrednost posameznih komponent«.

Vendar pa uporaba takšnih 'kondenziranih' informacij oz. indeksov nosi tveganje za napačno interpretacijo zaradi morebitnih manjkajočih podatkov ali napačne predstave o metodologiji



indeksa. Postopek agregacije mora biti transparenten in temeljiti na določenih korakih, vključno z izbiro spremenljivk, njihovo transformacijo v skupno metriko, tehtanjem in vrednotenjem. Pomembno je, da so spremenljivke, ki se agregirajo, neodvisne in da vsak korak procesa temelji na sledljivih in jasnih merilih.



Slika 5: Konceptualni okvir za ocenjevanje krožnosti po OECD [24]

Na spletni strani ([povezava](#)) so dostopne študije za nekaj evropskih mest (Groningen, Umea, Glasgow, Valladolid, Granada, Tallinn) in državo Irsko. Poročila navajajo sektorje, ki so obetavni za krožne strategije, politična priporočila in ukrepe za mesta in države, ovire za njihovo implementacijo, zakonodajne ukrepe za pospeševanje prehoda ipd. Sistematičnega spremljanja najznačilnejših kazalnikov skozi čas in njihove agregacije na posameznih področjih ni zaslediti.

2.3 Komerčni in akademski sistemi

Poleg mednarodnih organizacij so veliko različnih sistemov za spremljanje krožnosti na makro in mikro nivoju razvili v komercialnih in akademskih organizacijah. Pregledni članek Valls-Val in drugi [25] podaja analizo 10 orodij, ki so bila razvita za spremljanje krožnosti. Primerjali so delež vprašanj, ki jih posamezno orodje namenja določenim vidikom trajnostnega razvoja, tj. okolju, družbi, ekonomiji in krožnosti. Ugotovljeno je, da vsa orodja dajejo največji poudarek prav vidikom krožnosti in zatem okoljskim vidikom. Ekonomski in družbeni vidiki so zastopani v manjšem obsegu. Analizirali so tudi skladnost posameznih orodij z Eurostatovimi indikatorji krožnega gospodarstva in ugotovili, da je največja stopnja ujemanja na področju nastajanja odpadkov, sledita zeleno javno naročanje in stopnja recikliranja.

De Pascale in drugi so analizirali 61 kazalnikov z vidika osnovnih principov KG in dimenzij trajnostnega razvoja in načelih 3R [26]. Avtorji opozarjajo na veliko število, razdrobljenost in prekrivanje kazalnikov ter metod vrednotenja, kar vodi v redundanco metrik, povzroča neskladja in nizko primerljivost rezultatov.

V projektu V2-2279 je bilo kot izhodišče uporabljeno orodje MICRON (MIcro CirculaR ecOnomy iNdex) [27], ki je namenjeno oceni krožnosti podjetij in temelji na standardu GRI. Izhaja iz raziskovalne skupine ameriške univerze Texas A&M University. Obravnava 4 sektorje podjetij: a) energija/odpadki/voda, b) proizvodnja, c) avtomobilska industrija in d) storitve. Napredek v



krožno gospodarstvo vrednoti v 7 kategorijah: poslovanje, odpadki, voda, energija, proizvodnja/embalaža, emisije TGP, izlitja/ izpusti.

Ocenjevanje poteka na treh nivojih. Najosnovnejši nivo so podatki, ki so izraženi v osnovnih merskih enotah, npr. t, m³, kJ, %. Naslednji nivo so kazalniki (indikatorji), ki so preračunani relativno oz. specifično glede na izbrano osnovo, npr. v % ali kg/t, kg/število, kg/FTE ipd. Kazalniki se normirajo tako, da vrednost 0 pomeni linearno ravnanje z viri, vrednost 1 pa krožno. Na tretjem nivoju se iz normiranih vrednosti kazalnikov z navadnim ali utežnim povprečjem izračuna podindeks posamezne kategorije, ti pa se nato z navadnim ali utežnim povprečjem preračunajo v skupni indeks krožnosti.

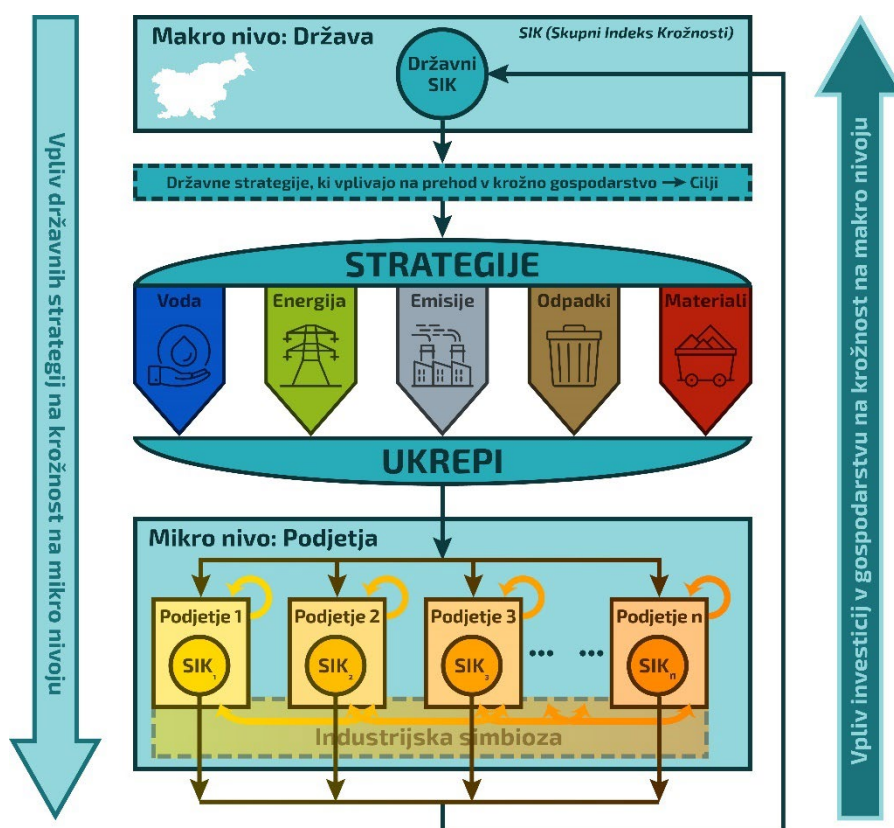
Na ta način metoda omogoča spremljanje krožnosti na različnih stopnjah podrobnosti: od podrobnega nivoja specifičnih parametrov, kot je npr. delež obnovljive energije, preko širših področij, kot je npr. stopnja krožnosti na področju energetike v podjetju, do skupnega indeksa krožnosti, ki združuje vsa področja in daje širši vtis o napredku podjetja proti krožnemu gospodarstvu.

Zaradi naštetega je bilo ob prijavi projekta V2-2279 ocenjeno, da bi lahko metodologijo MICRON nadgradili tudi za uporabo na makro in mezo nivoju, ter tako predlagali koncept, ki omogoča ne samo poenoteno spremljanje krožnosti na vseh nivojih, ampak daje tudi osnovo za oblikovanje politik, strategij in konkretnih ukrepov za izboljšanje napredka h KG.

3 Razvoj integrirane, večnivojske metodologije za spremljanje krožnosti

Metodologija za kvantitativno in večnivojsko spremljanje prehoda v KG je bila razvita na podlagi MICRON sistema, ki so ga Baratsas in drugi razvili za merjenje krožnosti na mikro nivoju, tj. za merjenje krožnosti podjetij [27]. V tem projektu je bila metodologija razširjena za uporabo na makro in mezo nivoju z namenom, da bi bilo spremljanje krožnosti usklajeno in povezano na vseh treh nivojih. Okvir spremljanja krožnosti v tem projektu je bil razvit na osnovi pristopa »od zgoraj navzdol«, ki spremlja napredek v KG s povezovanjem makro nivoja (država) in mikro nivoja (podjetja). Pri tem pristopu so prednostne naloge in ukrepi določeni usklajeno na nacionalni ravni, nato pa operativno izvedeni na ravni podjetij. To omogoča vladam, da učinkoviteje podpirajo projekte krožnega gospodarstva in pospešijo napredek proti krožnemu in trajnostnemu razvoju.

Slika 6 ponazarja konceptualni okvir, ki uporablja pristop od zgoraj navzdol za integrirano spremljanje in izboljševanje praks KG. Na makro nivoju se ključni podatki zbirajo iz baz, kot so Eurostat in SiStat, pri čemer se osredotočajo na ključne kategorije KG, vključno z vodo, energijo, materiali, emisijami in ravnanjem z odpadki. Izvede se analiza trenutnega stanja KG, skupaj z analizo občutljivosti, da bi se določila kritična področja za izboljšanje. Na teh identificiranih področjih se ocenjuje vpliv nacionalnih dolgoročnih politik in ukrepov na krožnost. Če se ugotovi, da so strategije in ukrepi na določenem področju nezadostni, se na podlagi vpogledov, pridobljenih iz analize na makro ravni, oblikujejo nove strategije.



Slika 6: Koncept integriranega spremljanja in izboljševanja krožnih praks na makro in mikro nivoju



Ciljana področja in ustrezne strategije se nato uporabijo na mikro ravni, pri čemer se za analizo krožnosti praviloma uporabijo podatki iz poročil o trajnostnem razvoju podjetij. Ta proces zagotavlja, da se cilji na makro ravni učinkovito uresničijo znotraj posameznih podjetij, kar spodbuja prehod k bolj krožnemu gospodarstvu.

3.1 Izrazoslovje

Izrazoslovje na področju spremljanja prehoda v KG je raznoliko, zato so v tem podpoglavju predstavljene definicije izrazov, uporabljenih v sklopu projekta.

Kategorija. Področje, na katerem se spremlja niz sorodnih podatkov, ki odražajo učinkovitost ravnanja z viri na tem področju, in preko katerega se ocenjuje prispevek kategorije k napredku države ali podjetja proti KG.

Podatki. Fizikalna količina, ki predstavlja porabo vira ali nastajanje materialnega toka, merjena na letni ravni v določeni merski enoti, npr. poraba vode (m^3/leto), poraba brezogljikne elektrike (GJ/leto), količina nevarnih odpadkov (t/leto) ipd.

Kazalnik (tudi indikator). Fizikalna količina izražena kot:

- delež/procent brez merske enote, npr. delež brezogljikne energije, ali
- fizikalna količina, deljena z maso izdelkov ali številom prebivalcev in ima dimenzijo (mersko enoto), npr. poraba vode na tono izdelka ali na prebivalca (m^3/t ali m^3/osebo), poraba energije na tono izdelka ali na prebivalca (GJ/t ali GJ/osebo).

Normirani kazalnik. Kazalnik, ki je na določen način pretvorjen v brezdimenzijsko vrednost med 0 in 100 točkami, kjer 0 predstavlja popolnoma linearno gospodarstvo in 100 točk popolnoma krožno gospodarstvo.

Podindeks krožnosti kategorije. Navadno ali utežno povprečje brezdimenzijskih, normaliziranih kazalnikov v določeni kategoriji.

Skupni indeks krožnosti. Navadno ali utežno povprečje podindeksov za vse upoštevane kategorije.

3.2 Izbrane kategorije

Izbira glavnih kategorij za države in podjetja temelji na področjih, obravnavanih v osnovni metodi MICRON, saj so ta usklajena s cilji in ključnimi značilnostmi krožnega gospodarstva ter zagotavljajo povezljivost in primerljivost med mikro, mezo in makro nivoji. Po potrebi se lahko nabor kategorij razširi. Vpliv izbranih kategorij na napredek krožnega gospodarstva je opisan v nadaljevanju.

3.2.1 Kategorija voda

Spodbujanje ponovne uporabe vode zmanjšuje črpanje sveže vode iz naravnih virov [28]. Uvajanje naprednih sistemov za čiščenje in ponovno uporabo vode dodatno prispeva k zmanjševanju črpanja vode, skladno z načeli KG o učinkoviti rabi virov in zmanjševanju odpadkov. Poleg tega KG spodbuja trajnostne prakse v kmetijstvu in industriji z namenom zmanjšanja emisij onesnaževal in ublažitve onesnaženja voda, kar podpira ohranjanje in trajnostno upravljanje vodnih virov [29]. Podnebne spremembe vplivajo na hidrološki cikel in povzročajo spremembe v vzorcih padavin, kar vodi do intenzivnejših sušnih obdobj in ekstremnih vremenskih dogodkov [30]. Zaradi naštetega je pomembno, da se področje (u)porabe vode obravnava pri spremljanju napredka h KG.



3.2.2 Kategorija energija

KG igra ključno vlogo pri razvoju in uvajanju trajnostnih energetskega sistemov, saj spodbuja uporabo obnovljivih virov energije, kot so sončna energija, veter, voda in biomasa, ki so trajnostni in nizkoogljivi [31]. Fosilna goriva na svetovni ravni namreč predstavljajo okoli 17 % vseh ekstrahiranih primarnih virov na leto [21]. Prehod s fosilnih na obnovljive vire je bistven tudi za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in blaženje podnebnih sprememb [32]. Uvajanje ukrepov za varčevanje z energijo v različnih sektorjih, vključno z industrijo, prometom in gospodinjstvi, je ključno za izboljšanje energetske učinkovitosti [33]. Spodbujanje uporabe energetske učinkovitih tehnologij in procesov, postavljanje standardov za varčevanje z energijo v stavbah, spodbujanje javnega prevoza ter zagovarjanje alternativnih načinov prevoza so nadaljnje strategije za zmanjšanje porabe energije in napredovanje k bolj trajnostni energetski prihodnosti. Naštete aktivnosti zmanjšujejo rabo neobnovljivih virov, kar pomembno prispeva k napredku v KG.

3.2.3 Kategorija emisije

KG igra ključno vlogo v boju proti podnebnim spremembam in pri doseganju ciljev trajnostnega razvoja, saj znatno zmanjšuje emisije TGP [29]. Z ukrepi, kot so ponovna uporaba, popravila, recikliranje in predelava materialov, krožno gospodarstvo zmanjšuje potrebo po novih surovinah, s čimer se zmanjšajo emisije, povezane z rudarjenjem, predelavo in prevozom. Poleg tega krožno gospodarstvo s spodbujanjem uporabe obnovljivih virov energije (OVE) in povečanjem energetske učinkovitosti v procesih prispeva k znižanju emisij, ki izhajajo iz proizvodnje energije [34]. Z zmanjševanjem količine odpadkov ter minimiziranjem sežiganja in odlaganja na odlagališčih krožno gospodarstvo pomaga ublažiti emisije metana in drugih toplogrednih plinov, kar vodi k izboljšanju kakovosti zraka in posledično k zmanjšanju obolevnosti za boleznimi dihal in srca, kar pozitivno vpliva tako na okolje kot na zdravje ljudi [35].

3.2.4 Kategorija odpadki

KG je ključna strategija za preprečevanje odpadkov s pristopi za trajnostno načrtovanje izdelkov, uporabo recikliranih materialov in zmanjšanje količine embalaže [36]. Z uvajanjem načel krožnega načrtovanja izdelkov, kot so podaljševanje življenjske dobe, spodbujanje ponovne uporabe in popravil izdelkov ter povečanje ozaveščenosti potrošnikov o trajnostnih praksah, se lahko znatno zmanjša nastajanje odpadkov [37]. Recikliranje igra ključno vlogo v KG, saj zagotavlja sekundarne surovine za nove izdelke, kar zmanjšuje odlaganje odpadkov na odlagališča in zmanjšuje možnost onesnaženja tal in podtalnice [38]. Za povečanje stopenj recikliranja je nujno izboljšati infrastrukturo za zbiranje odpadkov, vzpostaviti stroge standarde recikliranja in ponuditi spodbude za uporabo recikliranih materialov [39]. Ti ukrepi sinergijsko prispevajo k spodbujanju trajnosti, učinkoviti rabi virov in varstvu okolja v okviru krožnega gospodarstva.

3.2.5 Kategorija materiali

Pridobivanje in uporaba recikliranih, obnovljivih in biorazgradljivih materialov igra ključno vlogo pri zmanjševanju okoljskega vpliva nakupa materialov, saj zmanjšuje odvisnost od primarnih surovin in omili vplive zaradi njihovega rudarjenja, predelave in transporta [40]. Povečanje uporabe recikliranih materialov v proizvodnji, spodbujanje uporabe biomaterialov in povečanje ozaveščenosti med dobavitelji o trajnostnih nabavnih praksah so ključni koraki za doseg tega cilja [41]. Industrijska simbioza je pomemben koncept KG, ki je še premalo uveljavljen v praksi. Poleg tega so pomembni ukrepi za zmanjšanje okoljskega vpliva embalaže uvedba predpisov, ki omejujejo uporabo plastične embalaže, spodbude za uporabo recikliranih in biorazgradljivih materialov ter izobraževanje potrošnikov o trajnostni embalaži, kar prispeva k bolj trajnostni in okolju prijazni dobavni verigi [42].



3.2.6 Kategorija organizacija

Glavni cilj zbiranja podatkov o finančnih tokovih in številu prebivalstva ali zaposlenih ni razkrivanje občutljivih informacij, temveč natančno zajemanje podatkov, ki se uporabljajo za ocenjevanje napredka h KG. Na nacionalni ravni to običajno vključuje število prebivalcev, tako da so kazalniki izraženi s fizikalnimi veličinami na prebivalca, kot na primer načrpana voda na prebivalca, oskrba z energijo na prebivalca ali emisije TGP na prebivalca. Pri izračunih se lahko uporabijo tudi ekonomski podatki, kot so prihodki ali bruto domači proizvod (npr. masa emisij na EUR BDP), vendar ta pristop ni nujno v skladu s konceptom ločevanja gospodarske rasti od rabe omejenih virov in obremenjevanja okolja.

Za proizvodna podjetja so najbolj relevantni podatki obseg proizvodnje, merjen v enoti mase, za proizvajalce energije v enoti energije, za storitvena podjetja pa število zaposlenih [27]. V sklopu projekta V2-2279 smo dali prednost uporabi eksaktnih merljivih veličin pri ocenjevanju krožnega gospodarstva, saj verjamemo, da so te bolj skladne z načeli socialne pravičnosti, medtem ko so denarne enote, kot so prihodek in BDP, primernejše za računovodske namene.



3.3 Vhodni podatki

Naslednji korak po izbiri kategorij je zbiranje podatkov. Ključno je, da obseg podatkov ostane obvladljiv, sicer je težko motivirati organizacije in njihove zaposlene, da izvedejo te analize.

3.3.1 Podatki makro nivoja (država)

Tabela 2 prikazuje podatke, ki se zbirajo na nivoju države. Večina parametrov je pridobljena iz nacionalnih podatkovnih baz in velik del je razviden tudi v podatkovnih bazah Eurostata. Takšen pristop omogoča ocene in primerjave stanja krožnosti med državami članicami EU. Vsi parametri predstavljajo letne vrednosti, priporočljivo pa je, da se jih zbira vsaj pet zaporednih let.

Tabela 2: Podatki za oceno krožnosti države

Kategorija	Vhodni podatek	Enota	Eurostat koda podatkov
Voda	Načrpana voda	1000 m ³	env_wat_bal
	Izpust prečiščenih voda*	1000 m ³	env_ww_genv in SURS
	Izpust neprečiščenih voda	1000 m ³	env_ww_genv in SURS
	Poraba vode	1000 m ³	SURS
	Voda v recirkulaciji in vnovič uporabljena voda	1000 m ³	SURS
Energija	Oskrba z energijo	TJ	nrg_bal_s
	Oskrba z energijo iz OVE	TJ	nrg_bal_s
	Domača proizvodnja energije	TJ	nrg_bal_s
	Domača proizvodnja brezogljene energije	TJ	nrg_bal_s
Emisije	Emisije TGP na prebivalca (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	t CO ₂ ekv	sdg_13_10
	Emisije onesnaževal zraka (NO _x , SO _x , NH ₃ , CO, prah in NMVOC)	kt	env_air_emis
Odpadki	Nastajanje odpadkov	t	env_wasgen in SURS
	Nastajanje nevarnih odpadkov	t	env_wasgen in SURS
	Masa odpadkov, preusmerjenih z odlaganja	t	env_wastrt in SURS
Materiali	Delež uporabe materiala v kroženju	%	cei_srm030
	Delež recikliranja odpadne embalaže	%	cei_wm020
	Delež recikliranja odpadne plastične embalaže	%	cei_wm020
	Nastajanje odpadne plastične embalaže na prebivalca	kg	cei_pc050
Država	Število prebivalcev	-	demo_gind
	Bruto domači proizvod	EUR	teina010

*Toplotno onesnažena voda, ki ne vsebuje trdnih delcev, se šteje za prečiščeno odpadno vodo.



3.3.2 Podatki mezo nivoja (statistična regija ali sektor)

Mezo nivo se osredotoča na gospodarske sektorje znotraj države ali skupnosti držav, lahko pa tudi na mesta in statistične regije znotraj posamezne države. Za statistične regije se lahko uporabijo iste skupine podatkov kot na makro ravni (tabela 2), ki predstavljajo letne vrednosti za posamezno statistično regijo.

Kot primer gospodarskega sektorja smo obravnavali kmetijski sektor Slovenije. Na podlagi strateških dokumentov na področju kmetijstva smo kot kategorije za izračun indeksa krožnosti kmetijskega sektorja definirali tri stebre trajnostnega razvoja, to so družba, ekonomija in okolje. Te kategorije smo izbrali na podlagi naših izkušenj na področju optimizacije prehranske oskrbovalne verige in še posebej na osnovi strategije Od vil do vilic, ki poudarja doseganje družbeno, okoljsko in ekonomsko uravnoteženih rešitev pri oskrbi s hrano [43]. Poleg njih je bila kot posebna kategorija definirana še odpadna hrana, saj ima le-ta negativne ekonomske, okoljske in družbene učinke in je posledično ni možno uvrstiti v eno izmed prvih treh kategorij.

Kategorije za kmetijski sektor se razlikujejo od tistih za države in podjetja zaradi številnih posebnosti tega sektorja in tudi zato, ker nekateri ustrezni podatki (še) niso dostopni, npr. raba obnovljive energije v kmetijstvu, poraba vode, ponovna uporaba embalaže ipd. Podatki po izbranih kategorijah so prikazani na sliki 7.

Kmetijstvo	Družba	Ekonomija	Okolje	Odpadna hrana
Število prebivalcev	Poraba posamezne vrste hrane	Odkupna cena posamezne vrste pridelane hrane	Faktor emisij TGP pri pridelavi posamezne vrste hrane	Faktor nastajanja odpadne hrane za posamezno vrsto hrane
Kmetijske površine v uporabi	Pridelava posamezne vrste hrane	Stroški pridelave posamezne vrste hrane	Faktor emisij TGP pri pridelavi posamezne vrste krme	Faktor nastajanja užitne odpadne hrane za posamezno vrsto hrane
			Faktor porabe mineralnih gnojil pri pridelavi posamezne vrste rastlinske hrane	
			Faktor porabe mineralnih gnojil pri pridelavi posamezne vrste krme	
			Kmetijske površine namenjene za ekološko kmetijstvo	
			Uvoz posameznih vrst hrane in krme	
			Izvoz posameznih vrst hrane in krme	

Posamezne vrste rastlinske hrane: pšenica, koruza, ječmen, krompir, sadje, zelenjava, grozdje

Posamezne vrste živalske hrane: meso govedí, meso prašičev, meso perutnine, meso jagnjetine, kravje mleko, jajca

Posamezne vrste krme: pšenica, koruza, ječmen, zelena krma z njiv, travinje, stročnice

Slika 7: Podatki za izračun indeksa krožnosti kmetijstva



3.3.3 Podatki mikro nivoja (podjetje)

Nabor podatkov za izračun krožnosti podjetij sledi originalni metodi MICRON, ki je bila razvita za mikro nivo in temelji na standardih GRI (tabela 3). V sklopu projekta V2-2279 so bili podatki za študijske namene pridobljeni iz trajnostnih poročil podjetij, ki so bila javno dostopna na spletu.

Tabela 3: Podatki za oceno krožnosti podjetja

Kategorija	Vhodni podatek	Enota	GRI standard
Voda	Odvzem vode	m ³	GRI-303-3
	Izpust prečiščenih vode	m ³	GRI-303-4
	Izpust neprečiščenih vode	m ³	GRI-303-4
	Voda v recirkulaciji in vnovič prečiščena voda	m ³	GRI-303-3 (2016)
Energija	Celotna poraba energija	GJ	GRI-302-1
	Poraba energije iz OVE	GJ	GRI-302-1
Emisije	Emisije TGP (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	t CO ₂ ekv	GRI-305-1 GRI-305-2
	Emisije onesnaževal zraka (NO _x , SO _x , NH ₃ , CO, prah in NMVOC)	t	GRI-305-7
Odpadki	Masa nastalih odpadkov	t	GRI-306-3
	Masa nastalih nevarnih odpadkov	t	GRI-306-3
	Masa odpadkov, preusmerjenih z odlaganja	t	GRI-306-4
Materiali	Masa porabljenih surovin	t	GRI-301-1
	Masa porabljenih obnovljivih surovin	t	GRI-301-1
	Masa porabljenih pakirnih materialov	t	GRI-301-2
	Masa porabljenih obnovljivih pakirnih materialov	t	GRI-301-3
	Delež obnovljivih vhodnih materialov	%	GRI-301-1
	Poraba pisarniškega papirja	kg	GRI-301-1
	Poraba plastike za enkratno uporabo	kg	GRI-301-1
	Masa vhodnih materialov	t	GRI-301-1
	Masa materialov	t	GRI-301-1
Podjetje	Masa produktov	t	GRI-301-3
	Število zaposlenih	FTE	GRI-401-1
	Proizvedena energija	GJ	GRI-302-1
	Prihodki	mio EUR	GRI-201-1

Navedeni podatki se z manjšimi prilagoditvami uporabijo za oceno krožnosti različnih podjetij. Metoda MICRON obravnava podjetja v proizvodnem, storitvenem in energetskega sektorju. Slika 8 prikazuje podatke, ki se uporabijo za izračun indeksa krožnosti v posameznih sektorjih. Večina podatkov je enakih za vse sektorje, le v kategoriji materiali se podatki nekoliko razlikujejo glede na sektor, iz katerega podjetje izvira.



	Proizvodni sektor	Storitveni sektor	Energetski sektor	
Podjetje	Masa produktov	Število zaposlenih	Proizvedena energija	
	Prihodki			
Voda	Odvzem vode			
	Izpust prečiščene vode			
	Izpust neprečiščene vode			
	Voda v reciklaciji in vnovič uporabljena voda			
Energija	Celotna poraba energije			
	Poraba energije iz OVE			
Emisije	Emisije TGP			
	Emisije onesnaževal zraka			
Odpadki	Masa nastalih odpadkov			
	Masa nastalih nevarnih odpadkov			
	Masa odpadkov, preusmerjenih z odlaganja			
Materiali	Masa porabljenih surovin	Delež obnovljivih vhodnih materialov	Masa vhodnih materialov	
	Masa porabljenih obnovljivih surovin	Poraba pisarniškega papirja		
	Masa porabljenih pakirnih materialov	Poraba plastike za enkratno uporabo		
	Masa porabljenih obnovljivih pakirnih materialov			

Slika 8: Zbiranje podatkov za mikro nivo po sektorjih

3.4 Kazalniki in njihova normalizacija

Na podlagi zbranih podatkov se izračunajo kazalniki, ki jih razvrstimo v dve skupini:

- kazalniki, ki so že v osnovi izračunani iz zbranih podatkov kot razmerja ali odstotki brez merske enote, npr. delež nevarnih odpadkov v skupni masi odpadkov, in
- kazalniki, ki so preračunani na različne osnove, npr. na tono izdelka, prebivalca ali BDP ter vključujejo mersko enoto, npr. masa vseh odpadkov na tono izdelka ali na prebivalca.

Da bi lahko različne kazalnike med seboj primerjali, se ti normalizirajo na območje med 0 in 100. Tako 0 predstavlja skrajnost, kjer se viri uporabljajo zgolj linearno, brez ponovne uporabe, medtem ko 100 predstavlja popolnoma krožno gospodarjenje. Postopek normiranja je natančneje predstavljen v članku [44].

3.4.1 Kazalniki makro nivoja (država)

Kazalniki makro nivoja so prikazani v tabeli 4. Iz zbranih podatkov se izračunajo kot deleži ali kot preračunana veličina na prebivalca.



Tabela 4: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti za makro nivo

Kategorija	Kazalnik	Simbol	Merska enota
Voda	Načrpana voda na prebivalca	R_{W1}	m ³ na prebivalca
	Delež izpusta neprečiščene vode na celoten izpust vode	R_{W2}	%
	Delež porabljene vode na načrpano vodo	R_{W3}	%
	Mnogokratnik kroženja voda v državi	R_{W4}	m ³ /m ³
Energija	Oskrba z energijo na prebivalca	R_{EN1}	GJ na prebivalca
	Delež oskrbe z energijo iz OVE	R_{EN2}	%
	Delež proizvedene brezogljčne energije	R_{EN3}	%
Emisije	Emisije TGP (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) na prebivalca	R_{EM1}	t CO ₂ eq. na prebivalca
	Emisije onesnaževal zraka na prebivalca	R_{EM2}	t na prebivalca
Odpadki	Masa nastalih odpadkov na prebivalca	R_{WS1}	t na prebivalca
	Delež nastalih nevarnih odpadkov	R_{WS2}	%
	Delež odpadkov preusmerjenih z odlaganja	R_{WS3}	%
Materiali	Uporaba materiala v kroženju	R_{M1}	%
	Delež recikliranja odpadne embalaže	R_{M2}	%
	Poraba odpadne plastike za enkratno uporabo	R_{M3}	kg na prebivalca

Mnogokratnik kroženja vode v državi (R_{W4}) je izračunan kot razmerje med prostornino uporabljene in načrpane vode. Prostornina uporabljene vode se izračuna kot vsota načrpane in ponovno uporabljene ali reciklirane vode, kot prikazuje enačba (4):

$$R_{W4} = \frac{V_{USE}}{V_{ABS}} = \frac{V_{ABS} + V_{REU} + V_{REC}}{V_{ABS}} \quad (4)$$

kjer je:

V_{USE} volumen uporabljene vode (m³)

V_{ABS} volumen načrpane vode (m³)

V_{REC} volumen vode v kroženju (m³)

V_{REU} volumen vnovič uporabljene vode (m³).

Masa plastičnih proizvodov za enkratno uporabo na prebivalca (R_{M3}) je definirana kot produkt mase vse odpadne plastične embalaže na prebivalca in deleža odpadne embalaže, ki se ne reciklira (enačba (5)). Za slednjega se predpostavi, da ustreza deležu plastične embalaže za enkratno uporabo in se izrazi kot $(1 - RR_{pl})$, kjer je RR_{pl} delež reciklirane odpadne plastične embalaže.

$$R_{M3} = PC_{pl} \cdot (1 - RR_{pl}) \quad (5)$$

kjer je:

PC_{pl} letna masa odpadne plastične embalaže na prebivalca (kg/prebivalca)

RR_{pl} delež recikliranja odpadne plastične embalaže (-).



3.4.2 Kazalniki mezo nivoja (primer za kmetijski sektor)

Kazalnike mezo nivoja za primer ocene krožnosti kmetijskega sektorja prikazuje slika 9. V kategoriji družba so kazalniki dobro uveljavljene stopnje samooskrbe z glavnimi kmetijskimi pridelki. V ekonomski kategoriji se nahajajo finančni učinki pridelave hrane, preračunani na prebivalca in podobno v kategoriji odpadkov odpadna hrana na prebivalca. V okoljski kategoriji so emisije so poleg emisij, rabe umetnih gnojil in deleža ekoloških zemljišč še količina uvožene in izvožene hrane, ki v tem primeru šteje kot posredni pokazatelj hrane, ki se transportira čez meje države in s tem povzroča večje neugodne okoljske učinke kot lokalno pridelana in porabljena hrana. Definiranje kazalnikov za kmetijski sektor bo predmet nadaljnjih raziskav v okviru doktorske disertacije.

Družba	Ekonomija	Okolje	Opadna hrana
Stopnja samooskrbe z žitom (%)	Stroški pridelave hrane na prebivalca (EUR)	Emisije TGP iz kmetijstva na prebivalca (kg CO ₂ eq.)	Opadna hrana na prebivalca (kg)
Stopnja samooskrbe s sadjem (%)	Prihodki od pridelave hrane na prebivalca (EUR)	Poraba mineralnih gnojil na hektar kmetijskih površin (t/ha)	Užitna odpadna hrana na prebivalca (kg)
Stopnja samooskrbe z zelenjadnicami (%)		Delež kmetijskih površin namenjenih ekološkemu kmetijstvu (%)	
Stopnja samooskrbe s sadjem (%)		Uvoz hrane in krme na prebivalca (t)	
Stopnja samooskrbe z mesom (%)		Izvoz hrane in krme na prebivalca (t)	
Stopnja samooskrbe z mlekom (%)			
Stopnja samooskrbe z jajci (%)			

Slika 9: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti kmetijskega sektorja



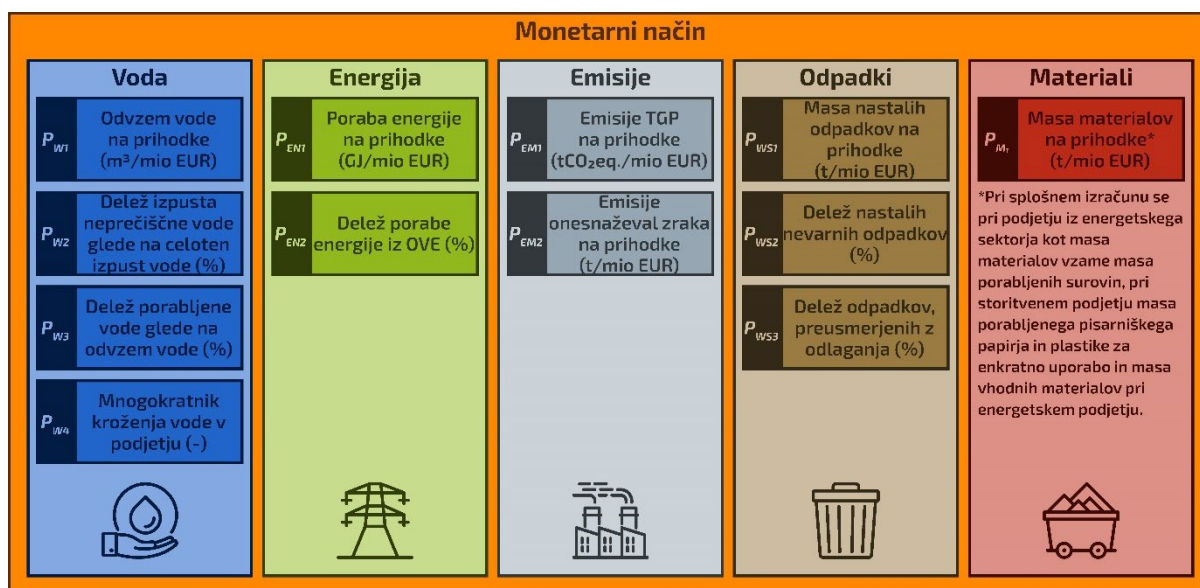
3.4.3 Kazalniki mikro nivoja (podjetje)

Kazalnike mikro nivoja za različne gospodarske sektorje prikazuje slika 10 vključno z merskimi enotami. Pri podjetjih proizvodnega sektorja so podatki praviloma izraženi na enoto mase produktov, pri storitvenih podjetjih na število zaposlenih (FTE) in pri energetskega sektorja na enoto proizvedene energije.

Na mikro nivoju je možno kazalnike izraziti tudi na monetarni način, kar pomeni, da se podatki pretvorijo v kazalnike glede na izbrano ekonomsko kategorijo, kot je prihodek ali dobiček podjetja, dodana vrednost ipd. Kazalniki za izračun indeksa krožnosti na monetarni način so prikazani na sliki 11.

	Proizvodni sektor	Storitveni sektor	Energetski sektor	
Voda	P_{W1} Odvzem vode na maso produktov (m^3/t)	P_{W1} Odvzem vode na zaposlenega (m^3/FTE)	P_{W1} Odvzem vode na proizvedeno energijo (m^3/GJ)	
	P_{W2} Delež izpusta neprečiščne vode glede na celoten izpust vode (%)			
	P_{W3} Delež porabljene vode glede na odvzem vode (%)			
	P_{W4} Mnogokratnik kroženja vode v podjetju (-)			
Energija	P_{EN1} Poraba energije na maso produktov (GJ/t)	P_{EN1} Poraba energije na zaposlenega (GJ/FTE)	P_{EN1} Poraba energije goriva na proizvedeno energijo (GJ/GJ)	
	P_{EN2} Delež porabe energije iz OVE (%)			
Emisije	P_{EM1} Emisije TGP na maso produktov ($tCO_2eq./t$)	P_{EM1} Emisije TGP na zaposlenega ($tCO_2eq./FTE$)	P_{EM1} Emisije TGP na proizvedeno energijo ($tCO_2eq./GJ$)	
	P_{EM2} Emisije onesnaževal zraka na maso produktov (t/t)	P_{EM2} Emisije onesnaževal zraka na zaposlenega (t/FTE)	P_{EM2} Emisije onesnaževal zraka na proizvedeno energijo (t/GJ)	
Odpadki	P_{WS1} Masa nastalih odpadkov na maso produktov (t/t)	P_{WS1} Masa nastalih odpadkov na zaposlenega (t/FTE)	P_{WS1} Masa nastalih odpadkov na proizvedeno energijo (t/GJ)	
	P_{WS2} Delež nastalih nevarnih odpadkov (%)			
	P_{WS3} Delež odpadkov, preusmerjenih z odlaganja (%)			
Materiali	P_{M1} Masa porabljenih surovin na maso produktov (t/t)	P_{M1} Delež obnovljivih vhodnih materialov (%)	P_{M1} Masa vhodnih materialov na proizvedeno energijo (t/GJ)	
	P_{M2} Delež obnovljivih surovin (%)	P_{M2} Poraba pisarniškega papirja na zaposlenega (kg/FTE)		
	P_{M3} Delež obnovljivih pakirnih materialov (%)	P_{M3} Poraba plastike za enkratno uporabo na zaposlenega (kg/FTE)		

Slika 10: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti podjetij



Slika 11: Kazalniki za izračun indeksa krožnosti podjetja na monetarni način

3.5 Izračun podindeksov kategorij

Ko so zbrani in izračunani kazalniki, sledi izračun podindeksov krožnosti za posamezne kategorije (tabela 5). Ti so izračunani kot navadna ali utežna povprečja normaliziranih kazalnikov. V tem projektu smo za kazalnike uporabili uteži iz originalne metode MICRON, lahko pa se po presoji ocenjevalcev tudi spremenijo.

Tabela 5: Enačbe za izračun podindeksov kategorij

Kategorija	Nivo	Enačba	
Voda	Makro	$I_{Water} = 0.25 \cdot R_{W1} + 0.25 \cdot R_{W2} + 0.25 \cdot R_{W3} + 0.25 \cdot R_{W4}$	(6)
	Mikro	$I_{Water} = 0.3 \cdot P_{W1} + 0.3 \cdot P_{W2} + 0.3 \cdot P_{W3}$	(7)
Energija	Makro	$I_{Energy} = 0.25 \cdot R_{EN1} + 0.375 \cdot R_{EN2} + 0.375 \cdot R_{EN3}$	(8)
	Mikro	$I_{Energy} = 0.25 \cdot P_{EN1} + 0.75 \cdot P_{EN2}$	(9)
Emisije	Makro	$I_{Emissions} = 0.75 \cdot R_{EM1} + 0.25 \cdot R_{EM2}$	(10)
	Mikro	$I_{Emissions} = 0.75 \cdot P_{EM1} + 0.25 \cdot P_{EM2}$	(11)
Odpadki	Makro	$I_{Waste} = 0.3 \cdot R_{WS1} + 0.3 \cdot R_{WS2} + 0.3 \cdot R_{WS3}$	(12)
	Mikro	$I_{Waste} = 0.3 \cdot P_{WS1} + 0.3 \cdot P_{WS2} + 0.3 \cdot P_{WS3}$	(13)
Materiali	Makro	$I_{Materials} = 0.3 \cdot R_{M1} + 0.3 \cdot R_{M2} + 0.3 \cdot R_{M3}$	(14)
	Mikro	$I_{Materials} = 0.3 \cdot P_{M1} + 0.3 \cdot P_{M2} + 0.3 \cdot P_{M3}$	(15)

3.6 Izračun skupnega indeksa krožnosti

Skupni indeks krožnosti države na makro ravni ali podjetja na mikro ravni se izračuna kot navadno povprečje podindeksov posameznih kategorij (enačba 16).

$$I_{Total} = 0.2 \cdot I_{Water} + 0.2 \cdot I_{Energy} + 0.2 \cdot I_{Emissions} + 0.2 \cdot I_{Wastes} + 0.2 \cdot I_{Materials} \quad (16)$$



4 Študijski primer za makro nivo - Slovenija

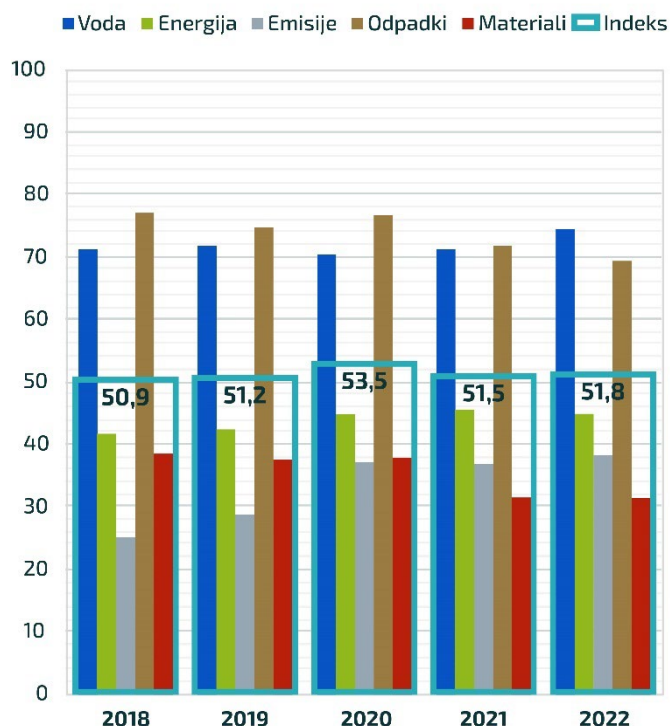
Kot študijski primer na makro nivoju je bila metodologija uporabljena na nacionalni ravni Republike Slovenije. Namen je bil analizirati trenutno stanje krožnega gospodarstva v Sloveniji, oceniti vplive nacionalnih strategij, začrtanih v Nacionalnem energetske in podnebnem načrtu (NEPN), na napredek države v smeri krožnega gospodarstva in na podlagi tega zastaviti cilje in ukrepe za mikro nivo. Podatki so bili zbrani v nacionalni bazi SiStat in v bazi Eurostat za leta od 2018 do 2022.

4.1 Ocena krožnosti za Slovenijo

Slika 12 prikazuje analizo obstoječega stanja krožnosti v Sloveniji. Ta kaže, da je indeks krožnosti Slovenije v obdobju od 2018 do 2022 razmeroma stabilen in se giblje malo nad 50 točkami, kar ni slabo, prinaša pa veliko možnosti za izboljšave. Metoda namreč uporablja lestvico, na kateri 0 točk predstavlja povsem linearno gospodarstvo in 100 točk povsem krožno. V pozitivno smer nekoliko izstopa leto 2020, ki je bilo zaznamovano s pandemijo koronavirusa.

Slovenija dosega visoke vrednosti podindeksov v kategorijah voda in odpadki (nad 70 točk), medtem ko podindeksi kategorij energija, emisije in materiali izkazujejo vrednosti pod 50: v letu 2022 kategorija energija okoli 45 točk, emisije 38 in materiali 32. V zadnjih petih letih je opazno izboljšanje podindeksov kategorij energija in emisije, slabšajo pa se vrednosti podindeksov kategorij odpadki in materiali. V kategoriji voda je stanje ugodno, podindeks se giblje malo nad 70 točkami.

Ocena krožnosti je bila izvedena s spletnim kalkulatorjem za oceno krožnosti države po metodologiji, ki je bila opisana v poglavju 3.4. Kalkulator za oceno krožnosti Slovenije je podrobneje opisan v poglavju 7 in je na voljo na [povezavi](#).



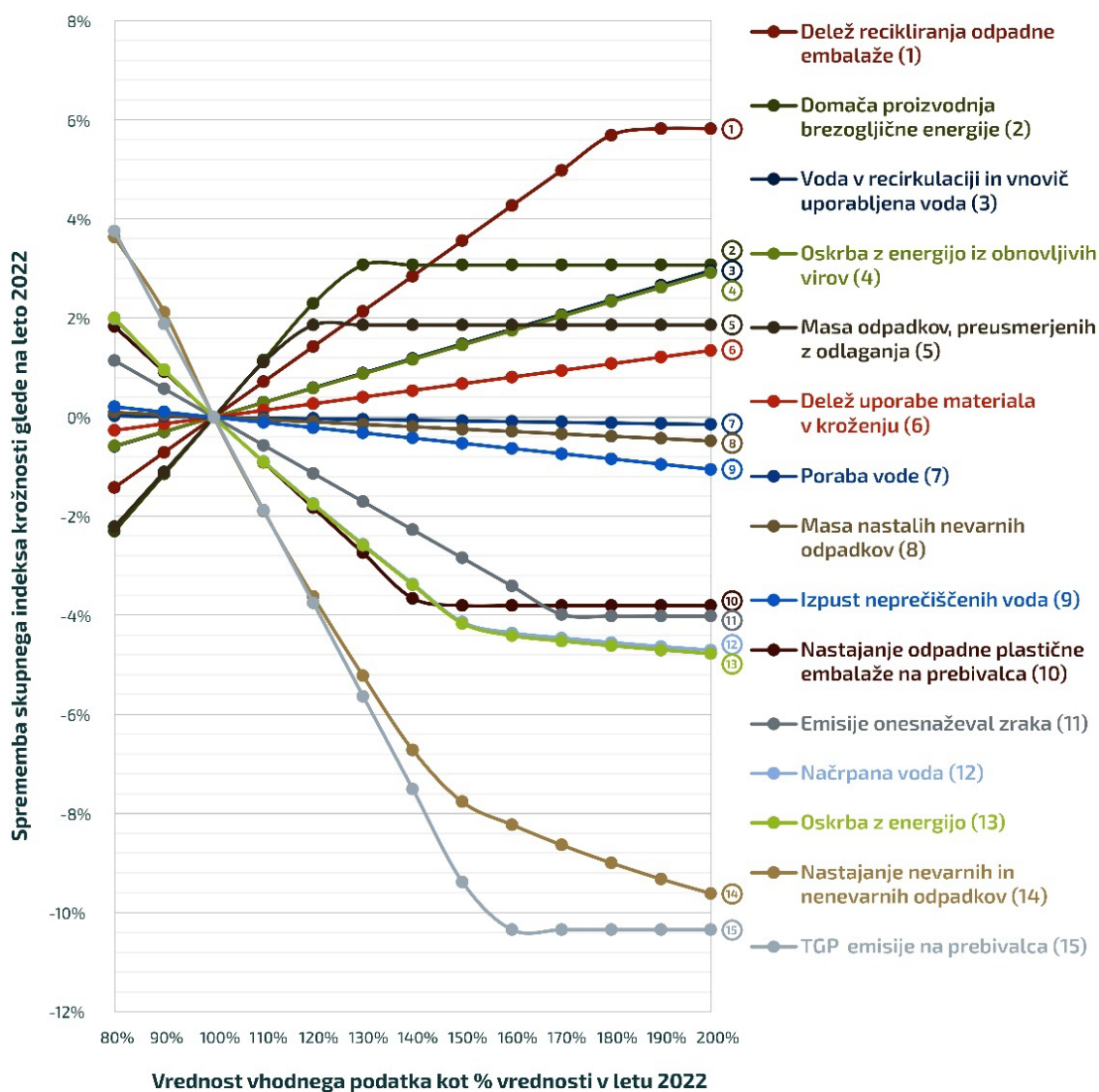
Slika 12: Ocena stopnje krožnosti za državo Slovenijo



4.2 Analiza občutljivosti

Analiza občutljivosti na makro ravni je bila izvedena z namenom določitve tistih vhodnih podatkov, katerih spremembe najbolj vplivajo na vrednost skupnega indeksa krožnosti države, da bi s tem lahko oblikovali preciznejše ukrepe za izboljšave. Vrednosti vhodnih podatkov so bile spreminjane od 80 % do 200 % aktualnih vrednosti s korakom po 10 %.

Slika 13 prikazuje rezultate analize občutljivosti. Največji pozitivni naklon ima količina doma proizvedene brezogljne energije (krivulja št. 2 na sliki 13). Povečanje tega parametra za 10 % zviša vrednost indeksa krožnosti države za 1,4 %. Pri 30 % povišanju vrednosti doseže kazalnik, na katerega vpliva ta podatek, maksimalno vrednost in dodatno povečevanje ne vpliva več na skupni indeks krožnosti. Največji negativni naklon imata parametra emisije toplogrednih plinov (krivulja 15 na sliki 13) in masa odpadkov, ustvarjenih na prebivalca (krivulja št. 14 na sliki 13). Pri obeh parametrih 10-odstotno povečanje povzroči približno 2-odstotni padec skupnega indeksa krožnosti.



Slika 13: Analiza občutljivosti indeksa krožnosti Slovenije



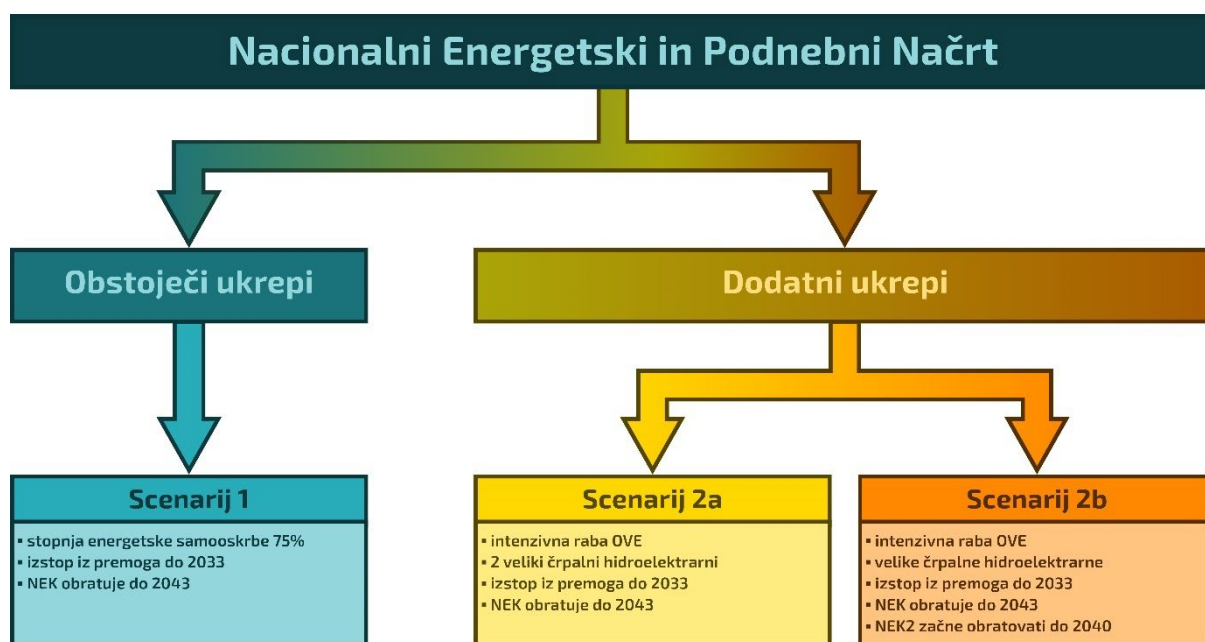
Pri maksimalnem obravnavanem povečanju vrednosti vhodnega podatka, tj. na dvakratno vrednost, največje povečanje skupnega indeksa krožnosti v pozitivni smeri povzroči podvojitev stopnje recikliranja odpadne embalaže, pri kateri se skupni indeks krožnosti izboljša za skoraj 6 % (krivulja 1 na sliki 13). Še večji učinek v negativni smeri doseže parameter emisije TGP na prebivalca, ki ob povečanju na dvakratno vrednost povzroči poslabšanje indeksa krožnosti za 10,4 % (krivulja 15 na sliki 13).

Analiza občutljivosti nakazuje, da učinkovita strategija za izboljšanje celotnega indeksa krožnosti države vključuje povečanje proizvodnje energije brez ogljika in zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Ta dva dejavnika sta tesno povezana, kar omogoča sinergijske učinke s ciljno usmerjenimi ukrepi. Poleg tega je ključno zmanjšati nastajanje odpadkov in povečati recikliranje embalažnih materialov.

4.3 Ocena krožnosti za scenarije NEPN

Republika Slovenija vlaga velike napore v spodbujanje prehoda v nizkoogljično družbo in gospodarstvo z večjo energetske učinkovitostjo ter povečanje uporabe obnovljivih virov energije, kot je opredeljeno v NEPN [45]. Ta področja so ključna tudi za izboljšanje krožnosti, saj so povprečne vrednosti podindeksov za kategoriji energija in emisije pod 50 točkami. Poleg tega je analiza občutljivosti pokazala, da imajo ukrepi na teh področjih pomemben vpliv na izboljšanje celotnega indeksa krožnosti države.

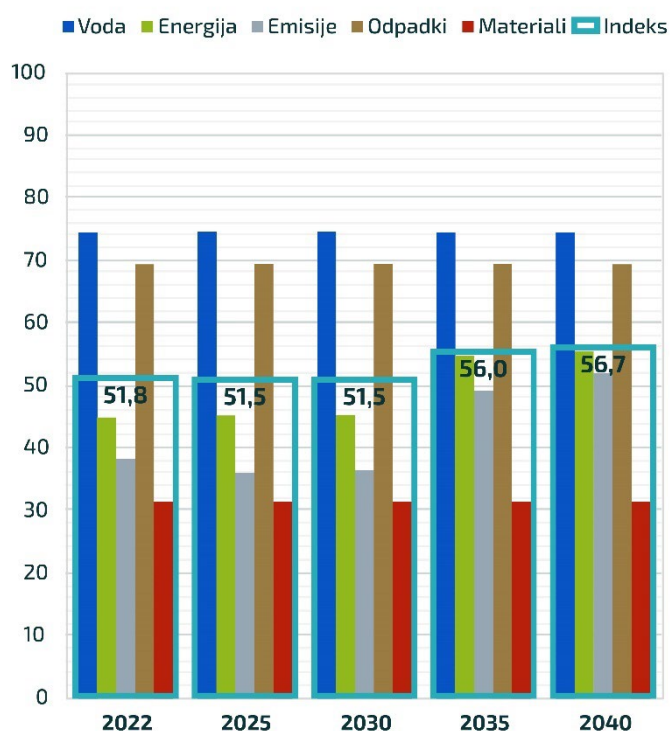
Glavne usmeritve Slovenije do leta 2030 (in naprej) so prehod v nizkoogljično krožno gospodarstvo in trajnostno upravljanje z naravnimi viri [46]. Posebna pozornost je namenjena razvoju energetskega sektorja in njegovemu vplivu na okolje, kar je podrobno opisano v dokumentu NEPN. Ta strateški dokument določa cilje, politike in ukrepe do leta 2030 (s pogledom do leta 2040) v petih dimenzijah: razogljičenje, energetska učinkovitost, energetska varnost, notranji energetski trg ter raziskave, inovacije in konkurenčnost. Dokument NEPN podrobno obravnava več scenarijev za doseganje ciljev zelenega prehoda, od katerih smo tri ocenili z metodologijo za kvantitativno spremljanje napredka h krožnemu gospodarstvu na makro ravni in jih prikazuje slika 14. Podatki o količini in strukturi energetskih virov ter nastalih emisijah, ki so potrebni za oceno krožnosti, so bili pridobljeni v dokumentu NEPN.



Slika 14: Izbrani scenariji iz dokumenta NEPN

Scenarij 1 predvideva nadaljevanje obstoječih ukrepov (OU) brez novih naložb v centralizirano oskrbo z energijo po letu 2022. Na področju proizvodnje električne energije je cilj doseči stopnjo samooskrbe vsaj 75 %. Pričakovano je zmerno povečanje tako majhnih kot velikih sončnih elektrarn ter malih hidroelektrarn, medtem ko bi širitev vetrnih in geotermalnih elektrarn ostala minimalna. Gradnja novih jedrskih elektrarn in velikih hidroelektrarn ni predvidena. Cilj je opustiti termoelektrarne na premog do leta 2033, kar bo vodilo v zaprtje dveh enot v največji slovenski termoelektrarni. Obstoječa jedrska elektrarna naj bi obratovala do leta 2043, gradnja nove ni predvidena.

Sprememba skupnega indeksa krožnosti in podindeksov kategorij v scenariju 1 (obstoječi ukrepi, OU) iz NEPN je prikazana na sliki 15. Skupni indeks krožnosti bi se povečal z 51,8 točk v letu 2022 na 56,7 v letu 2040. Med letoma 2030 in 2035 se pojavi pomembno povečanje indeksa, kar je posledica načrtovanega zaprtja premogovnih enot do leta 2033. To bi pomenilo, da ne bi bilo več proizvodnje električne energije iz premoga, ki je najbolj onesnažujoč vir energije. Vrednost podindeksa kategorije energija bi se v obravnavanem obdobju povečala s 45,0 točk na 55,6 točk. Ta izboljšava je posledica povečanja deleža proizvedene energije brez ogljika, kar povzroči, da se normalizirana vrednost tega kazalnika poveča z 78 točk na skoraj 100 točk. Tudi v kategoriji emisije je med letoma 2030 in 2035 opazen velik porast podindeksa. Njegova vrednost znaša 38,4 točk v letu 2022, pade na 36,5 do leta 2030, nato pa se poveča na 49,3 leta 2035 in končno na 52,1 leta 2040.



Slika 15: Ocena izboljšanja krožnosti za scenarij 1 (OU iz NEPN)

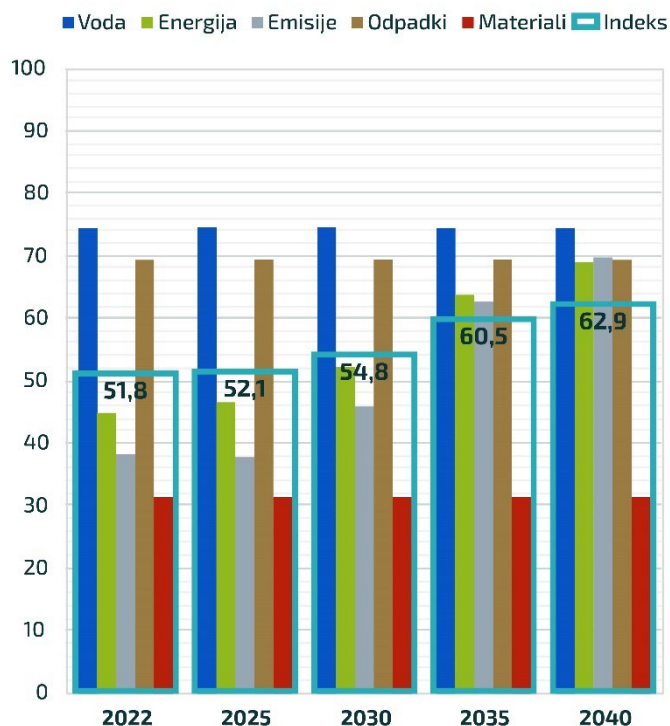
Kako so v tem scenariju doseženi cilji NEPN? Emisije toplogrednih plinov bi se do leta 2040 zmanjšale za 45 % v primerjavi z letom 2005, kar pomeni, da cilj NEPN v dimenziji razogljičenja ne bi bil dosežen. Končna poraba energije bi dosegla 55,8 TWh, kar pomeni, da tudi cilj zmanjšanja porabe pod 50,2 TWh ne bi bil dosežen. Podoben rezultat se pričakuje za cilj energetske varnosti, ki stremi k 100-odstotni oskrbi z električno energijo iz domače proizvodnje, vendar bi bilo treba po scenariju 1 do leta 2040 še vedno uvoziti 40 % električne energije.



V **scenariju 2** so vpeljeni dodatni ukrepi v energetske sektor. Za nekatere ukrepe je na voljo več možnosti, zato je scenarij 2 razdeljen v dva podscenarija, to sta 2a in 2b. Oba podscenarija si delita skupne cilje: povečanje energetske in snovne učinkovitosti, opustitev fosilnih goriv za ogrevanje in hlajenje ter njihova zamenjava z obnovljivimi viri in presežno toploto, zmanjšanje potreb po mobilnosti in spodbujanje trajnostne mobilnosti, pospešitev uporabe alternativnih goriv v prometu ter širitev omrežij za daljinsko ogrevanje, elektriko, plin in vodik. Glavna razlika med scenarijem 2a in 2b je v virih energije, izbranih za centralne naložbe po letu 2030, to so elektrarne na plin v scenariju 2a in nova jedrska elektrarna v scenariju 2b, kot je opisano v nadaljevanju.

V scenariju 2a (DU-OVE) se predvideva povečana raba obnovljive energije, zlasti iz sončnih in vetrnih elektrarn, vključno s hranilniki energije, spodbuja se tudi gradnja velikih hidroelektrarn in črpalnih elektrarn. Obstoječa jedrska elektrarna naj bi obratovala do leta 2043, gradnja nove ni predvidena.

Skupni indeks krožnosti bi se dvignil z 51,8 točk v letu 2022 na 62,9 točk v letu 2040 (slika 16). Po letu 2025 bi se rast indeksa pospešila zaradi uvajanja obnovljivih virov energije in izboljšane energetske učinkovitosti. Podindeks kategorije energija bi se povečal s 45,0 točk v letu 2022 na 69,1 točk v letu 2040. Vsi trije kazalniki v tej kategoriji kažejo izboljšave, kar kaže na nižjo porabo energije na prebivalca, tj. večjo energetsko učinkovitost, večji delež brezogljikne energije (do leta 2033 skoraj v celoti brez ogljika) in višji delež porabe energije iz obnovljivih virov. Do leta 2040 bi delež obnovljivih virov energije v skupni porabi energije znašal 53,2 %.



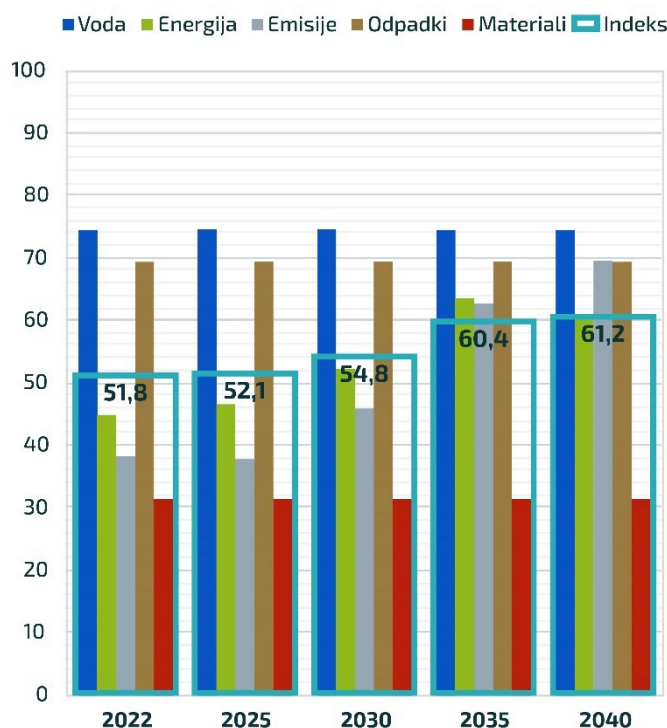
Slika 16: Ocena izboljšanja krožnosti za scenarij 2a (DU-OVE iz NEPN)



Scenarij 2b (DU-JE) predvideva gradnjo nove jedrske elektrarne, ki bi začela obratovati okoli leta 2040. Vključuje tudi intenziven razvoj sončnih in vetrnih elektrarn ter gradnjo sistemov za shranjevanje električne energije, čeprav bi se ta prizadevanja po letu 2030 zmanjšala zaradi nove jedrske elektrarne. Podobno kot v scenariju 2a načrti vključujejo gradnjo novih hidroelektrarn in črpalnih hidroelektrarn ter popolno opustitev premoga do leta 2033.

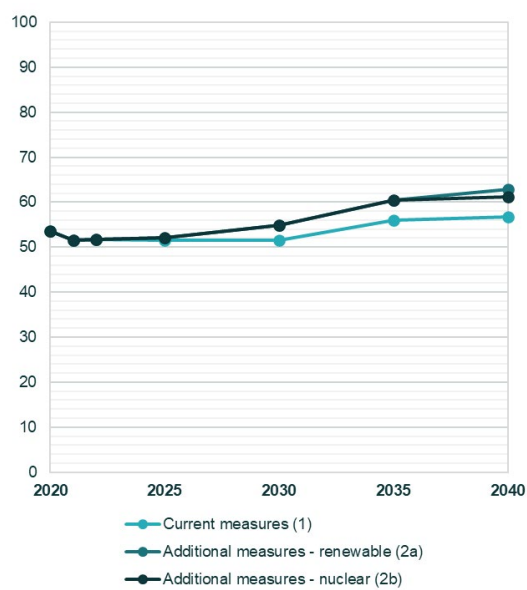
V scenariju 2b bi se indeks krožnosti povečal z 51,8 točk v letu 2022 na 61,2 točk v letu 2040, kar je prikazano na sliki 17. Do leta 2025 ni pričakovati večjih sprememb, nato pa bi sledilo postopno povečanje do leta 2035. Po tem letu bi se rast indeksa ponovno upočasnila zaradi odprtja nove jedrske elektrarne. To se odraža tudi v podindeksu kategorije energija, ki doseže svojo najvišjo vrednost 63,7 točk leta 2035, kar predstavlja povečanje za 18,7 točk v primerjavi z letom 2022. Po začetku obratovanja nove jedrske elektrarne bi vrednost podindeksa nekoliko padla in sicer na 60,6 točk. Ta padec je predvsem posledica povečane oskrbe z energijo na prebivalca po zagonu jedrske elektrarne, kar povzroči, da normalizirana vrednost kazalnika oskrbe z energijo na prebivalca pade s 45,6 točk leta 2035 na 32,2 točk leta 2040. Podindeks kategorije emisije v scenariju 2b kaže skoraj enake vrednosti kot v scenariju 2a, saj je jedrska energija prav tako brezogljivi vir in minimalno prispeva k emisijam.

V scenariju 2b bi se emisije zmanjšale za 71,7 % glede na leto 2005, s čemer bi bil dosežen cilj razogljičenja. Država bi do leta 2040 postala popolnoma samooskrbna z električno energijo zaradi nove jedrske elektrarne, kar bi odpravilo potrebo po uvozu. Končna poraba energije bi ostala pri 43,8 TWh, kar pomeni, da bi bil dosežen tudi cilj energetske učinkovitosti.



Slika 17: Ocena izboljšanja krožnosti za scenarij 2b (DU-JE iz NEPN)

Analiza spreminjanja skupnega indeksa krožnosti do leta 2040 v treh različnih scenarijih (slika 18) kaže na pomembnost vpeljave dodatnih ukrepov na energetske in okoljske področju za doseganje znatno višjih vrednosti indeksa krožnosti na državnem nivoju.



Slika 18: Skupni indeks krožnosti za tri scenarije



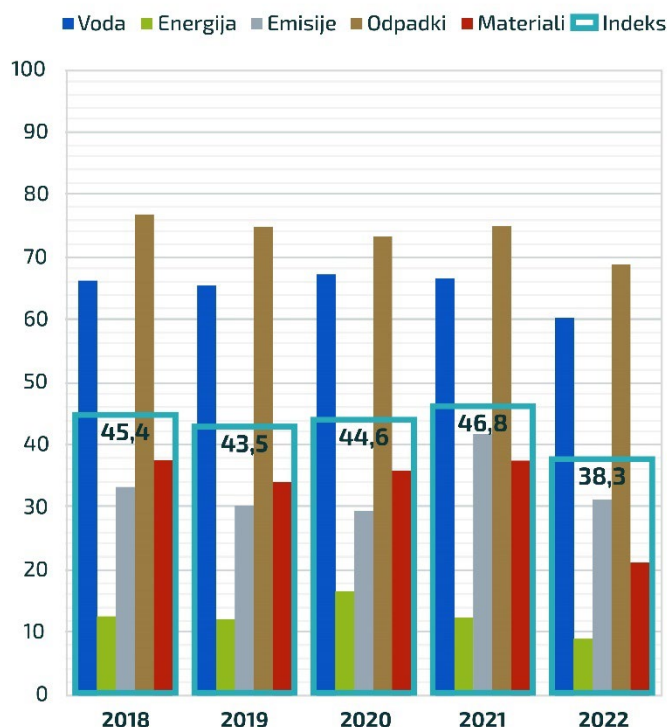
5 Študijski primer za mikro nivo – izbrano podjetje

Analiza na nivoju države je pokazala, da so glavne prioritete za prehod v krožno gospodarstvo izboljšanje energetske učinkovitosti, ukinitve proizvodnje električne energije iz premoga in zmanjšanje emisij. Na osnovi identificiranih prioritet na državni ravni se definirajo konkretni ukrepi za implementacijo na mikro ravni podjetij. Za študijo je bilo izbrano podjetje s področja dejavnosti Proizvodnja farmacevtskih preparatov (šifra SKD 21.200), za katero smo pridobili potrebne podatke iz javno dostopnih trajnostnih poročil, ki so dostopna na spletu [47], podjetje pri analizi ni sodelovalo.

Podjetje letno porabi približno 1.300 TJ energije iz različnih virov. Primarna energenta sta električna energija (43 %) in zemeljski plin (33 %). Lastna proizvodnja energije iz obnovljivih virov prispeva 0,4 % k skupni energetske mešanici. V sestavi primarnih virov električne energije, kupljenih od dobaviteljev, je 12 % iz obnovljivih virov energije, 51 % iz premoga, ostalo pa iz zemeljskega plina in jedrskega goriva. Vsi obnovljivi viri energije predstavljajo okoli 5 % skupne lastne in kupljene energije.

5.1 Ocena krožnosti podjetja

Oceno stopnje krožnosti za podjetje prikazuje slika 19, ki kaže, da je skupni indeks krožnosti podjetja nižji od 50 točk in je v zadnjem analiziranem letu padel celo pod 40 točk. Podobno kot na nacionalni ravni podatki na ravni podjetja potrjujejo visoko stopnjo krožnosti v kategorijah voda in odpadki z vrednostjo podindeksov 61 oziroma 69 točk v letu 2022, medtem ko so bile te vrednosti v prejšnjih letih še višje. To je posledica dejstva, da podjetje v svojih izdelkih ne zadržuje vode in precejšen delež izpuščene vode čisti na svojih lokacijah. Znatno količino odpadkov z odlagališč preusmerijo v recikliranje in ponovno uporabo v zunanjih podjetjih. Situacija v kategoriji energija je manj ugodna, saj je indeks v zadnjem letu padel pod 10 točk, predvsem zaradi nizkega deleža porabe obnovljivih virov energije. To prispeva k nizki vrednosti podindeksa za kategorijo emisije, ki znaša okoli 30 točk. Nizek je tudi podindeks za kategorijo materiali (okoli 20 točk). Predvidevamo, da podjetje zaradi posebnih zahtev na področju zdravil ne uporablja reciklirane embalaže in sekundarnih surovin v velikem obsegu.



Slika 19: Ocena stopnje krožnosti za podjetje

5.2 Predlagani energetske ukrepi za izboljšanje krožnosti podjetja

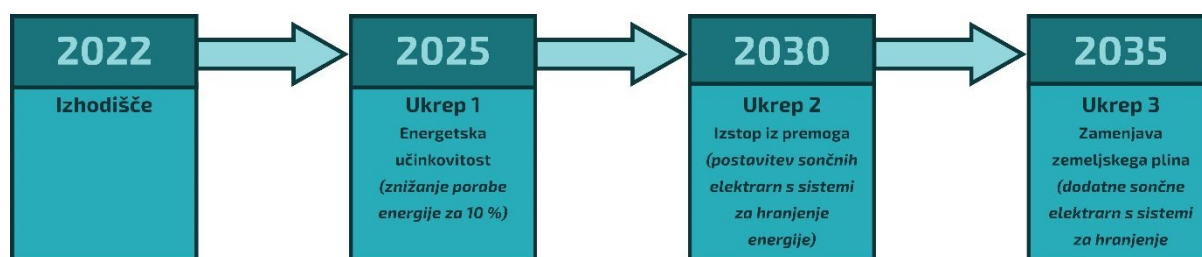
Na podlagi rezultatov analize krožnosti na nacionalni ravni ter v skladu s strategijami in scenariji načrta NEPN so bili za podjetje oblikovani ukrepi, ki vključujejo naložbe v izboljšanje energetske učinkovitosti in proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov. V sklopu tega projekta so bili za namen testiranja razvite metodologije obravnavani le ukrepi energetske narave, medtem ko bi v razširjeni analizi podjetje lahko preverilo tudi prispevek ukrepov na drugih področjih, zlasti v kategoriji materiali, ki kaže nizko vrednost podindkesa krožnosti.

Za študijski primer je bila izbrana proizvodnja električne energije v velikih sončnih elektrarnah z baterijami za shranjevanje energije, saj je ta obnovljivi vir energije v zadnjih letih močno zrasel in je na voljo dovolj podatkov za tehno-ekonomsko oceno. Dinamika ukrepov je bila zastavljena, kot prikazuje slika 20:

Ukrep 1: zmanjšanje skupne porabe končne energije za 10 %, kar ustreza približno 130 TJ do leta 2025. To naj bi dosegli predvsem s projekti, ki vključujejo optimizacijo delovanja procesnih naprav, zamenjavo energetske intenzivne opreme z bolj učinkovito in digitalizacijo procesov.

Ukrep 2: proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov na lokaciji v obsegu, ki je enak deležu premoga v mešanici kupljene električne energije, kar pomeni približno 250 TJ. Za doseg tega cilja je leta 2030 treba namestiti fotovoltaični (PV) sistem z močjo 60 MWp in baterijski sistem za shranjevanje kapacitete 40 MWh [48], [49].

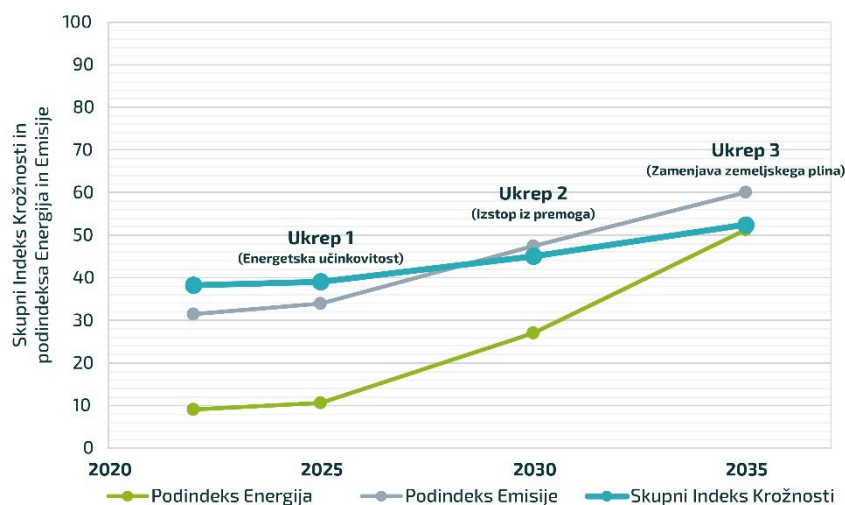
Ukrep 3: nadomestitev zemeljskega plina za proizvodnjo pare z električno energijo, pridobljeno na lokaciji iz obnovljivih virov, kar pomeni 385 TJ. Za doseg tega cilja se predvideva do leta 2035 namestitev dodatnega fotovoltaičnega sistema z baterijskim hranilnikom. Ocenjena zmogljivost dodatnega PV sistema je 79 MWp, kapaciteta baterije pa 53 MWh [48], [49].



Slika 20: Dinamika sprejemanja ukrepov v podjetju

5.2.1 Vpliv ukrepov na krožnost podjetja

Analiza predlaganih ukrepov na krožnost podjetja je pokazala, da ukrepi energetske učinkovitosti in razogljičenja pozitivno vplivajo tako na energetski in emisijski podindeks kot tudi na skupni indeks krožnega gospodarstva. Z ukrepom 1 (povečanje energetske učinkovitosti) bi podjetje zmanjšalo emisije na 94 % sedanje ravni, z dodanim ukrepom 2 (zamenjava električne energije iz premoga z električno energijo iz obnovljivih virov) na 65 % in z dodanim ukrepom 3 (zamenjava zemeljskega plina za proizvodnjo pare z električno energijo iz obnovljivih virov) na 41 % sedanje vrednosti emisij. Delež obnovljivih virov energije bi se povečal s sedanjih 5,3 % na 58,5 %. Podindeks v kategoriji energija bi se po izvedbi vseh treh ukrepov povečal za 5,6-krat, podindeks v kategoriji emisije pa skoraj podvojil (slika 21), medtem ko bi vrednosti podindeksov preostalih kategorij ostali nespremenjeni, zato na sliki 21 niso prikazani. Skupni indeks krožnosti bi se povečal za 14 točk (z 38,3 na 52,4 točk).



Slika 21: Vpliv predlaganih ukrepov na indeks in podindeksa krožnosti podjetja

Rezultati kažejo, da lahko na mikro ravni z implementacijo ukrepov na področju kategorije energija dosežemo podobne trende izboljšanja kazalnika krožnosti kot na makro ravni. Vendar pa je izboljšanje na mikro ravni specifično za posamezno podjetje in odvisno od izbranih tehnologij za razogljičenje ter od zanesljivosti uporabljenih podatkov. Predvidevamo, da bi zlasti energetska intenzivna podjetja lahko dosegla še večje izboljšanje podindeksa kategorije energija, kot je bilo izkazano z analizo občutljivosti na makro ravni.

5.2.2 Tehno-ekonomska analiza ukrepov

Zeleni prehod predstavlja finančni izziv za podjetja, zato je nujna podpora države. V naslednjem koraku je tako izvedena ekonomska analiza, ki ocenjuje potrebne investicije za doseganje



določenega povečanja skupnega kazalnika krožnosti. Ta analiza identificira najučinkovitejše ukrepe na mikro ravni za analizirano podjetje, da izboljša svoj kazalnik krožnosti.

Podatki, uporabljeni za ekonomsko analizo, so prikazani v tabeli 6. Cene električne energije so pridobljene iz podatkovne baze SURS za negospodinjne odjemalce na letni ravni [50], cene zemeljskega plina prav tako [51], izravnani stroški električne energije (LCOE) in investicija za velike sončne elektrarne/fotovoltaiko (PV) pa iz literature [48], [49].

Tabela 6: Podatki za tehno-ekonomsko analizo ukrepov v podjetju

Podatek	Enota	Vrednost
Cena električne energije	EUR/GJ	50,81
Cena zemeljskega plina	EUR/GJ	21,33
LCOE za fotovoltaiiko	EUR/GJ	12,50
Investicija za fotovoltaiiko	EUR/kWp	800
Investicija za baterijo	EUR/kWh	138
Amortizacijska doba	leta	10
Življenjska doba	leta	20
Realna diskontna stopnja	%	10
Davčna stopnja	%	20

Rezultati tehno-ekonomske analize kažejo (tabela 7), da je doba vračanja za prvi ukrep približno 3 leta, za drugi ukrep približno 6 let, medtem ko je za tretji ukrep bistveno daljša in sicer 15 let. Razlog za to je, da se pri drugem ukrepu dražja kupljena električna energija nadomesti z električno energijo, proizvedeno s fotovoltaičnimi sistemi, pri čemer je razlika v ceni visoka. Pri tretjem ukrepu se zemeljski plin nadomesti z električno energijo, proizvedeno s fotovoltaiiko, pri čemer je razlika v ceni manjša kot pri drugem ukrepu. Kombinirana neto sedanja vrednost (NSV) za tri ukrepe, ob predpostavki, da je prvi ukrep izveden leta 2025, drugi leta 2030 in tretji leta 2035, znaša skupno 7,2 milijona EUR ob 10 % realni diskontni stopnji. Interna stopnja donosnosti znaša 12,7 %.

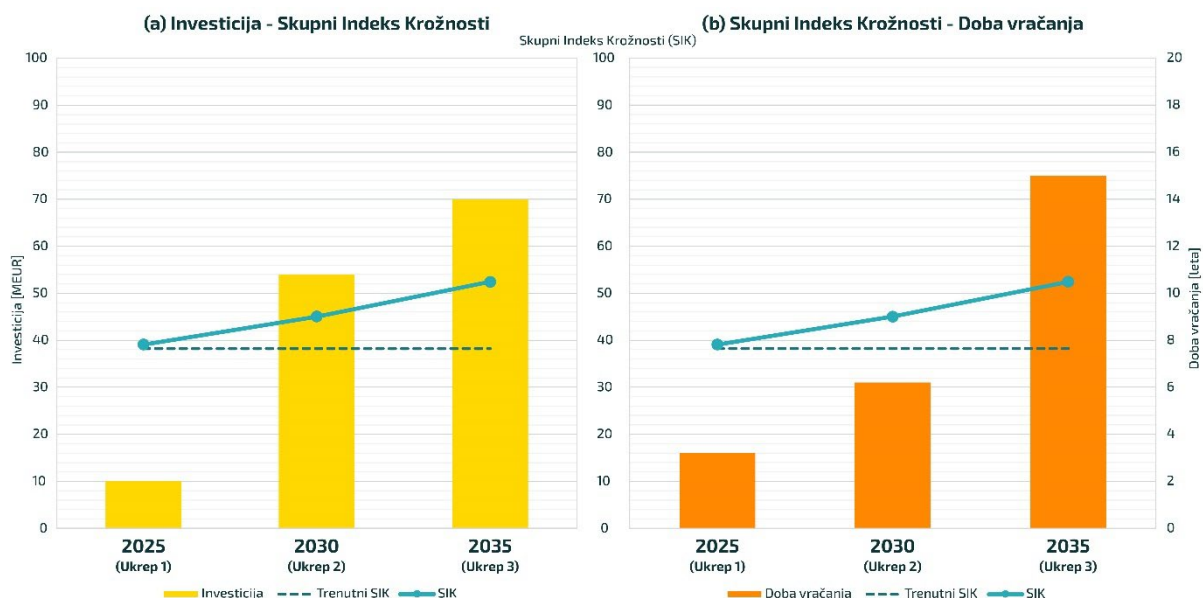
Tabela 7: Rezultati tehno-ekonomske analize

Rezultat	Enota	Ukrep 1	Ukrep 2	Ukrep 3
Leto implementacije		2025	2030	2035
Investicija	MEUR	10	54	70
Strošek elektrike in zemeljskega plina	MEUR/leto	33,1	23,5	19,4
Inkrementalno zmanjšanje stroškov elektrike in zemeljskega plina	MEUR/leto	-3,7	-9,6	-4,1
Delež obnovljivih virov	%	5,3	27,2	58,5
Inkrementalno zmanjšanje emisij	kt/leto CO ₂ eq	-4,7	-23,3	-19,2
Doba vračanja	leta	3,2	6,2	15,0

Slika 22 povzema ključne rezultate predlaganih ukrepov. Slika 22a prikazuje razmerje med kumulativno rastjo skupnega kazalnika krožnosti in potrebnimi investicijami za vsak ukrep, medtem ko slika 22b prikazuje dobo vračanja za vsak ukrep. Z izvedbo ukrepa 1 se skupni kazalnik krožnosti poveča z zdajšnjih 38,3 točke na 39,1. Po izvedbi ukrepa 2 se kazalnik dvigne na 45,1, z ukrepom 3 pa končno doseže 52,4.



Glede na predvideno povečanje skupnega kazalnika krožnega gospodarstva z 38,3 na 52,4 točke in skupno ocenjeno investicijo za vse tri ukrepe (134 milijonov EUR), je izračunano, da bi potrebna investicija za dvig skupnega indeksa krožnosti za 1 točko znašala približno 10 milijonov EUR. Seveda tega rezultata ni mogoče posploševati na celoten zeleni oz. krožni prehod, saj ekonomska uspešnost temelji na različnih dejavnikih, kot so velikost podjetja, poraba energije, učinkovitost obstoječih tehnologij in vrsta izvedenih ukrepov. Kljub temu ta okvirna ocena nudi osnovno predstavbo o obsežnih finančnih naložbah, potrebnih za izboljšanje krožnosti.



Slika 22: Vpliv spremembe v investiciji in LCOE za fotovoltaike na neto sedanjo vrednost



6 Študijski primer za mezo nivo – kmetijski sektor

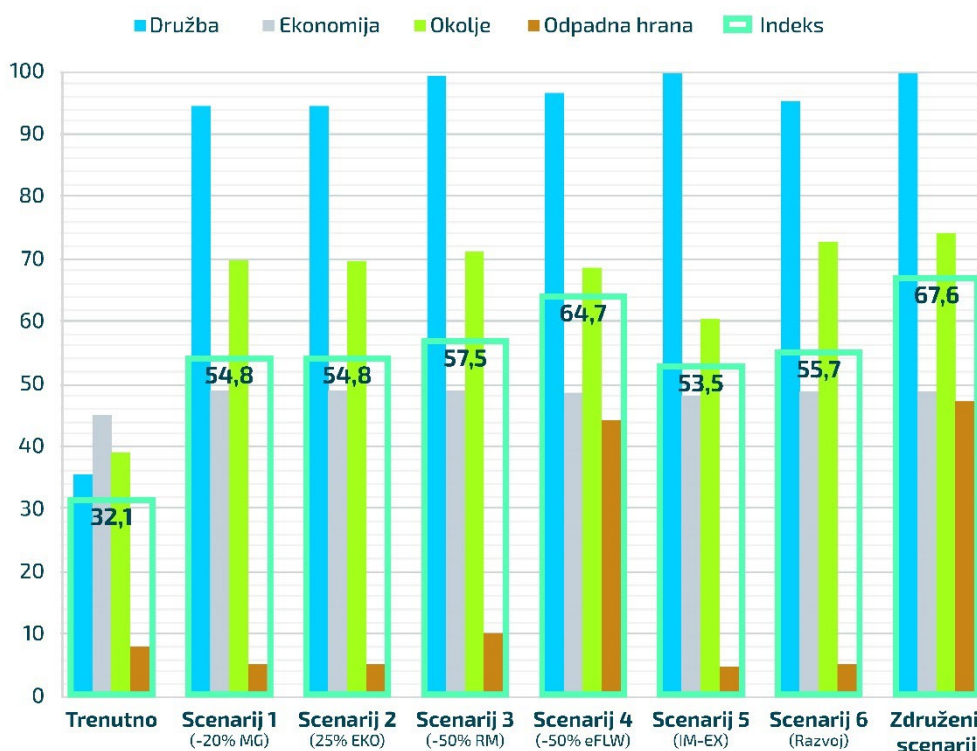
Kmetijski sektor je bil izbran za analizo specifičnega gospodarskega sektorja določene države, kar je ena izmed entitet, ki je lahko definirana kot mezo nivo. Podatki in kazalniki za ta primer so bili definirani v tretjem poglavju in so razvidni na slikah 7 in 9.

Indeks krožnosti kmetijstva smo vpeljali v optimizacijski model kmetijskega sektorja v obliki večnamenske optimizacijske funkcije. Na podlagi pregleda strategije Od vil do vilic in poročila CGR poročila za Nizozemsko so bili oblikovani scenariji za doseganje krožnosti in trajnosti kmetijskega sektorja, ki sledijo splošnim ukrepom za doseganje krožnosti in trajnosti, kot so: zmanjšanje porabe umetnih gnojil in pesticidov, spodbujanje regenerativnih strategij, kot je ekološko kmetijstvo, zmanjšanje porabe hrane, zmanjšanje odpadne hrane, spodbujanje lokalne proizvodnje, povečevanje učinkovitosti [5], [43]. Čeprav se na prvi pogled nekateri od teh ukrepov zdijo povezani predvsem z zmanjšanjem ogljičnega odtisa oziroma širše z izboljšanjem trajnostne pridelave hrane, prispevajo tudi k povečanju krožnosti. Na primer, zmanjšanje uporabe umetnih gnojil zmanjšuje odvisnost od neobnovljivih virov in spodbuja uporabo naravnih gnojil, kot je živalski gnoj, kar podpira naravne procese obnove hranil v tleh ter ohranjanje njihove rodovitnosti. Poleg tega podatki, potrebni za oceno krožnosti kmetijstva, ki bi bili v večji meri usklajeni s podatki za države ali podjetja, trenutno niso dostopni, kar predstavlja izziv pri oblikovanju kategorij in kazalnikov za oceno krožnosti v kmetijstvu.

Oblikovanih je bilo šest scenarijev, ki povzemajo posamezne ukrepe evropskih in nacionalnih strategij za kmetijstvo ter skupni scenarij, v katerem so bile združene spremembe iz vseh prejšnjih scenarijev. Z uporabo novega indeksa krožnosti kmetijskega sektorja smo ocenili, koliko se v posameznem scenariju izboljša vrednost indeksa in tako ocenili, kaj je najbolj pomembno za doseganje ciljev krožnosti in trajnostnega razvoja. Na ta način scenariji skupaj oblikujejo celostno strategijo za povečanje krožnosti in trajnosti prehranske verige:

- 1. scenarij: 20 % znižanje porabe umetnih gnojil
- 2. scenarij: 25 % od vseh kmetijskih površin se nameni ekološkemu kmetovanju
- 3. scenarij: 50 % znižanje uživanja svinjine, govedine in jagnjetine
- 4. scenarij: 50 % znižanje nastajanja užitne odpadne hrane
- 5. scenarij: prepoved uvoza in izvoza hrane živalskega izvora in krme za živali
- 6. scenarij: razvoj tehnologij za pridelavo, ki bi za 10 % izboljšale hektarske donose ob 10 % manjši porabi umetnih gnojil
- združeni scenarij: združuje vse prej navedene scenarije.

Na sliki 23 so prikazane vrednosti indeksa krožnosti kmetijstva in podindeksov posameznih kategorij v vseh scenarijih.



Slika 23: Vrednosti indeksa krožnosti kmetijstva in podindeksov kategorij v posameznih scenarijih

(-20% MG: 20-odstotno znižanje mineralnih gnojil, 25 % EKO: 25 % površin z ekološko pridelavo, -50 % RM: 50-odstotno znižanje porabe rdečega mesa, -50 % IH: 50-odstotno znižanje užitne odpadne hrane, UV-IZ: ni uvoza in izvoza hrane živalskega izvora in krme za živali, Razvoj: 10-odstotno povečanje učinkovitosti pridelave)

Na sliki 23 je razvidno, da indeks krožnosti slovenskega kmetijstva trenutno znaša 32,1 točk (od maksimalno možnih 100 točk). Najslabšo vrednost podindeksa izmed vseh štirih kategorij dosega kategorija izgube hrane, ki znaša manj kot 10 točk. Najboljšo vrednost podindeksa dosega kategorija ekonomija, vendar ni višja od 50 točk. To kaže, da ima slovensko kmetijstvo veliko priložnosti za izboljšanje.

Pri optimizaciji razporeditve kmetijskih površin, kjer je indeks krožnosti kmetijstva v matematični model vpeljan kot večnamenski optimizacijski kriterij, se vrednost indeksa izboljša nad 50 točk tako za vsak posamezni scenarij kot tudi v združenem scenariju. Pri scenariju, kjer je predvideno znižanje nastale užitne odpadne hrane za 50 %, bi se vrednost indeksa približala celo vrednosti 65 točk, kar kaže na velik vpliv tega parametra na krožnost kmetijskega sektorja. Ob realizaciji vseh sprememb v kmetijstvu (združeni scenarij) bi znašal indeks krožnosti kmetijstva 67,6 točk, kar je najvišja vrednost izmed vseh scenarijev.

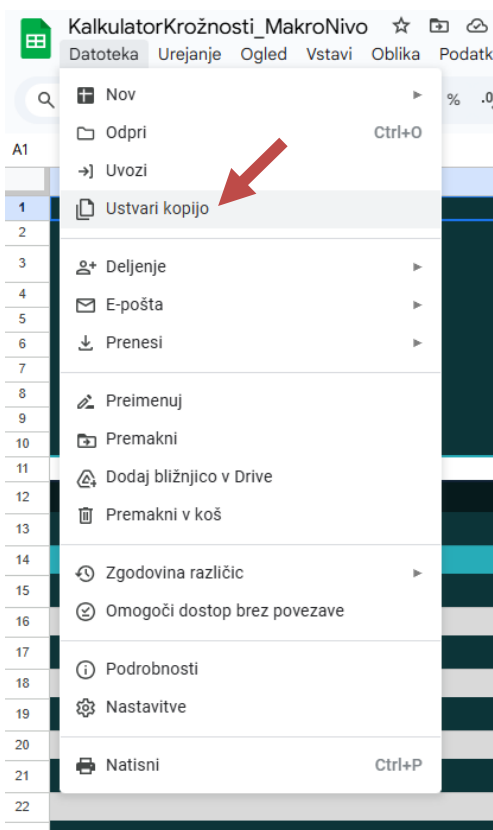
Pri optimizaciji je v vseh sedmih primerih opazno, da se vrednost podindeksa kategorije družba skoraj potroji, kar pomeni, da se dvignejo stopnje samooskrbe z različnimi vrstami hrane. Vrednost podindeksa za emisije se v večini scenarijev skoraj podvoji, nekoliko manj se poveča le pri ukinitvi uvoza in izvoza hrane živalskega izvora in krme za živali. Vrednost podindeksa ekonomija se nekoliko poveča v vseh obravnavanih scenarijih. Vrednost podindeksa izgube hrane se opazno poveča le v scenariju, kjer se zniža nastajanje užitne odpadne hrane in v združenem scenariju, v ostalih scenarijih ostane enaka ali se celo nekoliko poslabša.

7 Kalkulator za oceno krožnosti

V sklopu projekta CRP V2-2279 so bili razviti trije spletni kalkulatorji za oceno krožnosti, ki delujejo na osnovi Google Preglednic in so na voljo za javno uporabo. Ti kalkulatorji so bili uporabljeni za izdelavo ocen krožnosti na makro, mezo in mikro nivoju. Kalkulatorji so na voljo na naslednjih povezavah:

- [Spletni kalkulator za makro nivo](#)
- [Spletni kalkulator za mezo nivo](#)
- [Spletni kalkulator za mikro nivo](#)

Za uporabo kalkulatorja je treba odpreti originalno preglednico na zgornji povezavi in ustvariti kopijo na osebнем računu Google Drive z ukazom Datoteka, Ustvari kopijo (slika 24).



Slika 24: Navodila za lastno uporabo kalkulatorja

Na sliki 25 je prikazan spletni kalkulator krožnosti za makro nivo na primeru Slovenije med letoma 2018 in 2022.

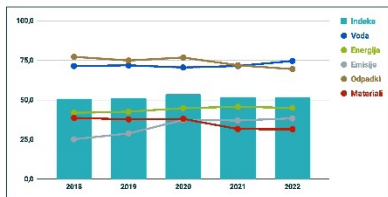


Ocena indeksa krožnosti države za obdobje: 2018 - 2022

Slovenija

Makro nivo: Država

Podatki o emisiji
Država
Slovenija
Leto poročanja
2022
Misla
Vir podatkov
SURS
Štetna stran
Don datuma
1.6.2024
Normirano plačilo na
Število prebivalcev



Splošni podatki						
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022
Število prebivalcev		2.046.680	2.080.808	2.095.861	2.108.877	2.107.180
Podatki o kategoriji: Voda						
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022
Načrpana voda	1000 m³	940.326	944.406	1.005.039	931.935	821.948
Izpost. predelane vode in agri. odpadno onesnoženo vode	1000 m³	895.006	887.235	946.875	888.415	759.218
Izpost. predelane vode s trdnimi delci	1000 m³	103.800	110.000	102.000	106.000	94.000
Prečiščena voda	1000 m³	10.503	14.827	13.812	13.522	12.790
Voda v reciklaciji	1000 m³	197.152	116.439	101.282	876.110	864.976
Vredn. uporabljen. voda	1000 m³	25.520	28.252	23.432	25.195	23.586

Podatki o kategoriji: Energija						
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022
Čistota energetske oskrbe	TJ	288.082	282.445	267.150	276.711	268.011
Oskrba z energijo iz obnovljivih virov energije (OVE)	TJ	50.519	50.864	52.371	54.977	45.963
Oskrba z energijo	TJ	148.809	147.424	154.133	143.015	131.135
Proizvedena obnovljiva energija	TJ	110.405	104.762	112.202	112.948	103.403
Proizvedena energija iz OVE	TJ	10.122	10.119	10.209	10.007	12.193
Proizvedena obnovljiva energija	TJ	61.018	63.585	69.393	62.247	61.151

Podatki o kategoriji: Emisije						
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022
Emisije toplotnega ekvivalenta (TEP)	10.000 t	11.645	11.152	10.330	10.014	10.016
Emisije CO ₂	10.000 t	14.850	14.939	14.590	15.039	14.797
Emisije CH ₄	10.000 t	2.116	2.120	2.099	2.047	1.908
Emisije NO ₂	10.000 t	585	582	577	581	573
Emisije aerodilov toplotne sile (AOT) (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆)	10.000 t	210,3	204,9	220,5	223,9	223,9

Podatki o kategoriji: Odpadki						
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022
Masa recikliranih odpadkov	t	8.303.847	8.443.948	14.649.111	14.415.127	11.069.227
Masa odpadkov, preverjenih z odpadnimi	t	139.352	145.800	138.296	140.072	110.001
Masa odpadkov, preverjenih z odpadnimi	t	139.352	145.800	138.296	140.072	110.001
Masa recikliranih odpadkov	t	8.164.495	8.298.148	14.510.815	14.275.055	10.959.226
Masa odpadkov, preverjenih z odpadnimi	t	139.352	145.800	138.296	140.072	110.001
Masa odpadkov, preverjenih z odpadnimi	t	139.352	145.800	138.296	140.072	110.001

Podatki o kategoriji: Materiali						
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	t	0,108	0,109	0,108	0,101	0,100
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	t	0,108	0,109	0,108	0,101	0,100
Poraba plastike za enkratno uporabo na prebivalca	kg	117	12,0	11,9	13,1	13,1
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	t	0,108	0,109	0,108	0,101	0,100
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	t	0,108	0,109	0,108	0,101	0,100

CRP Projekt V2-2279



Indeksi krožnosti						
Indeksi krožnosti države	2018	2019	2020	2021	2022	
	59,8	51,2	51,5	51,5	51,8	
Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Voda						
Normirani kazalniki	2018	2019	2020	2021	2022	Učel
Načrpana voda na prebivalca	30,8	32,2	28,5	34,0	41,5	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	89,2	89,0	90,3	89,1	88,9	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	98,4	98,4	98,6	98,5	98,5	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	17,3	17,8	16,6	16,0	17,1	37,5%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	74,2	74,6	76,4	78,9	79,0	37,5%
Podatki o kategoriji: Voda	71,6	71,8	70,5	71,6	74,6	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Energija						
Normirani kazalniki	2018	2019	2020	2021	2022	Učel
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	29,5	31,5	35,6	34,2	35,8	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	17,6	17,8	16,6	16,0	17,1	37,5%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	74,2	74,6	76,4	78,9	79,0	37,5%
Podatki o kategoriji: Energija	41,8	42,5	44,9	45,7	41,6	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Emisije						
Normirani kazalniki	2018	2019	2020	2021	2022	Učel
Emisije TEP na prebivalca	27,8	30,3	33,7	35,5	37,3	75,0%
Emisije CO ₂ na prebivalca	17,2	24,8	42,0	41,8	40,4	25,0%
Podatki o kategoriji: Emisije	35,2	38,8	37,3	37,0	38,4	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Odpadki						
Normirani kazalniki	2018	2019	2020	2021	2022	Učel
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	30,8	32,2	28,5	34,0	41,5	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	89,2	89,0	90,3	89,1	88,9	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	98,4	98,4	98,6	98,5	98,5	25,0%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	17,3	17,8	16,6	16,0	17,1	37,5%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	74,2	74,6	76,4	78,9	79,0	37,5%
Podatki o kategoriji: Odpadki	71,2	74,9	76,8	71,9	84,5	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Materiali						
Normirani kazalniki	2018	2019	2020	2021	2022	Učel
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	10,8	10,9	10,8	10,6	10,0	33,3%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	10,8	10,9	10,8	10,6	10,0	33,3%
Odkritje odpadnih materialov v krožnosti	37,1	35,2	35,6	28,4	28,4	33,3%
Podatki o kategoriji: Materiali	30,8	31,7	30,8	31,8	31,1	20,0%

Avtorji

Jan Dorenšek¹, Zorika Novak Pintarič², Tine Seljak²

Financirja



Slika 25: Spletni kalkulator krožnosti za makro nivo - primer Slovenije



7.1 Delovanje spletnih kalkulatorjev krožnosti

Vsak izmed spletnih kalkulatorjev krožnosti je sestavljen iz sedmih elementov, ki so:

- podatki o entiteti, tj. objektu in obdobju analiziranja, ki jih vstavi uporabnik
- naslovna vrstica na vrhu lista, ki se prilagodi avtomatsko glede na vnos uporabnika
- tabele za vnos podatkov za oceno krožnosti na levi strani lista, ki jih vstavi uporabnik
- tabele z nenormiranimi vrednostmi kazalnikov na desni strani lista, ki se preračunajo avtomatsko
- tabele z normiranimi vrednostmi kazalnikov na sredini lista, ki se preračunajo avtomatsko
- grafični prikaz, ki se ustvari avtomatsko na zgornjem delu lista
- podatki o avtorjih in financerjih projekta ter logotipi projekta, raziskovalnih ustanov izvajalcev in financerjev projekta na dnu lista.

7.1.1 Podatki o entiteti in naslovna vrstica

Najprej je treba vnesti, katero entiteto (državo, regijo ali podjetje) obravnavamo. Pri mezo ravni je na voljo spustni seznam z vsemi dvanajstimi statističnimi regijami v Sloveniji. Nato se določi leto, za katero želimo izvesti oceno krožnosti in vir podatkov. Slika 26 prikazuje osnovne podatke, ki jih je treba vnesti v spletni kalkulator. Ključni podatki za vsak kalkulator so označeni z različnimi barvami za jasnejšo ločitev: turkizna za makro raven, rumena za mezo raven in pastelno rdeča za mikro raven.

Pri makro ravni se nato vnese povezava do spletne strani portala, od koder so bili podatki pridobljeni ter datum dostopa. Iz spustnega seznama lahko uporabnik kot vir podatkov izbere bazo SURS ali Eurostat (prenos podatkov iz baz ni avtomatiziran). Na mikro ravni lahko uporabnik kot vir podatkov iz spustnega seznama izbere trajnostna poročila ali podatke, pridobljene neposredno iz podjetja. Na voljo je tudi spustni seznam za izbiro sektorja, v katerega se uvršča podjetje, to je proizvodnja, storitve ali energetika in možnost izračuna na monetarni osnovi. Ta izbira vpliva na osnovni podatek, na katerega se preračunavajo preostali podatki. Na mikro ravni je prav tako mogoče vnesti specifično panogo, v kateri deluje podjetje. Na makro in mezo ravni je mogoče izbrati osnovni podatek, na katerega se preračunajo vsi ostali podatki, tj. bodisi število prebivalcev bodisi BDP na prebivalca.

Podatki o entiteti	Podatki o entiteti	Podatki o entiteti
Država	Statistična regija	Podjetje
Slovenija	Podravska	Podjetje 1
Leto poročanja	Leto poročanja	Leto poročanja
2022		2024
Nivo	Nivo	Nivo
Makro	Mezo	Mikro
Vir podatkov	Vir podatkov	Vir podatkov
SURS		Trajnostno poročilo
Spletna stran	Spletna stran	Sektor
		Proizvodnja
Dan dostopa	Dan dostopa	Panoga
1. 6. 2024		Farmacija
Normirano glede na	Normirano glede na	Normirano glede na
Število prebivalcev	Število prebivalcev	Masa produktov

Slika 26: Podatki o entiteti

Naslovne vrstice spletnega kalkulatorja so prikazane na sliki 27 in so oblikovane glede na vnešene podatke o entiteti. Prikazujejo informacije o ravni izračuna krožnosti, entiteti, obdobju izračuna krožnosti, pri mikro ravni pa tudi podatke o sektorju in panogi.



Slika 27: Naslovna vrstica kalkulatorja

7.1.2 Tabele za vnos podatkov

Osrednji del lista predstavljajo tabele, namenjene izračunu indeksa krožnosti. Levi sklop tabel, ki je podrobneje prikazan na sliki 28, je namenjen vnosu podatkov, ki jih mora uporabnik vstaviti za izračun indeksa krožnosti. Vnesti je treba podatke, navedene v poglavju 3.

Splošni podatki							
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Opombe
Število prebivalcev	-	2.066.880	2.080.908	2.095.861	2.108.977	2.107.180	

Podatki o kategoriji: Voda							
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Opombe
Načrpana voda	1000 m³	960.326	944.406	1.003.039	931.595	827.546	
Izpust prečiščene vode in zgolj toplotno onesnažene vode	1000 m³	895.008	887.235	946.975	868.445	754.218	
Izpust neprečiščene vode s trdnimi delci	1000 m³	108.000	110.000	102.000	106.000	94.000	
Poraba vode	1000 m³	15.103	14.927	13.912	13.522	12.730	
Voda v reciklaciji	1000 m³	937.552	935.638	901.282	816.890	864.914	
Vnovič uporabljena voda	1000 m³	25.520	26.252	23.452	26.185	23.866	

Podatki o kategoriji: Energija							
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Opombe
Celotna poraba energije	TJ	288.002	282.448	267.450	274.711	268.011	
Oskrba z energijo iz obnovljivih virov energije (OVE)	TJ	50.619	50.444	52.371	54.977	45.963	
Oskrba z energijo	TJ	148.809	147.424	154.133	143.015	131.135	
Proizvodnja brezogljene energije	TJ	110.488	109.920	117.702	112.848	103.601	
Proizvodnja energije iz OVE	TJ	47.472	46.415	48.399	50.601	42.450	
Proizvodnja nuklearne energije	TJ	63.016	63.505	69.303	62.247	61.151	

Podatki o kategoriji: Emisije							
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Opombe
Emisije toplogrednih plinov (TGP)	kt CO ₂ eq.	17.646	17.152	15.930	16.074	15.615	
Emisije CO ₂	kt	14.520	14.039	12.855	13.059	12.701	
Emisije CH ₄	kt	2.144	2.120	2.090	2.047	1.908	
Emisije N ₂ O	kt	646	682	677	661	703	
Emisije onesnaževal zraka (NO _x , SO _x , NH ₃ , CO, prahu, in NMVOC)	kt	310,3	284,9	220,5	223,9	223,9	

Podatki o kategoriji: Odpadki							
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Opombe
Masa nastalih odpadkov	t	8.360.667	8.413.858	7.669.111	9.435.327	11.659.227	
Masa nastalih nevarnih odpadkov	t	139.732	145.890	138.296	140.097	140.001	
Masa odpadkov, preusmerjenih z odlaganja	t	7.964.414	7.435.123	6.758.644	8.082.572	11.001.950	
Masa recikliranih odpadkov	t	3.595.803	3.448.297	3.193.220	3.343.167	3.005.352	
Masa sežganih odpadkov, za pridobivanje goriva	t	206.733	203.332	191.399	154.738	133.613	
Masa drugače predelanih odpadkov	t	4.161.878	3.783.494	3.374.025	4.584.667	7.862.985	

Podatki o kategoriji: Materiali							
Podatek	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Opombe
Delež uporabe materiala v kroženju	-	0,108	0,109	0,106	0,104	0,100	
Delež recikliranja odpadne embalaže	-	0,68	0,67	0,68	0,55	0,55	
Poraba plastike za enkratno uporabo na prebivalca	kg	11,7	12,0	11,9	13,1	13,1	
Delež recikliranja odpadne plastične embalaže	-	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	
Nastojanje odpadne plastike	kg	23,9	23,9	23,7	26,2	26,2	

Slika 28: Sklop tabel za vnos podatkov



7.1.3 Tabele za izračun kazalnikov, njihovih normiranih vrednosti in vizualizacija

Sredinski sklop tabel vsebuje izračunane vrednosti normiranih kazalnikov v območju med 0 in 100, vrednosti podindeksov posameznih kategorij ter vrednosti skupnega indeksa krožnosti za leta iz preučevanega obdobja. Preračuni potekajo avtomatsko, tako da uporabnik v ta sklop ne posega. V zadnjem stolpcu sredinskega dela so uteži posameznih normiranih kazalnikov znotraj kategorij zapisane s poševno pisavo, medtem ko zadnja vrstica vsake tabele prikazuje uteži posameznih kategorij, ki prispevajo k izračunu skupnega indeksa krožnosti (slika 29).

Indeks krožnosti						
	2018	2019	2020	2021	2022	
Indeks krožnosti države	50,8	51,2	53,5	51,5	51,8	

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Voda						
Normiran kazalnik	2018	2019	2020	2021	2022	Utež
Načrpana voda na prebivalca	30,6	32,2	28,5	34,0	41,3	25,0%
Delež izpusta onesnažene vode na celoten izpust vode	89,2	89,0	90,3	89,1	88,9	25,0%
Delež porabljene vode na načrpano vode	98,4	98,4	98,6	98,5	98,5	25,0%
Mnogokratnik kroženja vode v državi	67,3	67,8	64,6	64,0	69,7	25,0%
Podindeks kategorije: Voda	71,4	71,9	70,5	71,4	74,6	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Energija						
Normiran kazalnik	2018	2019	2020	2021	2022	Utež
Oskrba z energijo na prebivalca	29,6	31,5	35,6	34,2	35,8	25,0%
Delež oskrbe z energijo iz OVE	17,6	17,9	19,6	20,0	17,1	37,5%
Delež proizvedene brezogljične energije	74,2	74,6	76,4	78,9	79,0	37,5%
Podindeks kategorije: Energija	41,8	42,5	44,9	45,7	45,0	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Emisije						
Normiran kazalnik	2018	2019	2020	2021	2022	Utež
Emisije TGP na prebivalca	27,8	30,3	35,7	35,5	37,3	75,0%
Emisije onesnaževal zraka na prebivalca	17,2	24,5	42,0	41,5	41,4	25,0%
Podindeks kategorije: Emisije	25,2	28,8	37,3	37,0	38,4	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Odpadki						
Normiran kazalnik	2018	2019	2020	2021	2022	Utež
Masa nastalih odpadkov na prebivalca	38,0	38,0	43,9	31,4	15,2	33,3%
Delež nastalih nevarnih odpadkov	98,4	98,3	98,2	98,5	98,8	33,3%
Delež odpadkov preusmerjenih z odlaganja	95,3	88,4	88,1	85,7	94,4	33,3%
Podindeks kategorije: Odpadki	77,2	74,9	76,8	71,9	69,5	20,0%

Vrednosti normiranih kazalnikov kategorije: Materiali						
Normiran kazalnik	2018	2019	2020	2021	2022	Utež
Delež uporabe materiala v kroženju	10,8	10,9	10,6	10,4	10,0	33,3%
Delež recikliranja odpadne embalaže	68,0	67,1	67,9	55,1	55,1	33,3%
Nastajanje odpadne plastike za enkratno uporabo na prebivalca	37,1	35,2	35,6	29,4	29,4	33,3%
Podindeks kategorije: Materiali	38,6	37,7	38,0	31,6	31,5	20,0%

Slika 29: Sklop tabel z izračuni vrednosti normiranih kazalnikov, podindeksov kategorij in skupnega indeksa krožnosti

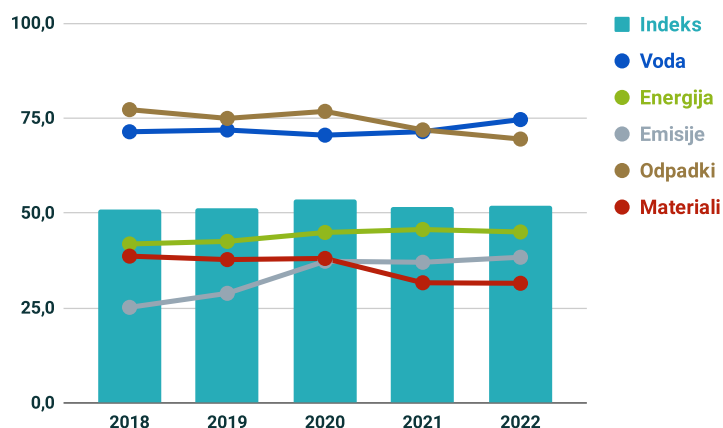
Slika 30 prikazuje sklop tabel z nenormiranimi vrednostmi kazalnikov v merskih enotah, ki v spletnem kalkulatorju zavzemajo desno stran zaslona. V teh tabelah so podatki preračunani na izbrano osnovo, npr. na tono ali prebivalca, oziroma podani kot deleži. V zadnjem stolpcu so prikazane povprečne vrednosti posameznega kazalnika v analiziranem časovnem obdobju.



Vrednosti kazalnikov kategorije: Voda							
Kazalnik	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Povprečje
Načrpana voda na prebivalca	m ³	465	454	479	442	393	446
Delež izpusta onesnažene vode na celoten izpust vode	%	10,8	11,0	9,7	10,9	11,1	10,7
Delež porabljene vode na načrpano vode	%	1,6	1,6	1,4	1,5	1,5	1,5
Mnogokratnik kroženja vode v državi	m ³ /m ³	2,00	2,02	1,92	1,90	2,07	2,0
Vrednosti kazalnikov kategorije: Energija							
Kazalnik	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Povprečje
Oskrba z energijo na prebivalca	GJ	139	136	128	130	127	132
Delež oskrbe z energijo iz OVE	%	17,6	18	20	20	17	18,4
Delež proizvedene brezogljične energije	%	74,2	75	76	79	79	76,6
Vrednosti kazalnikov kategorije: Emisije							
Kazalnik	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Povprečje
Emisije TGP na prebivalca	t CO ₂ eq.	8,5	8,2	7,6	7,6	7,4	7,9
Emisije onesnaževal zraka na prebivalca	t	0,15	0,14	0,11	0,11	0,11	0,12
Vrednosti kazalnikov kategorije: Odpadki							
Kazalnik	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Povprečje
Masa nastalih odpadkov na prebivalca	t odpadkov	4,0	4,0	3,7	4,5	5,5	4,4
Delež nastalih nevarnih odpadkov	%	1,6	1,7	1,8	1,5	1,2	1,6
Delež odpadkov preusmerjenih z odlaganja	%	95,3	88,4	88,1	85,7	94,4	90,4
Vrednosti kazalnikov kategorije: Materiali							
Kazalnik	Enota	2018	2019	2020	2021	2022	Povprečje
Delež uporabe materiala v kroženju	%	10,8	10,9	10,6	10,4	10,0	10,5
Delež recikliranja odpadne embalaže	%	68,0	67,1	67,9	55,1	55,1	62,6
Nastajanje odpadne plastike za enkratno uporabo na prebivalca	kg	11,7	12,0	11,9	13,1	13,1	12,4

Slika 30: Sklop tabel z vrednostmi kazalnikov

Spletni kalkulator za oceno krožnosti vsebuje tudi graf za vizualizacijo rezultatov. Ta graf je prikazan na sliki 31. Črte v grafu prikazujejo spreminjanje vrednosti podindeksov posameznih kategorij v preučevanem obdobju. Stolpci prikazujejo vrednosti skupnega indeksa krožnosti v vsakem letu preučevanega obdobja.



Slika 31: Graf za vizualizacijo rezultatov



8 Diskusija in priporočila

Raziskave, izvedene v tem projektu, so razkrile, da je stanje krožnosti v Sloveniji zadovoljivo, saj znaša skupni indeks krožnosti v petih letih od 2018 do 2022 malo nad 50 točk na lestvici od 0 (linearno) do 100 (krožno). Dobro stanje je na področjih vode in odpadkov, kjer so vrednosti nad 50 %, zaostajajo pa področja energija, emisije in materiali. Analiza občutljivosti je pokazala, da bi najhitrejši napredek proti krožnemu gospodarstvu prineslo povečanje deleža proizvedene brezogljične energije in zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Ta ukrepa sta sinergistično povezana in izdatno obdelana v dokumentu Nacionalni energetske in podnebni načrt (NEPN). Naša analiza je pokazala, da bi s scenarijem dodatnih ukrepov s poudarkom na obnovljivih virih (DU-OVE v NEPN) skupni indeks krožnosti v Sloveniji narasel s sedanjih 51,8 na 62,9 točk, ob scenariju s poudarkom na jedrski energiji (DU-JE v NEPN) pa na 61,2 točk.

Pomemben vpliv na izboljšanje skupnega indeksa krožnosti imata tudi parametra recikliranje odpadne embalaže in količina odpadkov, ki tvorita kategorijo odpadki. Vrednost podindeksa te kategorije je sicer na visoki ravni (okoli 70 točk), vendar kaže trend nižanja, saj po podatkih SURS narašča masa vseh nastalih odpadkov (7,67 Mt v letu 2020 in 11,66 Mt v 2022). Zato je pomembno tudi temu področju posvetiti primerno pozornost, da se zaustavi trend padanja podindeksa.

Na osnovi rezultatov in spoznanj, pridobljenih v projektu, oblikujemo naslednje usmeritve za prehod Slovenije v krožno gospodarstvo:

1. Spodbujanje uporabe obnovljivih virov energije. Slovenija naj dodatno spodbuja naložbe v proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, kot so sončne, vetrne in hidroelektrarne. Pomembno je povečanje zmogljivosti za skladiščenje energije in nadgradnja energetske infrastrukture. Cilj naj bi bil popoln prehod na brezogljično energijo, saj analiza kaže, da bi to najbolj pozitivno vplivalo na krožnost.
2. Povečanje energetske učinkovitosti. Slovenija naj spodbuja programe za energetske učinkovitost na vseh ravneh z ukrepi za izboljšanje stavbne infrastrukture, optimizacijo procesov in povečanje učinkovitosti proizvodnih verig.
3. Spodbujanje recikliranja in zmanjševanja odpadkov. Pomembno je izboljšati zakonodajo in izvajanje strategij ter nadzora za zmanjševanje odpadkov; izboljšati sisteme ločevanja, zbiranja in sledenja odpadkom; povečati delež recikliranih materialov s spodbudami za podjetja, ki vlagajo v tehnologije za recikliranje, predelavo odpadkov in uporabo sekundarnih surovin; spodbujati raziskave in razvoj na področju tehnologij recikliranja in rabe sekundarnih surovin ter povezovanje podjetij v dobavne mreže sekundarnih surovin (industrijska simbioza).
4. Prehod na krožno upravljanje z materiali. Spodbujati je potrebno vzpostavljanje krožnih tokov, v katerih se reciklirani materiali ponovno uporabijo za izdelavo novih izdelkov, da se zmanjša raba novih surovin; vlagati v raziskave in razvoj novih materialov, ki so bolj trajnostni; okrepiti spodbude za podjetja in raziskovalne organizacije, ki razvijajo produkte iz recikliranih materialov in uporabljajo biorazgradljive alternative v svojih izdelkih - zlasti v industrijah, kjer je razvoj ustreznih tehnologij na visoki stopnji TRL, kot so gradbeništvo, embalaža in avtomobilska industrija.
5. Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Poudarek je na zmanjševanju emisij toplogrednih plinov z uvedbo tehnologij, ki omogočajo večjo energetske učinkovitost in uporabo obnovljivih virov energije, zlasti v industriji, prometu in energetiki, kjer je poraba fosilnih goriv največja. Manjša raba novih materialov prav tako prispeva k nižanju emisij. Potrebno je spodbujanje raziskav na področju tehnologij za zajem CO₂ in njegovo uporabo npr. za pretvorbo v kemikalije in goriva, mineralizacijo v gradbeništvo, uporabo v kmetijstvu. Ali so možni uvedba strožjih emisijskih standardov in večje finančne spodbude za podjetja, ki



- investirajo v razvoj in implementacijo rešitev za zmanjšanje emisij, kot so zajem in uporaba CO₂ ter prehod na brezogljne vire energije?
6. Spodbujanje krožnosti v kmetijskem sektorju. V kmetijstvu je potrebno pospešiti prehod k trajnostnim praksam, kot so ekološko kmetovanje, zmanjšanje porabe umetnih gnojil in pesticidov ter uvajanje regenerativnih praks. Potrebna je trajnostna optimizacija prehranske verige, ki bi omogočila boljše upravljanje z viri in zmanjšanje izgub hrane, prav tako pa tudi vzgoja ljudi za zmanjšanje količin zaužite hrane, zlasti rdečega mesa. Pomembne so raziskave in razvoj za uvajanje učinkovitejših in okolju prijaznejših načinov pridelave hrane.
 7. Izobraževanje in ozaveščanje. Brez podpore najširše javnosti prehod v krožno gospodarstvo ne bo učinkovit. Večina prebivalstva v razvitem svetu še vedno raje zavrže dobrine, kot so oblačila, gospodinjski aparati, telefoni itd., in kupi nove, kot pristopi k popravilu in obnovi rabljenih. Izkušnje kažejo, da je sektor servisov in popravil na nekaterih področjih skorajda izginil. Potrebno je spodbujati izobraževalne vsebine, ki bi povečale zavest o krožnem gospodarstvu in okoljskih izzivih. Na slovenskih univerzah se oblikuje sistem krajših izobraževanj, ti. mikrodokazil, ki lahko za podjetja, študente in širšo javnost podajajo znanja o krožnih praksah.



9 Zaključek

Glavni cilj projekta V2-2279 je bil oblikovati koncept kvantitativne, večnivojske in usklajene metodologije za spremljanje krožnega gospodarstva v Sloveniji, ki vključuje povezavo kazalnikov na makro, mezo in mikro ravni – to pomeni na ravni države, regij, sektorjev in podjetij.

Cilj je dosežen, saj je bila razvita integrirana metodologija za ocenjevanje krožnosti po principu od zgoraj navzdol, ki ponuja dragocene vpoglede tako za oblikovalce politik kot tudi za vodstva podjetij. Uporablja podatke iz dostopnih virov, kot so Eurostat, SURS in trajnostna poročila podjetij ter izraža in prikazuje rezultate na usklajen način. S tem je omogočena primerljivost med različnimi nivoji ter analiza vpliva različnih ukrepov na napredovanje proti krožnemu gospodarstvu.

Uporaba razvitega pristopa je bila testirana na študijskih primerih treh nivojev: primer države Slovenije na makro nivoju, primer kmetijskega sektorja v Sloveniji na mezo nivoju in ocene za več podjetij na mikro nivoju. Ob tem je bila za eno podjetje poleg analize krožnosti izvedena tudi podrobnejša tehno-ekonomska analiza ukrepov za izboljšanje krožnosti. Med ključne rezultate projekta sodi tudi oblikovanje kalkulatorskih orodij za analizo krožnosti in razvoj sistema kazalnikov, ki omogočajo identifikacijo kritičnih področij za izboljšave.

Pregled zastavljenih hipotez v poglavju 1.3 kaže:

- Prva hipoteza je v celoti potrjena, saj je sistemov za kvantitativno spremljanje krožnosti ogromno, praviloma so namenjeni oceni na enem nivoju, torej mikro, mezo ali makro. Uporabljajo različne podatke in imajo različne načine izražanja in prikazovanja rezultatov.
- Javno dostopne baze, kot sta bazi SURS in Eurostat, vsebujeta veliko podatkov za države, ne pa tudi za regije in gospodarske sektorje. Trajnostna poročila podjetij niso povsem konsistentna, saj so podjetja med leti spreminjala metodologije, prisotne so nedoslednosti, napake in manjkajoči podatki. S tem je druga hipoteza deloma potrjena.
- Tretja in četrta hipoteza sta potrjeni, saj je bil v okviru projekta razvit koncept poenotene metodologije za vse tri nivoje in preizkušen na več študijskih primerih. Prav tako so bili ocenjeni vplivi različnih ukrepov na krožnost države in prikazani načrti za učinkovito implementacijo krožnih projektov na ravni podjetij.

Ob zaključku projekta izpostavljamo možnosti za nadaljnje raziskave:

- Nadaljnji razvoj kazalnikov krožnosti, prilagojenih posameznim nivojem in sektorjem, ki so pomembni za Slovenijo, bi omogočil oblikovanje ciljanih ukrepov za ključne slovenske industrijske sektorje, kot so npr. kemijska in farmacevtska industrija, industrija hrane in pijač, gradbeni sektor itd.
- Integracija načel 10R (R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R3 Reuse, R4 Repair, R5 Refurbish, R6 Remanufacture, R7 Repurpose, R8 Recycle, R9 Recover) v metodologijo za spremljanje krožnosti bi omogočila preciznejšo oceno krožnih praks, s tem pa oblikovanje učinkovitejših politik in ukrepov, npr. nižjih davkov za izvajanje načel R.
- Podrobnejše tehno-ekonomske analize tehnologij in ukrepov za preostale kategorije, npr. odpadke, vodo in materiale, bi dale celovitejšo projekcijo o stanju krožnosti v državi v naslednjih desetletjih s podobnimi zaključki in usmeritvami, kot jih podajajo poročila CGR.



10 Literatura

- [1] H. Ritchie, L. Rodés-Guirao, E. Mathieu, M. Gerber, E. Ortiz-Ospina, J. Hasell in M. Roser, „Population Growth,“ 2023. [Elektronski]. Available: <https://ourworldindata.org/population-growth>. [Poskus dostopa 29 9 2024].
- [2] Circle Economy Foundation and Deloitte, „The Circularity Gap Report 2024,“ 2024. [Elektronski]. Available: <https://www.circularity-gap.world/2024>. [Poskus dostopa 24 9 2024].
- [3] J. Kirchherr, N.-H. N. Yang, F. Schulze-Spüntrup, M. J. Heerink in K. Hartley, „Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions,“ Resources, Conservation and Recycling, Izv. 194, p. 107001, 2023.
- [4] M. Sharma, S. Joshi, M. Prasad in S. Bartwal, „Overcoming barriers to circular economy implementation in the oil & gas industry: Environmental and social implications,“ Journal of Cleaner Production, Izv. 391, p. 136133, 2023.
- [5] Circle Economy, „The Circularity Gap Report: the Netherlands,“ [Elektronski]. Available: <https://www.circularity-gap.world/netherlands>. [Poskus dostopa 26 9 2024].
- [6] F. C. d. O. Frascareli, M. Furlan, E. B. Mariano in D. Jugend, „A Macro-Level Circular Economy Index: Theoretical Proposal and Application in European Union Countries,“ Environ Dev Sustain, Izv. 26, p. 18297–18331, 2024.
- [7] M. Yang, L. Chen, J. Wang, G. Msigwa, A. I. Osman, S. Fawzy, D. W. Rooney in P.-S. Yap, „Circular Economy Strategies for Combating Climate Change and Other Environmental Issues,“ Environmental Chemistry Letters, Izv. 21, pp. 55-80, 2023.
- [8] R. A. Patil in S. Ramakrishna, Circularity Assessment: Macro to Nano, Singapore: Springer Singapore, 2023.
- [9] European Commission, „First circular economy action plan,“ 2015. [Elektronski]. Available: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en. [Poskus dostopa 23 9 2024].
- [10] European Comission, „Monitoring Framework for the Circular Economy,“ 16 1 2018. [Elektronski]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A29%3AFIN>. [Poskus dostopa 2024 9 23].
- [11] European Union, “European Green Deal - Delivering on our targets,” 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_3688. [Accessed 24 10 2022].
- [12] European Commission, „A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe,“ 11 3 2020. [Elektronski]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>. [Poskus dostopa 2024 9 23].
- [13] European Commission, „On a Revised Monitoring Framework for the Circular Economy,“ 15 5 2023. [Elektronski]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2023%3A306%3AFIN>. [Poskus dostopa 23 9 2024].
- [14] European Environment Agency and ISPRA, „Bellagio Declaration: Circular Economy Monitoring Principles,“ 4 12 2020. [Elektronski]. Available: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/measuring-europes-circular-economy/BellagioDeclaration.pdf>. [Poskus dostopa 23 9 2024].



- [15] European Commission, „Establishing a Framework for Ensuring a Secure and Sustainable Supply of Critical Raw Materials and Amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020,“ 3 5 2024. [Elektronski]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401252. [Poskus dostopa 23 9 2024].
- [16] Eurostat, „Circular economy - materials flows,“ 11 2023. [Elektronski]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Circular_economy_-_material_flows#Circularity_rate_E2.80.93_methodology. [Poskus dostopa 1 12 2023].
- [17] Eurostat, „Circular Economy: Database,“ 11 2022. [Elektronski]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/database>. [Poskus dostopa 1 12 2022].
- [18] Eurostat, „Circular material use rate,“ 14 11 2023. [Elektronski]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_cur/default/table?lang=en. [Poskus dostopa 15 12 2023].
- [19] Eurostat, „Material flow diagrams,“ 2023. [Elektronski]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/circular_economy/sankey.html?geos=EU_27_2020&unit=THS_T&materials=TOTAL&material=TOTAL&highlight=0&nodeDisagg=0101100100&flowDisagg=false&language=EN. [Poskus dostopa 14 1 2023].
- [20] A. Mayer, W. Haas, D. Wiedenhofer, F. Krausmann, P. Nuss in G. A. Blengini, „Measuring progress towards a circular economy: A monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28,“ *Journal of Industrial Ecology*, Izv. 23, št. 1, pp. 62-76, 2019.
- [21] Circle Economy, „The Circularity Gap Report 2023,“ 2023. [Elektronski]. Available: https://assets.website-files.com/5e185aa4d27bcf348400ed82/63ecb3ad94e12d3e5599cf54_CGR%202023%20-%20Report.pdf. [Poskus dostopa 15 12 2022].
- [22] Ellen MacArthur Foundation, „Material Circularity Indicator (MCI),“ 2015. [Elektronski]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>. [Poskus dostopa 15 10 2022].
- [23] Ellen MacArthur Foundation, „Circulytics: Measuring circular economy performance,“ [Elektronski]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/resources>. [Poskus dostopa 23 9 2023].
- [24] OECD, „Monitoring Progress towards a Resource-Efficient and Circular Economy,“ 26 6 2024. [Elektronski]. Available: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/3b644b83-en.pdf?expires=1729591101&id=id&accname=guest&checksum=68C2B1C18396C8E050377F07810C44A0>. [Poskus dostopa 15 10 2024].
- [25] K. Valls-Val, V. Ibáñez-Forés in M. D. Bovea, „How Can Organisations Measure Their Level of Circularity? A Review of Available Tools,“ *Journal of Cleaner Production*, Izv. 354, p. 131679, 2022.
- [26] A. De Pascale, R. Arbolino, K. Szopik-Depczyńska, M. Limosani in G. Ioppolo, „A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators,“ *Journal of Cleaner Production*, Izv. 281, p. 124942, 2021.



- [27] S. G. Baratsas, E. N. Pistikopoulos in S. Avraamidou, „A Quantitative and Holistic Circular Economy Assessment Framework at the Micro Level,“ *Computers and Chemical Engineering*, Izv. 160, p. 107697, 2022.
- [28] C. O. Nwankwo, K. A. Olu-lawal, E. C. Ani, E. D. Ugwuanyi in N. Ninduwezuor-Ehiobu, „Chemical Engineering and the Circular Water Economy: Simulations for Sustainable Water Management,“ *World Journal of Advanced Research and Reviews*, Izv. 21, št. 3, p. 001–009, 2024.
- [29] W. Leal Filho, K. Frizzo, J. H. P. Pires Eustachio, S. Tsani in P. G. Özuyar, „Integrating Climate Change Practices in a Circular Economy Context—The Perspective from Chemical Enterprises,“ *Sustainable Development*, Izv. 32, št. 3, pp. 2489-2505, 6 2024.
- [30] X. Wang in L. Liu, „The Impacts of Climate Change on the Hydrological Cycle and Water Resource Management,“ *Water*, Izv. 15, p. 2342, 2023.
- [31] M. Ishaq, G. Ghouse, R. Fernández-González, F. Puime-Guillén, N. Tandir in H. M. Santos de Oliveira, „From Fossil Energy to Renewable Energy: Why is Circular Economy Needed in the Energy Transition?,“ *Frontiers in Environmental Science*, Izv. 10, p. 941791, 2022.
- [32] K. Sharma, S. Tyagi, V. Bhardwaj, D. Tyagi, Y. K. Gautam in B. P. Singh, Chapter Eight - Greenhouse gas emissions from the industries, M. R. Rahimpour, M. A. Makarem in M. Meshksar, Ured., Elsevier, 2024, pp. 165-181.
- [33] E. Camón Luis in D. Celma, „Circular Economy. A Review and Bibliometric Analysis,“ *Sustainability*, Izv. 12, p. 6381, 2020.
- [34] A. Janik, A. Ryszko in M. Szafraniec, „Greenhouse Gases and Circular Economy Issues in Sustainability Reports from the Energy Sector in the European Union,“ *Energies*, Izv. 12, št. 22, p. 5993, 2020.
- [35] N. Kalebaila, M. Kapari, L. Nhamo in S. Mpandeli, „The Circular Economy as a Catalyst for Environmental and Human Health,“ v *Circular and Transformative Economy*, Taylor & Francis, 2023, pp. 139-158.
- [36] M. Nelles, J. Grünes in G. Morscheck, „Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy?,“ *Procedia Environmental Sciences*, Izv. 35, pp. 6-14, 2016.
- [37] M. Nelles, J. Grünes in G. Morscheck, „Waste Management in Circular Economy: Current State and Future Requirements for Germany,“ *Sustainability*, Izv. 12, št. 24, p. 10279, 2020.
- [38] S. H. Gheewala, „Material Recycling in a Circular Economy - A Systems View,“ *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, Izv. 12, št. 5, 2023.
- [39] C. Hua, L. Chen, C. Liu in C. Yang, „The Effect of Incentive Policies on the Diffusion of Construction and Demolition Waste Recycling: A Government Perspective,“ *Waste Management & Research*, 2024.
- [40] C. Okogwu, M. O. Agho, M. A. Adeyinka in B. A. Odulaja, „Exploring the Integration of Sustainable Materials in Supply Chain Management for Environmental Impact,“ *Engineering Science & Technology Journal*, Izv. 4, št. 3, pp. 49-65, 2023.
- [41] M. O. Agho, E. U. Elishama, M. A. Adeyinka, W. L. Ijomah in C. Okogwu, „An Extended Framework for Reverse Logistics Implementation: A Nigerian Perspective,“ *Sustainable Production and Consumption*, Izv. 33, pp. 521-536, 2022.



- [42] F. Jia, M. Chowdhury, M. Goswami, V. Kumar in S. K. Mangla, „Modelling the Circular Supply Chain for Sustainability: The Interaction of Circular Economy with Sustainable Supply Chain,“ *Journal of Cleaner Production*, Izv. 386, p. 135687, 2023.
- [43] European Union, „Farm to Fork Strategy - For a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System,“ 2020.
- [44] J. Drofenik, T. Seljak in Z. Novak Pintarič, „A Multi-Level Approach to Circular Economy Progress: Linking National Targets with Corporate Implementation,“ oddan v *Journal of Cleaner Production*, Članek je v postopku recenzije.
- [45] Vlada Republike Slovenije - Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo, „Celoviti nacionalni energetske in podnebni načrt RS - Osnutek predloga posodobitve (Verzija 4.2) (In Slovene),“ 2024. [Elektronski]. Available: https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/nepn_2024_pos_v4.2_tc_maj2024.pdf. [Poskus dostopa 15 6 2024].
- [46] Vlada Republike Slovenije - Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, „Strategija razvoja Slovenije 2030 (in Slovene),“ 2017. [Elektronski]. Available: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MKRR/Strategija-razvoja-Slovenije-2030/Strategija_razvoja_Slovenije_2030.pdf. [Poskus dostopa 1 9 2024].
- [47] Lek Sandoz, „Poročanje,“ [Elektronski]. Available: <https://lek.si/sl/o-nas/druzbeno-odgovornost/porocanje/>. [Poskus dostopa 20 8 2024].
- [48] International Renewable Energy Agency (IRENA), „Renewable Power Generation Costs in 202,“ 2023. [Elektronski]. Available: <https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>. [Poskus dostopa 20 7 2024].
- [49] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, „Levelized Cost of Electricity - Renewable Energy Technologies,“ Fraunhofer ISE, [Elektronski]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.html..> [Poskus dostopa 20 7 2024].
- [50] Statistični Urad Republike Slovenije, „Cene električne energije za negospodinske odjemalce (EUR/kWh), Slovenija, letno,“ [Elektronski]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1817570S.px>. [Poskus dostopa 15 9 2024].
- [51] Statistični Urad Republike Slovenije, „Cene za zemeljski plin za negospodinske odjemalce, Slovenija, letno,“ [Elektronski]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1817570S.px>. [Poskus dostopa 15 9 2024].



11 Seznam publikacij, ki so nastale v okviru projekta

1.01 Izvirni znanstveni članek (v postopku recenzije)

DROFENIK, Jan, SELJAK, Tine, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. A Multi-Level Approach to Circular Economy Progress: Linking National Targets with Corporate Implementation. Članek oddan v revijo Journal of Cleaner Production dne 14. 10. 2024.

1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

1. DROFENIK, Jan, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Using mathematical optimization for the transition to sustainable and circular agriculture. V: MANENTI, Flavio (ur.), REKLAITIS, G.V. Rex (ur.). *34th European symposium on computer aided process engineering / 15th International Symposium on Process Systems Engineering : ESCAPE-34/PSE2024*. 34th European symposium on computer aided process engineering, 2. 6. 2022 – 6. 6. 2022, Firence, Italija. 1st ed. Amsterdam; Boston: Elsevier, cop. 2024. Str. 1033-1038. Computer-aided chemical engineering, 53. ISBN 978-0-4432-8824-1, ISBN 978-0-4432-8825-8.

<https://shop.elsevier.com/books/34th-european-symposium-on-computer-aided-process-engineering-15th-international-symposium-on-process-systems-engineering/manenti/978-0-443-28824-1>. [COBISS.SI-ID [198918915](#)] projekt: The authors thank the Ministry of the Environment, Climate and Energy and Slovenian Research and Innovation Agency (Project V2-2279 and Program P2-0414) for support.

1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci

2. NOVAK-PINTARIČ, Zorka, SELJAK, Tine, DROFENIK, Jan. Kvantitativno spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo za podjetja in države = Quantitative monitoring of the transition to a circular economy for businesses and countries. V: LIPIČ, Karel (ur.), RIŽNAR, Klavdija (ur.). »S komunikacijo v slovensko okoljsko modernizacijo« : 27 strokovno posvetovanje : Moravske Toplice, Hotel Ajda, 11. in 12. april 2024. Ljubljana: Zveza ekoloških gibanj Slovenije, 2024. Str. 147-154. ISBN 978-961-6119-31-3. [COBISS.SI-ID [192853251](#)]

1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

3. DROFENIK, Jan, SELJAK, Tine, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Measuring circularity: a top-down approach to driving circular economy transition. V: POTRČ, Sanja (ur.), et al. *7th International Conference on Technologies & Business Models for Circular Economy : book of abstracts : [September 4th to September 6th 2024, Portorož, Slovenia]*. 1st ed. Maribor: University of Maribor, University Press: Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2024. Str. 19-21. ISBN 978-961-286-892-5. <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/902>. [COBISS.SI-ID [208109827](#)]

projekt: The authors gratefully acknowledge the support of the Ministry of Environment, Climate and Energy and ARIS (project V2-2279 and program P2- 0414), as well as the Ministry of Higher Education, Science and Innovation, and the European Union – NextGeneration EU in the framework of the project HyBReED, that is part of the Slovenian Recovery and Resilience Plan.

4. NOVAK-PINTARIČ, Zorka, DROFENIK, Jan, OŠLOVNIK, Tinkara, SELJAK, Tine. Development of a system for harmonized monitoring of progress toward a circular economy from companies to countries. V: POTRČ, Sanja (ur.), et al. *6th International Conference on Technologies & Business Models for Circular Economy : book of abstracts : [September 6th to September 8th 2023, Portorož, Slovenia]*. 1st ed. Maribor: University of Maribor, University Press, 2023. Str. [23]-24. ISBN 978-961-286-770-6.

<https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/803>. [COBISS.SI-ID [163942915](#)]



projekt: Ministry of Environment, Climate and Energy, and ARIS (project V2-2279 and program P2-0414)

2.09 Magistrsko delo

5. OŠLOVNIK, Tinkara. *Kvantitativno spremljanje napredka h krožnemu gospodarstvu : magistrsko delo*. Maribor: [T. Ošlovnik], 2023. 1 spletni vir (1 datoteka PDF (XV, 90 f.)). [Digitalna knjižnica Univerze v Mariboru – DKUM](#). [COBISS.SI-ID [170251267](#)]

6. DRAGAN, Manca. *Analiza orodij za spremljanje prehoda v krožno gospodarstvo : magistrsko delo magistrskega študijskega programa II. stopnje Strojništvo*. Ljubljana: [M. Dragan], 2024. XX, 63 str., ilustr. [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#). [COBISS.SI-ID [202807555](#)]

2.21 Programska oprema

V postopku vnosa v Cobiss.