

PROCENA UTICAJA PROIZVODNJE ULJANE REPICE NA ŽIVOTNU SREDINU LCA METODOM

Prvi deo: Inventarisanje životnog ciklusa

Ferenc Kiš^{1*}, Jovica Vasin², Željko Milovac², Tijana Zeremski²,
Stanko Milić², Jasna Savić³

Izvod

U radu su prikazani rezultati prve dve faze u postupku ocenjivanja životnog ciklusa (LCA) uljane repice proizvedene u uslovima koji se mogu smatrati tipičnim na značajnom delu teritorije Vojvodine. Procena ulaza proizvodnje (količina mineralnih đubriva, pesticida i dizel goriva) se zasniva na preporukama stručnih službi, dok se izlazi, odnosno emisije zagađujućih supstanci u životnu sredinu, utvrđuju primenom savremenih metoda uz uvažavanje lokalno specifičnih uslova proizvodnje. Podaci o ulazima i izlazima proizvodnje su uneti u OpenLCA softver koji je u kombinaciji sa bazom podataka ecoinvent korišćen za utvrđivanje rezultata inventarisanja. Rezultat inventarisanja sadrži podatke o više stotina različitih zagađujućih supstanci koje se emituju u životnu sredinu u procesima koji čine proizvodni lanac uljane repice, kao i detaljan inventar utrošenih, odnosno korišćenih prirodnih resursa. Rezultati inventarisanja sadrže podatke samo o količinama različitih razmena sa životnom sredinom i kao takvi nisu pogodni za izvođenje zaključaka o ukupnom uticaju proizvodnje uljane repice na životnu sredinu. Iz tog razloga, analizu je potrebno upotpuniti trećom fazom LCA, koja daje dodatna objašnjenja i tumačenja značaja rezultata inventarisanja sa aspekta zaštite životne sredine.

Ključne reči: uljana repica, analiza životnog ciklusa, Vojvodina, inventarisanje

Uvod

Uljana repica (*Brassica napus*), sa globalnom proizvodnjom od 87 miliona tona semena u tržišnoj godini 2022/2023, je druga po značaju ratarska uljana biljka u svetu, odmah posle soje čija je proizvodnja u istom periodu bila 370 miliona tona (USDA, 2023). Proizvodnja ulja uljane repice u svetu dostigla je nivo od 32,4 miliona tona 2022/2023. U istom periodu, u Evropskoj uniji (EU) proizvodnja semena uljane repice iznosila je 19,5 miliona tona, a neto uvoz bio je 6,2 miliona tona. Ukupna

potrošnja ulja uljane repice u zemljama EU je blizu 10 miliona tona, od čega se 71% koristi u industriji (biodizel, maziva), 28,5% za proizvodnju i pripremu hrane (kuvanje, prženje, kao sastojak), a 0,5% kao stočna hrana (USDA, 2023). U Srbiji, u poslednjem desetogodišnjem periodu površine pod uljanom repicom rastu po prosečnoj godišnjoj stopi od 20%, i 2022. godine je poźnjivena sa oko 29.000 ha. Najveći deo ukupnih površina se nalazi na području Vojvodine. Prema podacima

Originalni naučni rad (Original Scientific Paper)

¹ Kiš F (0000-0002-8568-6114), Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija

² Vasin J (0000-0002-9407-5470), Milovac Ž (0000-0002-6152-6538), Zeremski T (0000-0002-7201-4802), Milić S (0000-0001-7673-9969), Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Srbija

³ Savić J (0000-0002-1752-7234), Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11000 Beograd, Srbija
e-mail: fkiss@uns.ac.rs

Republičkog zavoda za statistiku najveći deo ukupne domaće proizvodnje uljane repice se izvozi u neprerađenom obliku ili kao sirovo ulje. Sačma ili pogača uljane repice koja nastaje kao sporedni proizvod proizvodnje ulja je takođe značajan proizvod koji nalazi široku primenu u stočarstvu kao sirovina za proizvodnju stočne hrane (Tešić i sar., 2008).

Jedan od glavnih pokretača proizvodnje uljane repice je industrija biodizela. Uljana repica je najvažnija sirovina za dobijanje biodizela u EU sa udelom od 40% u sirovinskoj bazi biodizela 2022. godine (Flach et al., 2022). Međutim, u poslednje vreme se sve češće postavlja pitanje etičnosti i održivosti korišćenja jestivih ulja radi dobijanja biogoriva. EU je prepoznala zavisnost između rasta cena hrane i korišćenja jestivih ulja za dobijanje biogoriva, kao i posredan uticaj industrije biodizela na transformaciju prirodnih staništa u oranične površine, što je praćeno značajnim emisijama ugljen-dioksida i drugih gasova sa efektom staklene bašte. Iz tog razloga, EU je kroz najnoviju Direktivu 2018/2021/EU o promociji korišćenja energije iz obnovljivih izvora (tzv. RED II direktiva) uvela ograničenja na udeo biodizela iz jestivih ulja u ukupnoj proizvodnji biodizela. Zbog navedenih razloga, mnoge zemlje u EU rade na postepenom ukidanju proizvodnje i korišćenja biodizela na bazi jestivih ulja što će se verovatno odraziti na pad tražnje za uljem uljane repice od strane industrije biogoriva. Međutim, pored industrije biodizela, ulje uljane repice koristi se i u prehrambenoj industriji, u proizvodnji boja i maziva, u industriji kozmetičkih preparata, kao i u farmaceutskoj industriji (Raboanatahiry et al., 2021). Očekuje se da će biljna ulja naći širu primenu i u industriji polimera, kao potencijalna zamena za proizvode na bazi nafte (Fridrihsone et al., 2018).

Proizvodnja sirovina je u velikoj meri odgovorna za ukupan uticaj proizvodnje prehrambenih proizvoda (Takacs and Borrion, 2020) i biogoriva na životnu sredinu (Kiš i Bošković, 2013), zbog čega uticaj proizvodnje uljane repice na životnu sredinu postaje važan aspekt koji bi trebalo dublje istražiti. Međutim, malo je ocena održivosti proizvodnje uljane repice kroz upotrebu kvantitativnih alata kao što je ocenjivanje životnog ciklusa (eng. life cycle assessment, LCA), naročito na regionalnom nivou. LCA je metod za procenu uticaja proizvoda na životnu sredinu tokom njegovog celokupnog životnog ciklusa, odnosno od ekstrakcija sirovina, preko proizvodnje i upotrebe, pa do tretmana ostataka po prestanku njegove upotrebe vrednosti. LCA je definisan međunarodnim standardima i prepoznat od strane Evropske komisije (COM (2003/302) kao najbolji metodološki okvir za vrednovanje uticaja proizvoda na životnu sredinu.

Cilj ovog istraživanja je da se korišćenjem LCA metode proceni uticaj proizvodnje uljane repice na životnu sredinu u agroekološkim uslovima Vojvodine, kao regije koja obezbeđuje preko 80% ukupne proizvodnje uljane repice u Srbiji. Prema ISO 14040:2006 i ISO 14044:2006, LCA se izvodi u četiri faze: 1) određivanje cilja, predmeta i područja primene, 2) inventarisanje životnog ciklusa, 3) ocenjivanje uticaja životnog ciklusa i 4) interpretacija rezultata. Inventarisanje životnog ciklusa (eng. life cycle inventory analysis, LCI analysis) predstavlja vremenski i resursno najzahtevniju fazu LCA analize, tokom koje se prikupljaju, odnosno procenjuju ulazi (materijali i energija) i izlazi (proizvodi, otpad, emisije u vazduh, vodu i zemljište) pojedinačnih procesa u životnom ciklusu ispitivanog proizvoda.

U ovom radu detaljno se prikazuje cilj, predmet i područje primene LCA, kao i postupak i rezultat inventarisanja proizvodnog lanca uljane repice (prva i druga faza LCA).

Na osnovu rezultata inventarisanja se vrši ocenjivanje i interpretacija uticaja životnog ciklusa (treća i četvrta faza LCA), što je opisano u drugom delu rada (Kiš i sar., 2024).

Materijal i metode

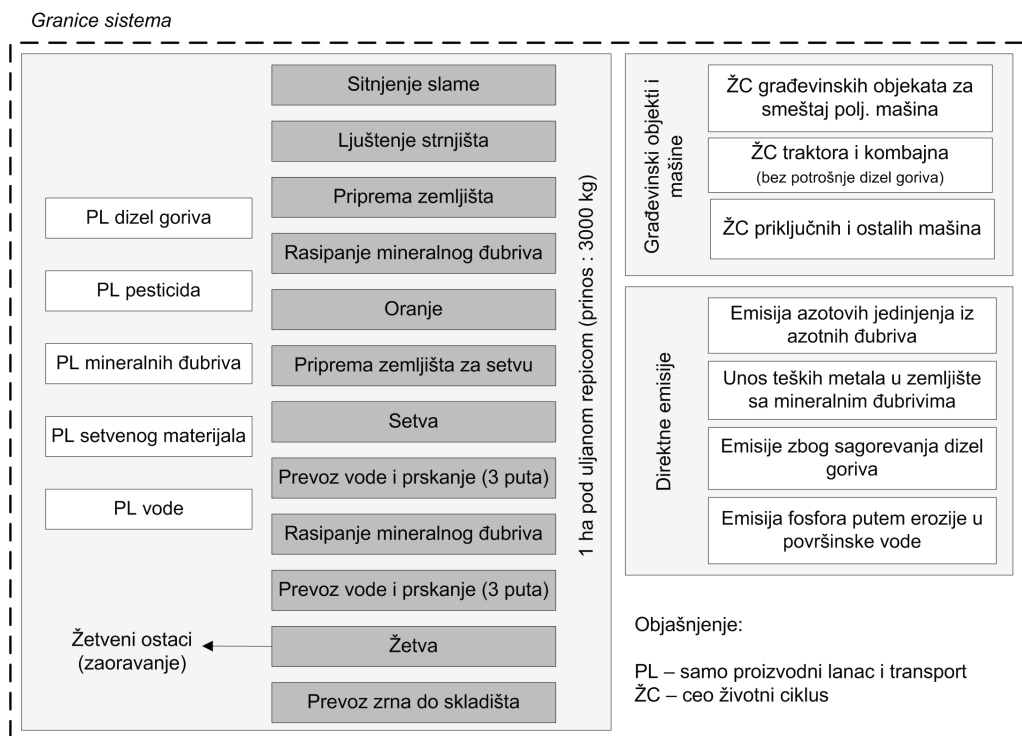
Za procenu uticaja uljane repice na životnu sredinu primenjuje se LCA metoda u skladu sa aktuelnim standardima ISO 14040 i 14044 i principima opisne LCA (za razliku između opisne i uzročno-posledične LCA vidi Sonnemann and Vigon., 2011) korišćenjem tzv. cut-off pristupa modeliranju sistema proizvoda (Steubing et al., 2016). U okviru ovog rada, detaljno se prikazuju prve dve faze LCA analize, dok su treća i četvrta faza prikazane u drugom delu rada (Kiš i sar., 2024), koji zajedno sa ovim predstavlja kompletnu LCA analizu proizvodnog lanca uljane repice.

Cilj, predmet i područje primene

U okviru prve faze LCA studije određuje se cilj, funkcionalna jedinica i definišu granice sistema. Cilj je, kako je istaknuto u uvodnom delu, izvršiti procenu uticaja proizvodnje uljane repice na životnu sredinu u uslovima Vojvodine. Funkcionalna jedinica (FJ) je 1 ha oranične površine pod uljanom repicom i svi ulazi i izlazi sistema, kao i rezultati inventarisanja se iskazuju u odnosu na jednu funkcionalnu jedinicu. Referentni tok je 3.000 kg semena uljane repice (sa 9% vlage) što odgovara pretpostavljenom prinosu semena po hektaru pri datim uslovima proizvodnje. Analiza je ograničena na proizvodni lanac uljane repice, koji se završava transportom požnjevenog semena do poljoprivrednog gazdinstva, odnosno

sabirnog centra. Ostale faze u životnom ciklusu uljane repice (npr. sušenje, presovanje semena, konzumacija ulja i pogače/sačme) su izvan fokusa ovog istraživanja.

Granice sistema su definisane na način da uključuju jedinične procese za koje je u prethodnim LCA analizama uljane repice i drugih ratarskih useva dokazano da imaju značajan uticaj na formiranje rezultata. Granicama sistema su obuhvaćeni procesi i tokovi u vezi sa: a) životnim ciklusom mineralnih đubriva i zaštitnih sredstava, b) životnim ciklusom goriva koje se koriste za pogon poljoprivrednih mašina i c) sa životnim ciklusom mašina i opreme korišćenih za obradu zemljišta i transport materijala u proizvodnom lancu uljane repice. Inventarisanje ovih procesa je opisano detaljnije u poglavlju „Inventarisanje životnog ciklusa“. Neki procesi za koje se pretpostavlja da pri zadatim uslovima proizvodnje imaju zanemarljiv uticaj na ukupan rezultat, ili za čije modelovanje ne postoji dovoljno podataka ili odgovarajućih karakterizacionih modela i faktora, su izostavljeni iz analize (Kiš i sar., 2024). Pretpostavka je da se celokupna količina slame uljane repice zaorava, odnosno da je seme jedini izlazni proizvod sistema. Grafikon 1 prikazuje granice sistema, odnosno važnije procese u proizvodnom lancu uljane repice čiji uticaj se razmatra u ovoj LCA analizi.



Grafikon 1. Pregled procesa koji su obuhvaćeni analizom

Napomena: Beli pravougaonici označavaju procese/tokove čiji se uticaji razmatraju u radu.

Figure 1. Overview of the processes included in the analysis

Note: White rectangles denote the processes/flows whose impacts are discussed in the paper.

Inventarisanje životnog ciklusa

U ovom radu inventarisanje se izvodi u dva koraka. Najpre se procenjuju količine utrošenih materijala pri proizvodnji uljane repice (npr. mineralna đubriva, pesticidi, goriva i maziva) i emisije u životnu sredinu koje nastaju zbog njihove primene. U narednom koraku bira se odgovarajući inventar životnog ciklusa/proizvodnog lanca svakog pojedinačnog ulaza, tzv. set LCI podataka (eng. life cycle inventory dataset) iz postojećih LCI baza podataka, kao što je na primer ecoinvent (Wernet et al., 2016). LCI podaci nekog proizvoda sadrže podatke o emisijama u životnu sredinu i korišćenju prirodnih resursa u celokupnom životnom ciklusu (ili dela životnog ciklusa, npr. tokom proizvodnog lanca) datog proizvoda, na osnovu kojih je moguće proceniti njegov uticaj na životnu sredinu. LCI podaci za većinu ulaza (mineralna đubriva, pesticidi, dizel gorivo, poljoprivredne mašine) su

dostupni iz LCI baze podataka ecoinvent 3.7 koja se smatra najpotpunijom i najsveobuhvatnijom bazom LCI podataka u Evropi. Neke procese u ecoinventu bilo je potrebno modifikovati kako bi bolje odražavali lokalno specifične i u radu pretpostavljene uslove proizvodnje (npr. korigovana je vrednost specifične potrošnje goriva za realizaciju nekih transportnih aktivnosti). Količina i vrsta zagađujućih supstanci koje se emituju u životnu sredinu u velikoj meri zavise od lokalno specifičnih uslova (npr. gubici azota iz mineralnih đubriva, distribucija pesticida između različitih medija životne sredine) i ove podatke nije celishodno prepisati iz postojećih baza, koje su uglavnom relevantne za prosečne uslove proizvodnje na nekom širem geografskom području (npr. u Evropi). Iz tog razloga, vrednost ovih tokova je utvrđena korišćenjem metoda koje omogućavaju proračune na osnovu unosa lokalno specifičnih parametara.

Potrošnja goriva

Nikolić i sar. (2005) su procenili da se za realizaciju svih agrotehničkih operacija, uključujući i transport ulaznih materijala i požnjevenog semena uljane repice na udaljenost od 5–10 km, potroši oko 75 litara dizel goriva po hektaru. Ova potrošnja je procenjena pod pretpostavkom da je otpor zemljišta pri oranju 0,75-0,85 daN cm⁻², dužina parcele 1000 m, konfiguracija terena $\alpha=0$, a površina parcele ne manja od 30 ha. Međutim, u prosečnim uslovima, potrošnja goriva je veća, jer su uslovi za proizvodnju nepovoljniji. Imajući u vidu prosečne uslove proizvodnje, Nikolić i sar. (2005) smatraju da je potrošnju goriva potrebno planirati sa 120-125 litara po hektaru. Do slične vrednosti (oko 125

l ha⁻¹) se dolazi ukoliko se za izvođenje pojedinih agrotehničkih operacija opisanih u radu Nikolića i sar. (2005) primene norme utroška goriva prema cenovniku Zadružnog saveza Vojvodine (ZSV) (Tabela 1), stoga se u ovom radu koristi veća vrednost utroška goriva kao reprezentativna potrošnja za prosečne uslove. U ecoinvent bazi podataka transportne aktivnosti imaju jedinice mere tkm, stoga su originalne vrednosti u l ha⁻¹ prevedene u tkm pod pretpostavkom da se količine đubriva i vode prevoze do njive koja je udaljena od poljoprivrednog gazdinstva 5 km, dok se požnjeveno seme prevozi do sabirnog centra udaljenog 10 km traktorom sa jednom ili sa dve vučne prikolice (vidi podnaslov „Transport korišćenih materijala i semena“).

Tabela 1. Potrošnja goriva za realizaciju njivskih operacija uključujući i transportne aktivnosti u slučaju uljane repice (po 1 ha)

Table 1. Fuel consumption for the implementation of field operations, including transport activities in the case of oilseed rape (per 1 hectare)

Agrotehnička operacija (bazirano na Nikolić i sar. (2005))	Mesec	Oprema	Potrošnja goriva (l):	
			prema Nikolić i sar. (2005)	prema norma ZSV (2021)
Sitnjenje slame	jul	Traktor i sitnilica	4,60	7,00
Ljuštenje strnjišta	jul	Traktor i plug	11,99	16,00
Priprema zemljišta	jul	Traktor i setvospremač	4,10	7,00
Rasipanje min. đubriva	avg.	Traktor i rasipač	1,13	3,00
Oranje	avg.	Traktor i plug	18,81	24,00
Tanjiranje	avg.	Traktor i tanjirača	6,58	9,00
Priprema zemljišta	avg.	Traktor i setvospremač	5,00	7,00
Setva	avg.	Traktor i sejalice	2,88	5,00
Prskanje (herbicid)	sept.	Traktor i prskalice	0,97	3,00
Prskanje (insekticid)	okt.	Traktor i prskalice	0,97	3,00
Prskanje (fungicid)	nov.	Traktor i prskalice	0,97	3,00
Rasipanje min. đubriva	febr.	Traktor i rasipač	1,13	3,00
Prskanje (herbicid)	mart	Traktor i prskalice	0,97	3,00
Prskanje (insekticid)	mart	Traktor i prskalice	0,97	3,00
Prskanje (insekticid)	april	Traktor i prskalice	0,97	3,00
Žetva	jun	Kombajn	11,97	22,00
Transport				
Transport min. đubr.		Traktor i prikolica	1,15	1,15
Transport vode		Traktor i vučna cisterna	1,30	1,30
Transport semena do silosa		Traktor i dve prikolice	1,73	1,73
Ukupno (l ha ⁻¹)			78,18	125,17

Utjecaji na životnu sredinu koji nastaju tokom proizvodnje i distribucije dizel goriva su procenjeni na osnovu LCI podataka procesa iz ecoinvent 3.7 baze podataka pod oznakom „market group for diesel, low-sulfur | diesel, low-sulfur | Cutoff, U - RER“.

Potrošnja mineralnih đubriva

Uljana repica dobro reaguje na organska đubriva, ali zbog kratkog vremena od skidanja preduseva do setve repice i ograničenih količina stajnjaka, u Vojvodini se za ishranu uljane repice koriste prvenstveno mineralna đubriva (Crnobarac i sar., 2005). U uslovima Vojvodine, ishrana uljane repice se u većini slučajeva obavlja u dva navrata. Prvo đubrenje se obavlja pred osnovnu, duboku obradu zemljišta u avgustu, kompleksnim đubrivima (NPK). Drugo đubrenje se vrši isključivo azotnim đubrivima u vreme prolećnog porasta uljane repice (Crnobarac i sar., 2005). Količine mineralnih đubriva koje treba primeniti mogu značajno varirati zbog različitih tipova zemljišta i nivoa njihove plodnosti, pH zemljišta, preduseva, klimatskih prilika itd.

U ovom radu količina hraniva se procenjuje na osnovu ukupnih potreba biljke za planirani prinos od 3.000 kg ha⁻¹ u uslovima koji se mogu smatrati tipičnim na značajnim površinama u Vojvodini. Ovaj prinos približno odgovara ostvarenom prosečnom prinosu uljane repice u poslednjem desetogodišnjem periodu (2013-2022) u Vojvodini (3.050 kg ha⁻¹ prema podacima Republičkog zavoda za statistiku). Obimna istraživanja stanja plodnosti poljoprivrednog zemljišta u Srbiji su pokazala da na području Vojvodine dominiraju slabo alkalna zemljišta (pH u KCL 7,21-8,2), koja u najvećem broju pripadaju klasi zemljišta dobro obezbeđenih humusom (prosečno 3-4% humusa) (Vidojević i Damnjanović, 2020). Dominantan tip zemljišta u Vojvodini je černozem. Sadržaj lakopristupačnog fosfora je u najvećem broju analiziranih uzoraka oranica u klasi optimalnog (35% uzoraka u klasi 15-25 mg P₂O₅ 100 g⁻¹), dok je sadržaj lakopristupačnog kalijuma u najvećem broju uzoraka bio u klasi visokog sadržaja (42% uzoraka u klasi 25-50 mg K₂O 100 g⁻¹) (Vidojević i Damnjanović, 2020). Sadržaj

ukupnog azota u većini oranica kreće se u granicama između 0,15 i 0,2% (Manojlović i sar., 2014). Pri pretpostavljenim uslovima i za željeni prinos, preporuka stručnjaka iz Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu je da se primeni 500 kg kompleksnog mineralnog đubriva NPK (formulacije 6:12:24) predsetveno, kao i 300 kg amonijum nitrata (AN, 34,5% N) za prihranu u proleće.

Procena uticaja koji nastaju tokom proizvodnog lanca i distribucije mineralnih đubriva (AN i NPK) se zasniva na podacima iz baze podataka ecoinvent 3.7, s tim da su neki pozadinski podaci u vezi sa proizvodnjom NPK đubriva modifikovani, s obzirom na to da se podaci u ecoinventu odnose na proizvodnju NPK đubriva formulacije 15:15:15. Modifikacije se odnose na promenu količina amonijum nitrata (AN), monoamonijum fosfata (MAP) i kalijum hlorida (KCl) koji se koriste kao sirovine za proizvodnju NPK đubriva, kako bi se dobilo đubrivo formulacije 6:12:24 (Tabela 5). Ostali podaci u inventaru (potrošnja električne i toplotne energije, emisije iz procesa proizvodnje) po jedinici mase NPK đubriva se nisu menjali.

Upotreba zaštitnih sredstava

Za zaštitu uljane repice od korova registrovan je veliki broj različitih herbicida na bazi aktivnih materija: cikloksidim, kvizalofop-P-butil, klomazon, metazahlor, dimetahlor, klopiralid, pikloram itd. (Petrović i Sekulić, 2020). Pored herbicida pri proizvodnji uljane repice koriste se i insekticidi za zaštitu od buvača (*Psylliodes chrysocephala*, *Phyllotreta spp.*) i ose listarice (*Athalia rosae*) u jesen, repičinog sjajnika (*Brassicogethes aeneus*), male i velike repičine pipe u proleće (*Ceutorhynchus pallidactylus C. napi*). Pri proizvodnji uljane repice u uslovima Vojvodine ređe se koriste fungicidi (Crnobarac i sar., 2005).

U tabeli 6 su prikazane vrste i količine pesticida u proizvodnji uljane repice. Zbog velikog broja različitih pesticida dostupnih na tržištu, kao i zbog različitih zahteva uljane repice prema vrstama i količinama pesticida u zavisnosti od uslova proizvodnje, podaci navedeni u tabeli 6 predstavljaju samo jednu

od mogućih kombinacija primene pesticida. Od pesticida korišćenih u proizvodnji uljane repice samo je za aktivnu materiju (a.m.) lambda-chalotrin bio identifikovan inventar životnog ciklusa: „market for pyrethroid-compound | pyrethroid-compound/RER“. Inventar životnog ciklusa uključuje materijalne i energetske tokove pri proizvodnji pesticida, transport do regionalnog skladišta i građevinske objekte i opremu za proizvodnju pesticida. Za procenu uticaja ostalih pesticida korišćen je inventar životnog ciklusa iz baze podataka ecoinvent za neodređene vrste pesticida: „market for pesticide, unspecified | pesticide, unspecified/RER“. Za razblaživanje pesticida neposredno pre aplikacije se koristi pijaća voda iz vodovoda u količini od 300 litara ha⁻¹ po tretmanu, odnosno 1.800 litara godišnje. Inventar proizvodnje pijaće vode dostupan je iz baze podataka ecoinvent: „market group for tap water | tap water/RER“.

Emisije

Emisije koje nastaju u procesu sagorevanja dizel goriva

Ecoinvent baza sadrži i podatke o prosečnim emisijama pri sagorevanju dizel goriva u poljoprivrednim mašinama, međutim oni nisu korišćeni u ovom radu zbog zastarelosti (podaci su sa kraja devedesetih godina, Nemecek and Kagi, 2007). Umesto njih uzeti su Tier 2 emisioni faktori iz EMEP/EEA 2019 studije (Winter and Dore, 2019) koji se odnose na emisije iz motora poljoprivrednih mašina EU emisione klase Stage IIIA (redovi 51-68 u tabeli P1 u prilogu). U nedostatku Tier 2 emisionih faktora za procenu emisija teških metala i policikličnih aromatičnih ugljovodonika (eng. polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH), za njihovu procenu korišćeni su Tier 1 podaci u skladu sa preporukom u EMEP/EEA 2019 studiji. S obzirom na to da pravila inventarisanja u ecoinventu nalažu da se benzen iskazuje posebno, a ne objedinjeno sa drugim nemetanskim isparljivim organskim jedinjenjima (eng. non-methane volatile organic compounds, NMVOC), podatak o emisiji benzena (44 g t⁻¹ evrodizela) je utvrđen na bazi Geilenkirchen et al. (2021).

Emisije azotnih jedinjenja

Deo azota unetog mineralnim đubrivima se gubi u vidu amonijaka usled volatilizacije što dovodi do zagađenja vazduha. Gubici zavise od vrste đubriva i od osobina zemljišta kao što su pH vrednost, apsorptivna sposobnost zemljišta, sadržaj kalcijuma u zemljištu, vremenskih prilika, ali i od toga da li se đubrivo primenjuje površinski ili unosi u zemljište (Manojlović i sar., 2014). U ovom radu se emisija amonijaka procenjuje na osnovu pojednostavljenog pristupa korišćenjem Tier 2 emisionih faktora iz EMEP/EEA 2019 (Winter and Dore, 2019). Prema ovom izvoru, u klimatskim uslovima koji prevladavaju u Vojvodini, u blago alkalnim zemljištima (pH > 7), prosečna emisija amonijaka iznosi 26,4 g NH₃-N po kg N unetog u vidu amonijum nitrata. Sličan, pojednostavljen postupak je korišćen za procenu emisije NO_x u procesu denitrifikacije koji prema EMEP/EEA 2019 iznosi 12 g NO₂-N po kg N unetog putem mineralnih đubriva (Winter and Dore, 2019).

Količina azota koja se ispira u vidu nitrata se u LCA studijama uglavnom procenjuje pojednostavljenim metodama, korišćenjem prosečnih emisionih faktora poput onih u uputstvima Međuvladinog panela o klimatskim promenama (eng. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ili utvrđuje pojednostavljenim metodama poput SQCB (Faist Emmenegger et al., 2009). U ovom radu se koristi nedavno razvijen Indigo-N v3 (Bockstaller et al., 2022) model koji predstavlja poboljšanje u odnosu na spomenute metode u regionima sa umerenom klimom (Bockstaller et al., 2022). Prilikom procene količine nitrata koja se ispira Indigo-N polazi od izračunatog bilansa azota u zemljištu u različitim periodima tokom godine uvažavajući pritom, između ostalog, lokalno specifične zemljišne (npr. pH vrednost, sadržaj organske materije i gline) i klimatske uslove (količina i distribucija padavina i temperaturni uslovi), vrste, količine, vreme i način primene mineralnih đubriva, vrstu preduseva i način tretiranja žetvenih ostataka. Rezultati analize pokazuju da u prosečnim godinama i pri pretpostavljenim uslovima proizvodnje u Vojvodini ne dolazi do ispiranja azota. Ovi rezultati su u skladu sa najnovijom

preporukom IPCC (Hergoualc'h et al., 2019) koja ne predviđa gubitak azota ispiranjem u regionima u kojima je srednja godišnja suma padavina niža od prosečne godišnje potencijalne evapotranspiracije, što prema podacima Republičkog hidrometeorološkog zavoda važi u svim područjima Vojvodine u kojima se prate navedene pojave. S obzirom na to da procena gubitaka azota putem ispiranja predstavlja najveći izazov pri bilansiranju azota (Avadić et al., 2022) mogući uticaj različitih pretpostavki na rezultate LCA poželjno je ispitati senzitivnom analizom.

Azot suboksid (N_2O) je gas sa efektom staklene bašte koji u zemljištu nastaje u

mikrobiološkim procesima nitrifikacije i denitrifikacije. Emisija N_2O je procenjena korišćenjem metode opisane u najnovijim uputstvima IPCC (Hergoualc'h et al., 2019), s' tim da su iz originalnih jednačina izostavljeni određeni elementi koji nisu relevantni u uslovima Vojvodine, odnosno, pri načinu proizvodnje uljane repice koji je opisan u prethodnom delu. Posebno se utvrđuju direktne emisije N_2O iz mineralnih đubriva i žetvenih ostataka (jednačina 1) i indirektna emisija N_2O koje nastaju usled prvobitnih emisija NH_3 i NO_x , njihove redepozicije na površinu, te pratećih emisija N_2O koje nastaju usled denitrifikacije (jednačina 2)

$$N_2O\text{-N direktno} = [(F_{SN} + F_{CR}) \cdot EF_1] \quad (1)$$

$$N_2O\text{-N indirektno} = [(F_{SN} + F_{CR}) \cdot \text{Frac}_{LEACH} \cdot EF_5] + (F_{SN} \cdot \text{Frac}_{GASF} \cdot EF_4) \quad (2)$$

Tabela 2. Opis parametara korišćenih za proračun direktne i indirektna emisije N_2O prema modelu IPCC
 Table 2. Description of parameters used for calculating direct and indirect N_2O emissions according to the IPCC model

Parametar	Opis	Vrednost parametara
F_{SN}	Godišnja primena azotnih mineralnih đubriva (kg N)	132 kg N ha ⁻¹ (podnaslov 2.2.2).
F_{CR}	Količina azota u žetvenim ostacima (nadzemnim i podzemnim) koji se zaoravaju (kg N)	76 kg N ha ⁻¹ (utvrđeno jednačinama 3 i 4)
Frac_{LEACH}	Deo azota koji se ispira u vidu nitrata (kg N kg ⁻¹ N unetog)	0 (procenjeno Indigo-N v3 metodom)
Frac_{GASF}	Deo azota koji se gubi volatilizacijom u vidu NH_3 -N i NO_x -N (kg N volatilizovanog kg ⁻¹ N unetog)	0,04 (zbir emisija NH_3 -N i NO_2 -N, podnaslov 2.2.4)
EF_1	Emisioni faktori za emisije N_2O iz unetog N u zemljište (kg N_2O -N kg ⁻¹ N unetog)	0,005 (Hergoualc'h et al., 2019)
EF_4	Emisioni faktor za emisije N_2O usled atmosferske depozicije NH_3 -N i NO_x -N (kg N_2O -N kg ⁻¹ N volatilizovanog)	0,01 (Hergoualc'h et al., 2019)
EF_5	Emisioni faktori za N_2O emisije od ispranog N (kg N_2O -N /kg ⁻¹ N ispranog)	0,011 (Hergoualc'h et al., 2019)

U uputstvima IPCC (Hergoualc'h et al., uljanu repicu, stoga se ona utvrđuje metodom 2019) nisu dostupni svi podaci potrebni za koja se bazira na žetvenom indeksu (jednačine izračunavanje F_{CR} komponente jednačine za 3 i 4).

$$F_{CR} = (AG_{DM} - Crop_{DM}) \cdot N_{AG} + AG_{DM} \cdot RS \cdot N_{BG} \quad (3)$$

$$AG_{DM} = Crop_{DM} / \check{Z}I \quad (4)$$

Tabela 3. Opis parametara korišćenih za proračun vrednosti FCR

Table 3: Description of parameters used for calculating FCR

Parametar	Opis	Vrednost parametara
AG_{DM}	Masa suve materije nadzemnog dela biljke (uključujući i seme)	8.531 kg ha ⁻¹ ; utvrđuje se jednačinom 4.
$Crop_{DM}$	Prinos semena uljane repice, kg suve materije/ha	2.730 kg ha ⁻¹ (računato pod pretpostavkom da je sadržaj vode u semenu 9%)
N_{AG}	Udeo azota u nadzemnim žetvenim ostacima, odnosno u slami (kg N kg ⁻¹)	0,0085 (Trinsoutrot et al., 1999)
N_{BG}	Udeo azota u podzemnim delovima biljke (kg N -kg ⁻¹)	0,0085 (Trinsoutrot et al., 1999)
RS	Odnos mase korenovog sistema i mase nadzemnih žetvenih ostataka	0,375 (Thiagarajan et al., 2018)
$\check{Z}I$	žetveni indeks (računato na suhu masu)	0,32 (Veselinov i sar., 2015)

Emisija fosfora i njegovih jedinjenja

Emisija fosfora se procenjuje unapređenom verzijom (Scherer i Pfister, 2015) SALCA metode (Prasuhn, 2006) koja omogućuje procenu količine fosfora i njegovih jedinjenja koji se emituju u vode putem erozije zemljišta (Pe), površinskim spiranjem (Pr), drenažom (Pd) i ispiranjem u podzemne vode (Pg). U uslovima Vojvodine i načinu gajenja uljane repice opisanog u prethodnom delu jedino je bitna emisija P putem erozije. Naime, Prasuhn (2006) navodi da se Pr može zanemariti kada je nagib terena manji od 3%, dok se Pd odnosi samo na situaciju kada se vrši drenaža horizontalno

postavljenim cevima što se u Vojvodini retko primenjuje. U našem slučaju Pg se takođe može zanemariti, jer Prasuhn (2006) preporučuje da se ovaj parametar razmatra samo u slučajevima kada se za đubrenje koristi tečni stajnjak (Scherer and Pfister, 2015). Količina fosfora koja putem erozija dospeva u vodne akumulacije (Pe) se u ovom radu procenjuje na osnovu jednačine iz Scherer i Pfister (2015), s tim da je zbog značaja eolske erozije u agroekološkim uslovima Vojvodine, originalna jednačina modifikovana na način da pored vodne uključi i ovaj vid erozije (jednačina 5).

$$Pe = [(Av \cdot r_v) + (A_e + r_e)] \cdot e \cdot P_{soil} \quad (5)$$

Tabela 4. Opis parametara korišćenih za proračun emisije fosfora (kao P) u površinske vode usled erozije zemljišta
 Table 4. Description of parameters used for calculating phosphorus emissions (as P) into surface waters due to soil erosion

Parametar	Opis	Vrednost parametara
A_v	Gubitak zemljišta usled vodne erozije ($t\ ha^{-1}$)	$\approx 1,1\ t\ ha^{-1}$ (0,8 $m^3\ ha^{-1}$ godišnje, Jovičić, 2001, str. 163; pretpostavlja se da je zapreminska masa zemljišta 1,4 $t\ m^{-3}$, Mihailović i sar., 2016)
A_e	Gubitak zemljišta usled eolske erozije ($t\ ha^{-1}$)	$\approx 0,9\ t\ ha^{-1}$ (Dalmacija, 2009, str. 174)
r_v	Deo nanosa vodne erozije koji dospe u vodne akumulacije (%)	25% (Jovičić, 2001, str. 163)
r_e	Deo eolskog nanosa koji dospe u vodne akumulacije (%)	$\approx 2,5\%$ (Savić i sar., 2002)
e	koeficijent deflacije ^(a)	1,48 (Panagos et al., 2022)
P_{soil}	Sadržaj ukupnog fosfora u površinskom sloju zemljišta, 0-20 cm ($kg\ P\ t^{-1}$)	2,2 $kg\ P\ t^{-1}$ ^(b)

^(a) Odnos sadržaja fosfora u erozionom nanosu i u osnovnom zemljištu sa koga je nanos pokrenut. ^(b) Procena autora na osnovu pretpostavljenog prosečnog sadržaja lakopristupačnog fosfora u površinskom sloju zemljišta, 22 $mg\ P_2O_5\ 100\ g^{-1}$, odnosno oko 0,1 $kg\ P\ t^{-1}$, i pretpostavke da je sadržaj ukupnog fosfora 22 puta veći od sadržaja lakopristupačnog fosfora (Panagos et al., 2022).

Emisije teških metala

Teški metali predstavljaju poseban rizik po agroekosistem budući da su veoma postojani. Glavni izvor teških metala u poljoprivrednom zemljištu je primena agrohemijskih, u prvom redu mineralnih i organskih đubriva (Ninkov i sar., 2012). U ovom radu uzimaju se u obzir emisije samo šest teških metala (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni i Cr), jer su to glavni izvori zagađenja teškim metalima u poljoprivrednim zemljištima (Freiermuth, 2006). Domaća istraživanja sadržaja teških metala u mineralnim đubrivima (Zeremski-Škorić i sar., 2010) su usmerena na svega nekoliko teških metala i umesto na pojedinačne formulacije đubriva podaci se odnose na grupe mineralnih đubriva, stoga se ovi rezultati ne mogu koristiti u ovom radu. Međutim, pri izboru između različitih podataka (npr. Nemecek et al., 2019; Koch i Salou, 2020) prednost je data podacima koji se kreću

u okvirima koji su ustanovljeni u domaćim uslovima (Zeremski-Škorić i sar., 2010). Ipak, treba naglasiti da sadržaj teških metala u različitim mineralnim đubrivima može da se kreće u veoma širokom opsegu (Alengebawy et al., 2021), stoga primenjeni podaci verovatno ne odražavaju stvarne količine teških metala u đubrivima koji se nalaze u prometu u Vojvodini. Odlučeno je da se podaci o mogućem unosu teških metala u zemljište putem đubriva ipak uvrste u inventar proizvodnje uljane repice, kako bi se utvrdio potencijalni doprinos ovog aspekta rezultatima. U ovom radu, sve emisije teških metala u životnu sredinu putem unosa mineralnih đubriva se smatraju emisijama u poljoprivredno zemljište.

U nekim radovima i bazama podataka emisija teških metala u zemljište se utvrđuje bilansiranjem, kao razlika između teških metala dodatih u zemljište putem mineralnih đubriva

i teških metala uklonjenih prinosom uljane repice. Teški metali u žetvenim ostacima i delovima biljke koji su ostavljeni na polju se ne razmatraju u bilansu, jer ne napuštaju sistem. Ukoliko se prinosom uklanja veća količina nego što se unosi mineralnim đubrivima, rezultat će biti negativan bilans, što objašnjava negativne vrednosti u inventaru (red D u Tabela 5).

U osnovnoj varijanti razmatra se samo unos teških metala putem mineralnih đubriva. Osnovni argument za ovakav pristup je da će se teški metali sadržani u semenu u najvećoj meri ponovo vratiti u životnu sredinu. Na primer, prilikom prerade semena u jestivo ulje

većina teških metala sadržanog u semenu uljane repice završava u otpadnim vodama i konačno u životnoj sredini (Szyczewski et al., 2016), ili će teški metali u sačmi koja se koristi kao stočna hrana sekretom životinja verovatno ponovo dospeti u zemljište. Stoga, prikazivanje rezultata utvrđenih bilansiranjem može navesti na pogrešan zaključak da se proizvodnjom uljane repice trajno uklanjaju teški metali iz životne sredine. Međutim, kako bi rezultati analize bili uporedivi sa rezultatima LCA analiza koje se zasnivaju na bilansiranju, u okviru senzitivne analize (Kiš i sar., 2024) će se testirati i ovaj pristup.

Tabela 5. Unošenje i iznošenje teških metala iz zemljišta
Table 5. Input and output of heavy metals from the soil

Proizvod	Količina (kg ha ⁻¹)	Količina teških metala (mg ha ⁻¹)						
		Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	
A	NPK (6/12/24)	500,0	562,0	2.811,0	6.403,0	614,0	2.083,0	9.235,0
	AN (34/0/0) ^(a)	60,6	42,0	352,0	103,0	36,0	61,0	394,0
	MAP(8,4/52/0) ^(b)	115,4	473,0	1.754,0	5.262,0	415,0	1.488,0	8.585,0
	KCl (0/0/60) ^(a)	200,0	46,0	706,0	1.038,0	162,0	534,0	256,0
B	AN (34/0/0)	300,0	210,0	1.740,0	510,0	180,0	300,0	1.950,0
C	Seme repice ^(c)	3.000,0	273,0	14.988,0	89.312,0	1.665,0	2.321,0	3.863,0
D	Razlika (C-A-B)		499,0	-10.436,0	-82.399,0	-872,0	63,0	7.322,0

Izvor podataka: (a) Koch and Salou (2020); (b) Bains and Robinson (2016); (c) Tomáš et al. (2021).

Emisije pesticida

U LCA studijama se uglavnom pretpostavlja da 100% primenjenog pesticida završi kao emisija u zemljište (Nemecek i Schnetzer, 2011), što je naravno pojednostavljen pristup. Distribucija pesticida u životnoj sredini se u ovom radu modeluje softverom PestLCI (Nemecek et al., 2022). Ovaj softver omogućuje da se proceni sudbina pesticida u životnoj sredini (kretanje i transformacija aktivne

materije) između pojedinih medija životne sredine (poljoprivredno zemljište, vazduh, podzemne i površinske vode), kao i deo koji će se usvojiti od strane biljke ili raspasti (Tabela 6). Pri tome uzimaju se u obzir fizičko-hemijske karakteristike zemljišta (sadržaj organske materije i gline, pH vrednost itd.), klimatski uslovi, vreme i način primene, itd., čime se obezbeđuje modelovanje uvažavanjem lokalno specifičnih uslova.

Tabela 6. Distribucija pesticida u životnoj sredini prema rezultatima PestLCI consensus modela
 Table 6. Distribution of pesticides in the environment according to the results of the PestLCI consensus model

Pesticid	Mesec primene	Količina (l ha ⁻¹)	Količina a.m. (g ha ⁻¹)	Distribucija pesticida u životnoj sredini			
				vazduh	zemljište (na parceli)	apsorbovano od strane biljke ^(a)	izvan parcele ^(b)
Herbucid (a.m. metazahlor 400 g L ⁻¹)	septembar	2,5	1.000	10,0%	88,8%	0,0%	1,2%
Herbucid (a.m. cikloksidim 100 g l ⁻¹)	mart	1,25	125	10,0%	35,5%	53,3%	1,2%
Fungicid (a.m. tebukonazol 250 g L ⁻¹)	novembar	0,75	187	10,0%	71,0%	17,7%	1,3%
Insekticid (a.m. lambda-cihalotrin 50 g/L)	novembar, mart i april	3 × 0,3	3 × 15	10,0%	41,8%	47,1%	1,2%

Napomena: (a) Trenutno ne postoje odgovarajući karakterizacioni faktori za procenu uticaja pesticida apsorbovanog od strane biljke na ljudsko zdravlje i ekosistem (Nemecek et al., 2022). Iz tog razloga, ova količina se ne iskazuje kao izlazni tok u inventaru proizvodnog lanca uljane repice. (b) Deo pesticida koji završi van područja koji se tretira, modeluje se kao emisija u zemljište, imajući u vidu da najveći deo površine Vojvodine čine poljoprivredne površine.

Vezivanje atmosferskog ugljen-dioksida u biljci

U procesu fotosinteze uljana repica apsorbuje značajnu količinu atmosferskog ugljen-dioksida i pretvara ga u organske materije u samoj biljci, koje nadalje služe kao izvor hrane i energije. Polazeći od stanovišta da biljke apsorbuju celokupnu količinu potrebnog ugljenika iz atmosfere, količina apsorbovanog ugljen-dioksida se može utvrditi na osnovu sadržaja ugljenika u biljci. Peterson and Hustrulid (1998) su ustanovili da je prosečan sadržaj ugljenika u vlažnom semenu uljane repice 58,4%, dok je sadržaj ugljenika u ostalim delovima biljke 41,4%. Za LCA poljoprivrednih useva relevantna je samo ona količina ugljenika koja je vezana u semenu, odnosno delovima biljke koje se koriste (Nemecek et al., 2019). Pri prinosu uljane repice od 3.000 kg ha⁻¹,

ukupno se apsorbuje 1.752 kg ugljenika, što je ekvivalentno 6.424 kg atmosferskog ugljen-dioksida. Ova količina CO₂ se u nekim LCI bazama podataka iskazuje u inventaru kao ulazni tok iz prirodnog okruženja (npr. ecoinvent), a u drugima kao izlazni tok ugljen-dioksida, ali se onda po pravilu označava negativnim predznakom. Negativan predznak ukazuje da se u procesu fotosinteze oduzima CO₂ iz atmosfere, za razliku od procesa u kojima se oslobađa CO₂ u atmosferu (npr. emisija CO₂ prilikom sagorevanja fosilnih goriva). S obzirom na to da će se u kasnijim fazama životnog ciklusa uljane repice ovaj ugljenik ponovo vratiti u životnu sredinu (npr. prilikom sagorevanja biodizela), u mnogim LCA studijama jednogodišnjih useva se ovaj aspekt zanemaruje, odnosno očekivani efekat se iskazuje u narednim fazama kroz pretpostavku neutralnog uticaja emisije CO₂

poreklom iz biomase na klimatske promene. Međutim, jedan od argumenata za ignorisanje ovog aspekta u parcijalnim LCA analizama, tj. u analizama koje su usmerene samo na deo životnog ciklusa proizvoda, mogao bi biti i taj da se jedino u LCA analizama koje obuhvataju ceo životni ciklus može pravilno proceniti uticaj emisije prethodno apsorbovanog ugljenika, jer u zavisnosti od namene proizvoda, vreme i oblik emisije ugljenika (npr. CO₂, CO, CH₄) može biti različit, što će rezultirati različitim uticajima na globalno zagrevanje (Leinonen, 2022). Iz tog razloga, efekti apsorpcije atmosferskog ugljenika se neće iskazati u osnovnim rezultatima, nego će biti razmotreni u sklopu senzitivne analize (Kiš i sar., 2024) kako bi rezultati bili uporedivi sa radovima u kojima se apsorbovan ugljen-dioksid iskazuje kao negativna emisija ugljen-dioksida.

Građevinski objekti, poljoprivredne mašine i oprema

Uticaji na životnu sredinu nastaju i tokom proizvodnje, održavanja, demontaže, odlaganja ili drugih postupaka na kraju životnog veka građevinskih objekata i poljoprivrednih mašina. Potrebni podaci za procenu ovih uticaja su dostupni iz baze podataka ecoinvent 3.7 za pojedinačne agrotehničke operacije koje se koriste pri proizvodnji ratarskih useva (za detaljan opis ovih inventara vidi Nemecek and Kägi, 2007; str. 48-66). Ovi inventari uključuju podatke o količini poljoprivrednih mašina i priključnih uređaja korišćenih za realizaciju pojedinih agrotehničkih operacija (sa jedinicom mere kg ha⁻¹), površinu građevinskih objekata za smeštaj poljoprivrednih mašina (sa jedinicom mere m² ha⁻¹), potrošnju dizel goriva za realizaciju agrotehničkih operacija (kg ha⁻¹) i povezane emisije, kao i količine teških metala koje se emituju u životnu sredinu usled habanja guma na mašinama. S obzirom na to da se u ovom radu potrošnja dizela iskazuje ukupno, a ne pojedinačno za svaku agrotehničku operaciju, te da se koriste ažurirani emisioni faktori za procenu uticaja koji nastaju zbog sagorevanja

dizel goriva, originalni procesi u ecoinventu su modifikovani na način da su brisani podaci o potrošnji dizel goriva i emisijama koje nastaju pri njegovom sagorevanju. Prema tome, modifikovani procesi (redovi 12-21 u Tabeli P1 u prilogu) omogućuju utvrđivanje uticaja koji nastaju tokom proizvodnje, korišćenja (emisija teških metala u zemljište usled habanja guma), održavanja (uticaji u vezi sa životnim ciklusom maziva i filtera), popravke (uticaji u vezi sa životnim ciklusom energije i materijala koji se koriste za popravke), kao i uticaja koji nastaju u procesima na kraju životnog veka poljoprivrednih mašina (odlaganje, reciklaža). Pored ovih uticaja, modifikovani inventar sadrži i podatke na osnovu kojih je moguće proceniti uticaje koji nastaju u procesima izgradnje, održavanja i demontaže građevinskih objekata koji služe za smeštaj poljoprivrednih mašina (pogonskih i priključnih).

Korišćenje površina

Korišćenje površina se u inventaru životnog ciklusa po pravilu opisuje korišćenjem dva parametra: 1) zauzimanje površina tokom određenog vremenskog perioda sa jedinicom mere m² × god., 2) prevođenje površina u drugi oblik korišćenja sa jedinicom mere m². U LCA analizama poljoprivrednih useva, pod površinama se podrazumevaju poljoprivredne površine i površine pod građevinskim objektima, koje su obuhvaćene u inventarima opisanim u prethodnom poglavlju, zbog čega se ovde procenjuje samo veličina korišćenih poljoprivrednih površina. Za procenu vrednosti prvog parametra potrebno je znati dužinu vremenskog perioda tokom koje je zemljište zauzeto. U slučaju ratarskih useva, dužina vremenskog perioda se odnosi na period između žetve prethodnog i žetve useva koji se ispituje (Nemecek et al., 2019), odnosno, oko 12 meseci u slučaju uljane repice. Prema tome vrednost prvog parametra je 10.000 m² × god FJ⁻¹. U radu se pretpostavlja da se uljana repica gaji na oraničnoj površini koja se ne navodnja i koja

je i ranije bila korišćena na isti način, stoga se drugi parametar opisuje elementarnim tokovima „Transformation from/to arable, not irrigated“ (ecoinvent 3.7) i ima vrednost $10.000 \text{ m}^2 \text{ FJ}^{-1}$.

Transport korišćenih materijala i semena

Tokovi povezani sa transportom materijala (mineralnih đubriva, pesticida i setvenog materijala) do regionalnih/lokalnih distributera su uključeni u ecoinvent procese koji se koriste za procenu uticaja proizvodnog lanca ovih inputa, stoga se oni ovde ne opisuju (za detalje vidi podnaslov „2.3 Market datasets“ u Wernet et al., 2016). Procena uticaja ostalih transportnih aktivnosti se zasniva na pretpostavkama prikazanim u tabeli 7. U radu se polazi od pretpostavke da je gazdinstvo udaljeno 5 km

od regionalnih/lokalnih distributera i da se mineralno đubrivo doprema do gazdinstva traktorom sa vučnom prikolicom nosivosti 8 t. Na isti način se mineralno đubrivo i voda za prskanje transportuje od gazdinstva do parcele, koja je takođe udaljena 5 km. Nakon žetve, seme uljane repice se transportuje traktorom sa dve vučne prikolice nosivosti po 8 t do regionalnog skladišta ili sušare koja je udaljena 10 km od parcele. S obzirom na male količine, u radu se pretpostavlja da nije potrebno posebno angažovati prevoz za pesticide i setveni materijal, nego se oni prevoze traktorom angažovanim u sklopu neke agrotehničke operacije. Procena potrošnje goriva (1 ha^{-1}) i angažovanje transportnog sredstva (t km^{-1}) data je u tabeli 7.

Tabela 7. Inventar transportnih aktivnosti

Table 7. Inventory of transportation activities

	K	R	PS	ITK	PB ^(a)	SPG ^(a)	tkm	PG
Mineralna đubriva	0,8	10	A	0,10	15	8,64	8,00	1,15
Voda	1,8	5	A	0,23	15	8,64	9,00	1,30
Uljana repica	3,0	10	B	0,19	20	9,20	30,00	1,73
Ukupno, po ha							47,00	4,17

(a) Prema Nikolić i sar. (2005); K – količina materijala (t ha^{-1}); R – razdaljina u jednom pravcu (km); PS – prevozno sredstvo (A – traktor sa jednom vučnom prikolicom nosivosti 8 tona; B – traktor sa dve vučne prikolice ukupne nosivosti 16 tona); ITK - iskorišćenje transportnog kapaciteta, dobija se kao količnik mase prevezene robe i ukupne nosivosti transportnog sredstva; PB – prosečna brzina (km h^{-1}); SPG – specifična potrošnja goriva (1 ha^{-1}), tkm – tonski kilometri (t km), računa se množenjem K i R; PG – potrošnja goriva (1 ha^{-1}), računa se množenjem SPG i ITK.

Procena uticaja koji nastaju tokom proizvodnje, održavanja, popravke i postupaka na kraju životnog veka traktora i vučne prikolice se zasniva na modifikovanom ecoinvent procesu: „transport, tractor and trailer, agricultural | transport, tractor and trailer, agricultural | Cutoff, U – CH“. Intervencije koje su rađene na originalnom procesu kako bi bio reprezentativan za ovu studiju su opisane ispod table P1 u prilogu.

Zbirni prikaz inventara proizvodnog lanca uljane repice

Zbirni prikaz ulaznih i izlaznih tokova u proizvodnom lancu uljane repice sa dodatnim objašnjenjima (Tabela P1) je dostupan u elektronskom prilogu ovog rada. Podaci iz zbirnog inventara su uneti u OpenLCA 1.10 softver koji je u kombinaciji sa ReCiPe 2016 Midpoint (H) (Huijbregts et al., 2016) i

Cumulative Energy Demand (Hischier et al., 2010) metodama korišćen za procenu rezultata

inventarisanja. Ecoinvent 3.7 LCI baza podataka je sastavni deo OpenLCA softvera.

Rezultati

U proizvodnom lancu uljane repice u životnu sredinu se emituje više stotina različitih supstanci i upotrebljava nekoliko stotina različitih oblika ruda minerala, neobnovljivih izvora energije, zemljišta i drugih prirodnih resursa. Zbog nemogućnosti prikazivanja svih elementarnih tokova vezanih za proizvodni lanac uljane repice, prikaz podataka je ograničen na manji broj elementarnih tokova (Tabele 8-11). Pregledom su obuhvaćene neke emisije u životnu sredinu koje su određene Uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha (Sl. glasnik RS, br. 63/2013), kao i uredbama o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vodu (Sl. glasnik RS, br. 1/2016) i zemljište (Sl. glasnik RS, br. 64/2019), kao i neki drugi elementarni tokovi koji bi mogli pomoći prilikom tumačenja rezultata LCA.

Jedna od mogućih podela elementarnih tokova u rezultatu inventarisanje je podela na direktne i indirektno tokove. U LCA ne postoji opšte prihvaćena definicija direktnih i indirektnih tokova, ali u ovom radu se pod direktnim tokovima podrazumevaju samo emisije koje nastaju u procesu sagorevanja dizel goriva koje se koristi u poljoprivrednim mašinama za realizaciju njivskih i transportnih aktivnosti u vezi sa proizvodnjom uljane repice, kao i emisije u životnu sredinu usled i nakon primene mineralnih đubriva i pesticida (Grafikon 1). Sve ostale razmene sa životnom sredinom u proizvodnom lancu uljane repice se dešavaju van granica parcele i označavaju se kao indirektno.

Emisije azotovih jedinjenja uglavnom nastaju kao direktne emisije i njihova pojava je uglavnom posledica primene mineralnih đubriva. Rezultat inventarisanja pokazuje da su direktne emisije poreklom iz azota sadržanog u

mineralnim đubrivima oko 4,22 kg amonijaka, 5,28 kg NO_2 i 0,66 kg N_2O . Dodatna količina od 0,43 kg N_2O se oslobađa kao posledica razlaganja žetvenih ostataka i zbog redepozicije prvobitnih emisija NH_3 i NO_x . Gubici azota ispiranjem u vidu nitrata su zanemarljivi (Tabela 9). Primenom mineralnih đubriva unose se teški metali u zemljište što objašnjava veliki udeo direktnih emisija u ukupnim emisijama teških metala u zemljište u proizvodnom lancu uljane repice (Tabela 10). Iz rezultata LCI se može videti da se u proizvodnom lancu uljane repice emituje 1.300 kg ugljen-dioksida u vazduh. Od ove količine oko 25% nastaje direktno, kao posledica sagorevanja dizel goriva u poljoprivrednim mašinama (Tabela 8). Iz rezultata inventarisanja se takođe mogu dobiti informacije o potrošnji (npr. mineralnih resursa i vode) ili angažovanju (npr. zemljišta) prirodnih resursa u proizvodnom lancu uljane repice. Na primer, iz rezultata LCI se može videti da se u proizvodnom lancu 3.000 kg uljane repice troši oko 185 kg sirove nafte, 253 m^3 prirodnog gasa, i oko 153 kg uglja različitog kvaliteta (Tabela 11). Važno je naglasiti da se iz rezultata inventarisanja (Tabele 8-11) mogu dobiti informacije samo o količini određenog elementarnog toka (emisija ili prirodni resurs), ali ne i o njegovom potencijalnom uticaju na ljude ili kvalitet životne sredine. Na primer, iz rezultata LCI se može videti koja količina sumpor-dioksida ili arsena se emituje u životnu sredinu, međutim potencijalni uticaj ovih emisija na životnu sredinu se može utvrditi tek u sledećoj fazi LCA, odnosno u fazi ocenjivanja uticaja životnog ciklusa (eng. life cycle impact assessment, LCIA).

Tabela 8. Odabrani rezultati inventarisanja – emisije u vazduh

Table 8. Selected inventory results – air emissions

Emisije u vazduh		Ukupno	Direktno	Indirektno
Ugljen-dioksid, CO ₂ , ^{fosilni} ⁽¹⁾	kg	1,30E+03	25,5%	74,5%
Azot-suboksid, N ₂ O	kg	1,94E+00	89,2%	10,8%
Metan, CH ₄	kg	2,36E+00	0,1%	99,9%
Oksidi azota, NO _x	kg	3,47E+00	39,1%	60,9%
Azot-dioksid, NO ₂	kg	5,28E+00	100,0%	0,0%
Sumpor-dioksid, SO ₂	kg	2,08E+00	0,1%	99,9%
Ugljen-dioksid, CO	kg	5,00E+00	12,7%	87,3%
Suspendovane čestice (PM), ukupno	kg	1,68E+00	3,4%	96,6%
PM, <2,5 μm	kg	4,33E-01	13,3%	86,7%
PM, između 2,5 i 10 μm	kg	5,65E-01	0,0%	100,0%
PM, >10 μm	kg	6,85E-01	0,0%	100,0%
Amonijak, NH ₃	kg	5,20E+00	81,2%	18,8%
Fluorovodonik, HF	kg	5,53E-03	0,0%	100,0%
Hlorovodonik, HCl	kg	5,28E-02	0,0%	100,0%
NMVOC ⁽²⁾	kg	1,03E+00	11,4%	88,6%

⁽¹⁾ Podatak se odnosi isključivo na emisiju ugljen-dioksida fosilnog porekla. Količina CO₂ poreklom iz biomase, odnosno količina atmosferskog CO₂ koja je apsorbovana u semenu uljane repice u procesu fotosinteze nije iskazana u inventaru, niti se koriste prilikom računanja LCIA rezultata; ⁽²⁾ Grupa nemetanskih isparljivih organskih jedinjenja (NMVOC) obuhvata oko 90 jedinjenja ili grupa jedinjenja uključujući i benzen, benzo(a)piren, policiklične aromatične ugljovodonike (PAH) i aromatične ugljovodonike.

Tabela 9. Odabrani rezultati inventarisanja – emisije u vodu

Table 9. Selected inventory results – water emissions

Emisija		Ukupno	Direktno	Indirektno
Amonijum, NH ₄ ⁺	kg	1,16E-01	0,0%	100,0%
Nitrat, NO ₃ ⁻	kg	6,49E-01	0,0%	100,0%
Fosfatni jon, PO ₄ ³⁻	kg	7,95E-01	0,0%	100,0%
Fosfor, P	kg	9,84E-01	98,5%	1,5%
Hemijska potrošnja kiseonika, HPK	kg	3,52E+00	0,0%	100,0%
Biohemijska potrošnja kiseonika, BPK	kg	2,30E+00	0,0%	100,0%

Tabela 10. Emisija teških metala u životnu sredinu
Table 10. Emission of heavy metals into the environment

Metali	Jed. mere	Emisije u vazduh		Emisije u vodu		Emisije u zemljište	
		Ukupno	Direktno	Ukupno	Direktno	Ukupno	Direktno
Kadmijum (Cd)	kg	2,27E-05	5%	1,42E-03	0%	8,00E-04	96%
Bakar (Cu)	kg	1,77E-03	10%	3,11E-01	0%	4,74E-03	96%
Cink (Zn)	kg	1,76E-03	6%	9,21E-02	0%	2,30E-02	30%
Olovo (Pb)	kg	8,20E-04	0%	5,11E-02	0%	9,76E-04	81%
Nikl (Ni)	kg	7,52E-04	1%	3,79E-02	0%	2,41E-03	99%
Hrom (Cr)	kg	3,74E-03	0%	1,83E-02	0%	8,29E-05	0%
Arsen (As)	kg	9,87E-05	0%	3,28E-03	0%	4,41E-06	0%
Kobalt (Co)	kg	7,90E-05	0%	1,12E-02	0%	7,56E-06	0%
Živa (Hg)	kg	1,41E-05	0%	1,43E-04	0%	3,91E-07	0%
Barijum (Ba)	kg	8,36E-04	0%	7,58E-02	0%	2,67E-03	0%

Tabela 11. Odabrani rezultati inventarisanja – prirodni resursi
Table 11. Selected inventory results - natural resources

Prirodni resurs		Ukupno	Direktno	Indirektno
<u>Korišćenje neobnovljivih izvora energije</u>				
Sirova nafta (prosečno 45,8 MJ kg ⁻¹), u zemlji	kg	1,85E+02	0,0%	100,0%
Prirodni gas (prosečno 38,3 MJ m ⁻³), u zemlji	m ³	2,53E+02	0,0%	100,0%
Mrki ugajl (prosečno 9,9 MJ kg ⁻¹), u zemlji	kg	4,10E+01	0,0%	100,0%
Kameni ugajl (prosečno 19,1 MJ kg ⁻¹), u zemlji	kg	1,12E+02	0,0%	100,0%
Uranijum ⁽¹⁾	kg	1,78E-03	0,0%	100,0%
<u>Zauzimanje površina</u>				
Poljoprivredno zemljište	m ² ×god.	1,01E+04	99,0%	1,0%
Građevinsko zemljište	m ² ×god.	3,83E+01	0,0%	100,0%
<u>Korišćenje vode</u>				
Voda	m ³	1,60E+01	0,0%	100,0%

⁽¹⁾ Ukupna potrošnja uranijuma je normalizovana u odnosu na uranijum iz koga se u proseku dobija 560.000 MJ električne energije po kg

Zaključak

U okviru ovog rada, ulazni i izlazni tokovi proizvodnje uljane repice su procenjeni za uslove proizvodnje koji se mogu smatrati tipičnim na značajnim površinama u Vojvodini, na osnovu preporuka stručnih službi i primenom savremenih metoda za procenu emisija u okviru LCA. Ovaj pristup inventarisanju, sa aspekta

LCA, ima veću relevantnost u odnosu na podatke sakupljene od pojedinačnih poljoprivrednih gazdinstava ili preduzeća, jer LCA teži, koliko god je to moguće, da svoje zaključke izvodi na osnovu prosečnih vrednosti i tipičnih uslova proizvodnje. Rezultat inventarisanja sadrži podatke o više stotina različitih zagađujućih

materija koje se emituju u vazduh, vodu i zemljište, kao i o utrošku prirodnih resursa u procesima koji čine proizvodni lanac uljane repice. Iako se rezultati inventarisanja smatraju najpouzdanijim rezultatima LCA, oni nisu pogodni za izvođenje neposrednih zaključaka o uticaju proizvodnog lanca uljane repice na

kvalitet životne sredine ili na ljudsko zdravlje. Iz tog razloga, neophodno je analizu upotpuniti ocenjivanjem uticaja životnog ciklusa (treća faza LCA), koja daje dodatna objašnjenja i tumačenja značaja rezultata inventarisanja sa aspekta zaštite životne sredine.

Zahvalnica

Autori su zahvalni Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije na finansijskoj podršci ovog istraživanja, broj

ugovora 451-03-47/2023-01/200134 i 451-03-47/2023-01/200032.

Prilog

Elektronski prilog (Tabela P1) sadrži detaljan prikaz tokova u proizvodnom lancu uljane repice i dostupan je putem sledećeg linka: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10843839>.

Doprinos autora

Konceptualizacija, F.K. i J.V.; Metodologija, F.K.; Softver, F.K.; Priređivanje podataka, F.K., Ž.M., T.Z., S.M. i J.S.; Istraživanje, F.K., J.S. i S.M.; Upravljanje projektom, F.K.; Vizualizacija,

F.K.; Validacija, J.V. i T.Z.; Pisanje — originalna priprema nacрта rada, F.K., S.M. i J.S.; Pisanje — pregled i uređivanje, J.V. T.Z.,

Literatura

Avadí A, Galland V, Versini A, Bockstaller C (2022): Suitability of operational N direct field emissions models to represent contrasting agricultural situations in agricultural LCA: review and prospectus. *Science of the Total Environment*, 802: 149960. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149960>

Bains M, Robinson L (2016): Material comparators for end-of-waste decisions. tech. rep., Environment Agency.

Bockstaller C, Galland V, Avadí A (2022): Modelling direct field nitrogen emissions using a semi-mechanistic leaching model newly implemented in Indigo-N v3. *Ecological Modelling*, 472: 110109. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110109>

Crnobarac J, Marinković R, Mulić R, Furman T (2005): Sirovine za proizvodnju biodizela. U Furman i sar. (ured.) Biodizel alternativno

i ekološko tečno gorivo. Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, 40-73.

Dalmacija B (2009): Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini. Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj, Novi Sad.

Faist Emmenegger M, Reinhard J, Zah R (2009): Sustainability Quick Check for Biofuels – Background Report. Ed EMPA, Dübendorf, Switzerland.

Flach B, Lieberz S, Bolla S (2022): Biofuels Annual. Report number: E42022-0048. United States Department of Agriculture, USA.

Freiermuth R (2006): Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Okobilanz. SALCA-Schwermetall. Report Agroscope FAL Zürich Rechenholz, Switzerland.

Fridrihsone A, Romagnoli F, Cabulis U

- (2018): Life Cycle Inventory for winter and spring rapeseed production in Northern Europe. *J. Clean. Prod.* 177: 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.214>
- Geilenkirchen G, Hulskotte J, Dellaert S, Ligterink N, Sijstermans M, Roth K, Hoen M (2021): Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. 2021 (Background Report), PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Hergoualc'h K, Akiyama H, Bernoux M, Chirinda N, Prado A. D, Kasimir Å, Weerden T (2019): Chapter 11: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Hischier R, Weidema B, Althaus H. J, Bauer C, Doka G, Dones R, Nemecek T (2010): Implementation of life cycle impact assessment methods. Final report ecoinvent v2, 2.
- Huijbregts MA, Steinmann ZJ, Elshout PM, Stam G, Verones F, Vieira MDM, van Zelm R (2016): ReCiPe 2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level report I: characterization. Jovičić M (2001): Vodoprivredna osnova Republike Srbije. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Beograd.
- Kiš F, Bošković G (2013): Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa biodizela ReCiPe metodom. *Hemijaska industrija*, Vol 67 (4): 601-613. <https://doi.org/10.2298/HEMIND120801102K>
- Kiš F, Đurišić-Mladenović N, Marjanović-Jeromela A (2024): Procena uticaja proizvodnje uljane repice na životnu sredinu LCA metodom. Drugi deo: Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa. *Selekcija i semenarstvo*, Vol 30 (1): 35-50. <https://doi.org/10.5937/SelSem2401035K>
- Koch P, Salou T (2020): AGRIBALYSE®: methodology, agricultural stage-version 3.0. June 2020. ADEME. Angers. France.
- Leinonen I (2022): A general framework for including biogenic carbon emissions and removals in the life cycle assessments for forestry products. *Int. J. Life Cycle Assess.* Vol 27 (8): 1038-1043. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02086-1>
- Manojlović M, Bogdanović D, Lazić S, Nešić Lj (2014): Plodnost i opterećenost zemljišta u pograničnom području. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Mihailović DT, Drešković N, Arsenić I, Ćirić V, Djurdjević V, Mimić G, Balaz I (2016): Impact of climate change on soil thermal and moisture regimes in Serbia: An analysis with data from regional climate simulations under SRES-A1B. *Sci. Total Environ.* 571: 398-409. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.142>
- Nemecek T, Bengoa X, Lansche J, Roesch A, Faist-Emmenegger M, Rossi V, Humbert S (2019): Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. Version 3.5, December 2019. World Food LCA Database (WFLDB): Quantis and groscope, Lausanne and Zurich, Switzerland.
- Nemecek T, Antón A, Basset-Mens C, Gentil-Sergent C, Renaud-Gentié C, Melero C, Fantke P (2022): Operationalising emission and toxicity modelling of pesticides in LCA: the OLCA-Pest project contribution. *Int. J. Life Cycle Assess.* Vol 27 (4): 527-542. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02048-7>
- Nemecek T, Kägi T (2007): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dubendorf, CH.
- Nemecek T, Schnetzer J (2011): Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems; Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART ecoinvent Centre: Zürich.
- Nikolić R, Brkić M, Klinar I, Furman T (2005): Potrebe za tečnim gorivima. U Furman i sar. (ured.). Biodizel alternativno i ekološko tečno gorivo, Departman za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, 11-40.
- Ninkov J, Milić S, Vasin J, Kicošev V, Sekulić

- P, Zeremski T, Maksimović L (2012): Teški metali u zemljištu i sedimentu potencijalne lokalne ekološke mreže srednjeg Banata. Ratarstvo i povrtarstvo, Vol 49 (1): 17-23. <https://doi.org/10.5937/ratpov49-1280>
- Panagos P, Köningner J, Ballabio C, Liakos L, Muntwyler A, Borrelli P, Lugato E (2022): Improving the phosphorus budget of European agricultural soils. *Sci. Total Environ.* 853: 158706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158706>
- Peterson C, Hustrulid T (1998): Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels. *Biomass and Bioenergy*, Vol 14 (2): 91-101. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10028-9](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10028-9)
- Petrović M, Sekulić J (2020): Sredstva za zaštitu bilja u prometu u Srbiji. *Biljni lekar*, Vol 48 (3-4).
- Prasuhn V (2006): Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung SALCA Phosphor. *Agroscope Reckenholz-Tänikon, Switzerland*.
- Raboanatahiry N, Li H, Yu L, Li M (2021): Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, utilization, and genetic improvement. *Agronomy*, Vol 11 (9): 1776. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>
- Savić R, Letić L, Božinović M (2002): Eolska erozija na obradivom zemljištu. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, Vol 26 (1): 60-66.
- Scherer L, Pfister S (2015): Modelling spatially explicit impacts from phosphorus emissions in agriculture. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20: 785-795. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0880-0>
- Sonnemann G, Vignon B (2011): Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*, 47-49.
- Steubing B, Wernet G, Reinhard J, Bauer C, Moreno-Ruiz E (2016): The ecoinvent database version 3 (part II): analyzing LCA results and comparison to version 2. *Int. J. Life Cycle Assess.* 21: 1269-1281. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1109-6>
- Szczewski P, Frankowski M, Ziola-Frankowska A, Siepak J, Szczewski T, Piotrowski P (2016): A comparative study of the content of heavy metals in oils: linseed oil, rapeseed oil and soybean oil in technological production processes. *Arch. Environ. Prot.* Vol 42 (3): 37-40. <https://doi.org/10.1515/aep-2016-0029>
- Takacs B, Borrión A (2020): The use of life cycle-based approaches in the food service sector to improve sustainability: a systematic review. *Sustainability*, Vol 12 (9): 3504. <https://doi.org/10.3390/su12093504>
- Tešić M, Kiš F, Janković V (2008): Mogućnost proizvodnje i korišćenja biodizela u AP Vojvodini - Monografija. Novi Sad : Vojvođanska akademija nauka i umetnosti.
- Thiagarajan A, Fan J, McConkey BG, Janzen HH, Campbell CA (2018): Dry matter partitioning and residue N content for 11 major field crops in Canada adjusted for rooting depth and yield. *Can. J. Soil Sci.* Vol 98 (3): 574-579. <https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0144>
- Tomáš J, Árvay J, Tóth T (2012): Heavy metals in productive parts of agricultural plants. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 1: 819-827.
- Trinsoutrot I, Recous S, Mary B, Justes E, Nicolardot B (1999): C and N mineralisation of oilseed rape crop residues in soil. In *New horizons for an old crop*. In: Proc. 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia CD-ROM.
- USDA, United States Department of Agriculture (2023): Oilseeds: World Markets and Trade. Available in <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> (05. May, 2023).
- Veselinov B, Martinov M, Golub M, Višković M, Bojić S, Đatkov Đ (2015): Potencijal žetvenih ostataka uljane repice u Srbiji. *Poljoprivredna tehnika*, Vol 40 (3): 59-68.
- Vidojević D, Damnjanović D (2020): Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji. *Ministarstvo zaštite životne sredine - Agencija za zaštitu životne sredine*.
- Wernet G, Bauer C, Steubing B, Reinhard J, Moreno-Ruiz E, Weidema B (2016): The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int.*

- J. Life Cycle Assess. 21: 1218-1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
- Winter M, Dore C (2019): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Non-road mobile sources and machinery. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Zeremski-Škorić T, Ninkov J, Sekulić P, Milić S, Vasin J, Dozet D, Jakšić S (2010): Sadržaj teških metala u odabranim đubrivima koja su u upotrebi u Srbiji. Ratarstvo i povrtarstvo, Vol 47 (1): 281-287.
- ZSV - Zadružni savez Vojvodine (2021): Cenovnik usluga Zadružnog saveza Vojvodine za 2021. Zadružni savez Vojvodine, Novi Sad, Srbija.

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF RAPESEED PRODUCTION USING THE LCA METHOD

Part One: Life Cycle Inventory Analysis

Ferenc Kiš, Jovica Vasin, Željko Milovac, Tijana Zeremski, Stanko Milić, Jasna Savić

Summary

This is the first part of an environmental life cycle assessment (LCA) study of oilseed rape cultivated under conditions prevalent in the region of Vojvodina, Serbia. The paper presents the initial two phases of the LCA: goal and scope definition, as well as the life cycle inventory (LCI). The assessment exclusively focuses on the rapeseed oil production chain, which includes the transportation of oilseeds to regional silos as its final stage. The assessment of production inputs, including quantities of mineral fertilizers, pesticides, and diesel fuel needed to achieve an assumed yield of 3000 kg ha⁻¹, relies on recommendations from relevant agricultural advisory institutions. Emissions of pollutants into the environment, considered as outputs, are calculated using methodologies that account for locally specific conditions and production practices. Collected or estimated input and output data are entered into the OpenLCA software, which, in conjunction with the ecoinvent 3.7 database, computes the results of the LCI analysis. The LCI result contains data on hundreds of different pollutants emitted into the environment during the processes that make up the oilseed rape production chain, as well as a detailed inventory of consumed or used natural resources. However, LCI results only provide data on the quantities of different exchanges with the environment, not their potential impacts. Thus, they are not suitable for concluding the overall impact of oilseed rape production on the environment. Consequently, the analysis requires supplementation through the third LCA phase: the life cycle impact assessment (LCIA). This phase provides further explanations and interpretations of the significance of inventory results from an environmental protection perspective.

Key words: oilseed rape, life cycle assessment, Vojvodina, inventory

Primljen: 10.01.2024.
Prihvaćen: 12.02.2024.