

POTENCIJAL BIOOTPADA: CRNA VOJNIČKA MUHA KAO ODRŽIVA STOČNA HRANA U HRVATSKOJ

BIOWASTE POTENTIAL: BLACK SOLDIER FLY AS A SUSTAINABLE ANIMAL FEED IN CROATIA

M. List, M. Harcet

Stručni članak - Professional paper
 Primljeno - Received: 17. ožujak - March 2025
 Revidirano - Revised: 27. kolovoz - August 2025
 Prihvaćeno - Accepted: 02. veljača - February 2026
<https://doi.org/10.33128/k.68.1.6>

SAŽETAK

U Hrvatskoj je u 2023. godini evidentirano 1.833.341,00 tona komunalnoga otpada, od čega se 503.553,00 tone odnosi na biootpad. Iako se posljednjih godina ulažu napor za uspostavu infrastrukture za odvojeno prikupljanje otpada, još uvijek se na nacionalnoj razini odvaja tek 149.665,00 tona biootpada, što predstavlja oko 30 % ukupno raspoloživih količina. Ostatak, otprilike 70 %, završava na odlagalištima, što potencira ekološke i ekonomske probleme poput emisije stakleničkih plinova, povećava troškove sanacije odlagališta te rezultira gubitkom vrijednih organskih sirovina koje bi se mogle iskoristiti u kružnome gospodarstvu. Crna vojnička muha (*Hermetia illucens*) predstavlja inovativno i održivo rješenje za preradu biootpada. Njezine ličinke iznimno brzo metaboliziraju organske ostatke, pretvarajući ih u biomasu bogatu bjelančevinama i mastima. Ovaj proces ne samo da značajno smanjuje količinu otpada koji završava na odlagalištima, već stvara visokovrijedne proizvode. Bjelančevinasto brašno dobiveno preradom ličinkama može se koristiti kao nutritivno bogat sastojak hrane za životinje, djelomično zamjenjujući sojinu sačmu i riblje brašno, čija proizvodnja često ima negativan ekološki utjecaj. Osim toga, nusprodukt prerade (engl. frass) može se koristiti kao visokokvalitetno organsko gnojivo, dodatno doprinoseći održivosti ovoga procesa. U radu su prikazani aktualni podaci o stanju biootpada u Hrvatskoj, kao i analiza bioloških, tehnoloških i ekonomskih aspekata uzgoja ličinki. Također se razmatra potencijal za daljnji razvoj ove metode prerade biootpada, osobito u lokalnim jedinicama ili centrima za gospodarenje otpadom. Pregledom literature i dostupnih istraživanja potvrđena je učinkovitost i isplativost ove prakse, pri čemu se naglašava njezin doprinos smanjenju otpada i osiguravanju alternativnih izvora bjelančevina.

Ključne riječi: biootpad, crna vojnička muha, *Hermetia illucens*, održivo gospodarenje otpadom, alternativne bjelančevine, kružna ekonomija

Marko List, mag. ing. agr., e-mail: direktor@consultare.hr, (ORCID: 0009-0005-4757-7194), Consultare d.o.o., Trg Petra Zrinskog 7, 10340 Vrbovec, Hrvatska; dr. sc. Matija Harcet, e-mail: mharcet@irb.hr, (ORCID: 0009-0005-9901-4916), Laboratorij za molekularnu genetiku, Zavod za molekularnu biologiju, Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, Zagreb, Hrvatska

UVOD

Gospodarenje biootpadom postaje ključna tema u održivome upravljanju resursima i zaštiti okoliša. U 2023. godini, Hrvatska je generirala 1.833.341,00 tona komunalnoga otpada, od čega 503.553,00 tone čini biootpad (MZOZT, 2024.). Unatoč naporima uložanima u izgradnju infrastrukture za odvojeno prikupljanje, samo 30 % biootpada uspijeva se prikupiti i obraditi (MZOZT, 2024.). Preostali biootpad, koji bi mogao postati koristan resurs, završava na odlagalištima, čime se potenciraju ozbiljni ekološki problemi, poput emisije stakleničkih plinova, uključujući metan, koji nastaje zbog raspadanja organskog materijala u uvjetima bez kisika. Ovaj način gospodarenja otpadom također povećava troškove sanacije odlagališta i smanjuje iskoristivost prostora za odlaganje. Kako bi se smanjili ovi problemi, nužno je implementirati održiva rješenja za preradu biootpada. Jedno od inovativnih rješenja koje se ističe u recentnim istraživanjima jest korištenje crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*) za preradu biootpada.

Ličinke crne vojničke muhe imaju izuzetnu sposobnost prerade organskih ostataka u visokovrijednu biomasu bogatu bjelančevinama i mastima. Ličinke crne vojničke muhe mogu se hraniti različitim vrstama biootpada, uključujući kuhinjski otpad, voće, povrće i nusproizvode prehrambene industrije, pri čemu brzo rastu i stvaraju biomasu koja se može koristiti kao hrana za životinje (Rehman i sur., 2022.). Osim toga, proces prerade biootpada s pomoću ličinki crne vojničke muhe rezultira nastankom nusproizvoda koji se sastoji od izmeta ličinka, neprobavljenih čestica hrane, hitinskih ostataka te jajašaca i ličinki u različitim razvojnim stadijima, (engl. frass), koji se može koristiti kao visokokvalitetno organsko gnojivo, čime se doprinosi održivosti u poljoprivredi (Rehman i sur., 2022.). Prema istraživanju provedenome u Keniji, nutritivna vrijednost ličinki crne vojničke muhe može značajno varirati, ovisno o tipu biootpada na kojem se uzgajaju. Na primjer, ličinke hranjene kuhinjskim otpadom imaju visoki sadržaj bjelančevina, dok su ličinke hranjene piletinom ili pivskim otpadom bogatije mastima (Shumo i sur., 2019.).

Ova varijacija u sastavu čini ličinke crne vojničke muhe vrlo fleksibilnim izvorom bjelančevina i masti, koji se može prilagoditi specifičnim potrebama stočarske industrije. Osim nutritivne vrijednosti, istraživanja pokazuju i ekonomsku isplativost korištenja

ličinki crne vojničke muhe. Metoda korištenja crne vojničke muhe za preradu biootpada ima niz prednosti u odnosu na tradicionalne metode, kao što su kompostiranje ili anaerobna razgradnja. Ličinke crne vojničke muhe zahtijevaju manje vremena za rast i omogućuju veću efikasnost u preradi organskoga otpada u biomasu (Seyedalmoosavi i sur., 2022.), što čini ovu metodu bržom i ekonomičnijom, uz manju potrošnju resursa i manji ekološki otisak.

Korištenje kukaca kao hrane za životinje, osobito kroz proizvodnju brašna od kukaca, sve se više istražuje u globalnome kontekstu. Ličinke crne vojničke muhe pokazale su se efikasnim u brzoj razgradnji širokoga spektra biorazgradivih tvari, pri čemu se stopa konverzije biootpada u ličinke kreće od 10 – 20 %, ovisno o uvjetima uzgoja. Ličinke sadrže 35 – 45 % sirovih bjelančevina u suhoj tvari, a sadržaj sirovih masti može dosegnuti 20 – 30 %, što ih čini vrlo atraktivnim izvorom bjelančevina i energije. Osim toga, brojne studije potvrđuju kako ličinke učinkovito smanjuju patogene mikroorganizme u otpadu, dok nusproizvod njihova metabolizma, takozvani frass, može poslužiti kao kvalitetno organsko gnojivo bogato dušikom, fosforom i kalijem. Uključivanje bjelančevina ličinke crne vojničke muhe u obroke peradi poboljšava rast i kvalitetu mesa, pokazujući potencijal kao održivi izvor bjelančevina (Gross-Bošković, 2024.).

Ličinke crne vojničke muhe mogu se uzgajati na raznim podlogama, uključujući poljoprivredne nusproizvode i ostatke hrane, što ih čini fleksibilnom i ekonomičnom opcijom za održivu proizvodnju hrane za životinje (Lozica i sur., 2022.). Korištenje kukaca kao alternativnih izvora bjelančevina omogućuje smanjenje troškova u stočarskoj proizvodnji i doprinosi održivosti sustava proizvodnje hrane (Beljan, 2022.). Kukci, posebno ličinke crne vojničke muhe, predstavljaju iznimno bogat izvor bjelančevina i masti, s visokim sadržajem esencijalnih aminokiselina, što ih čini korisnim u hranidbi životinja (Duvnjak i sur., 2019.). Kukci, kao što je crna vojnička muha, postaju ključna komponenta održive hrane za životinje zbog svojih nutritivnih svojstava i sposobnosti recikliranja biootpada (Horvat, 2024.). Upotreba kukaca u hranidbi svinja može dovesti do smanjenja uvoza soje i drugih skupih izvora bjelančevina, čime se smanjuju troškovi proizvodnje (Senčić i sur., 2024.). Na globalnoj razini kukci postaju sve zanimljiviji izvor bjelančevina i masti za ljude, proizvodne životinje (trenutačno akvakultura) i kućne ljubimce, kukcojede (Mašek i sur., 2024.).

Europska zakonodavna regulativa, kao i Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23), postavljaju ciljeve smanjenja količine otpada na odlagalištima, u skladu s europskim direktivama (2008/98/EZ, 2018/851/EU). Države članice EU-a obvezale su se do 2035. godine smanjiti količinu odloženoga otpada na odlagalištima na najviše 10 % ukupnoga komunalnog otpada, što za Hrvatsku podrazumijeva snažniji razvoj kružne ekonomije i alternativnih metoda zbrinjavanja otpada. U Europi već postoje industrijski pogoni za uzgoj crne vojničke muhe, posebno u Nizozemskoj, Francuskoj i Belgiji, u kojima oni surađuju s ugostiteljstvom i maloprodajom (otpad od hrane) te poljoprivredno-

prehrambenim sektorom (nusproizvodi proizvodnje). U Hrvatskoj, međutim, još uvijek prevladavaju pilot-projekti i laboratorijska istraživanja, dok ne postoje veliki komercijalni pogoni za proizvodnju brašna od kukaca, djelomično zbog novih zakonskih propisa i nedovoljno razvijenoga sustava odvojenoga sakupljanja otpada (NN 84/21, 142/23).

U ovome radu analiziraju se biološki, tehnološki i ekonomski aspekti uzgoja crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*) te mogućnosti njezine primjene u okviru hrvatskoga sustava gospodarenja otpadom, s posebnim naglaskom na učinkovitost i isplativost ove metode u smanjenju biootpada i proizvodnji održivih izvora bjelancevina.



Slika 1. Odrasla jedinka crne vojničke muhe
(*Hermetia illucens*)
Figure 1 Adult black soldier fly (*Hermetia illucens*)

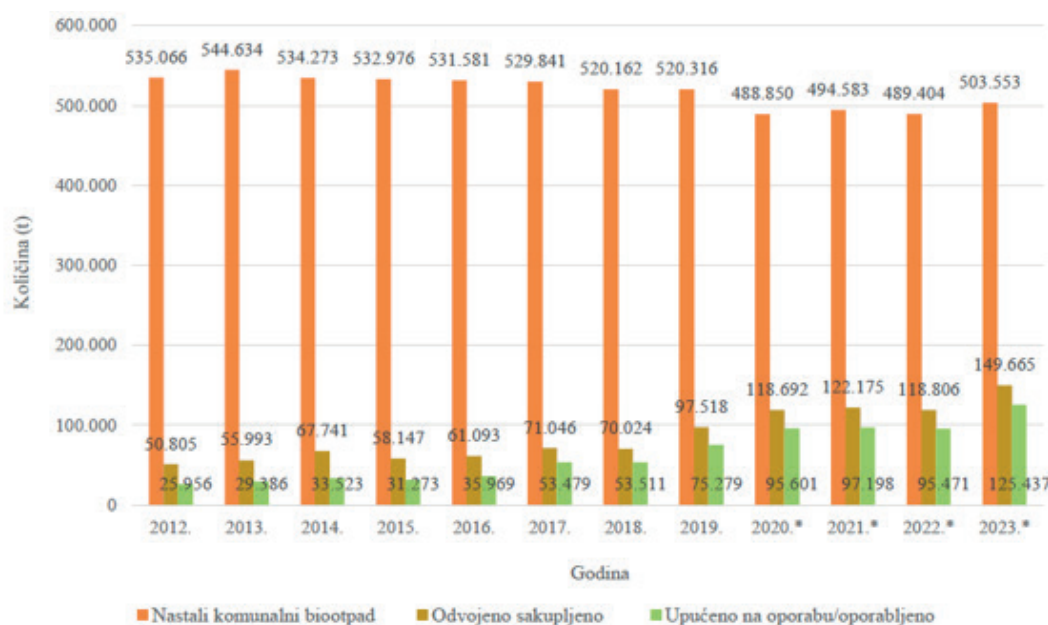


Slika 2. Ličinke crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*)
Figure 2 The larvae of the black soldier fly
(*Hermetia illucens*)

MATERIJAL I METODE RADA

Cilj ovoga istraživanja bio je procijeniti potencijal crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*) za preradu biootpada koji završava na odlagalištima, izračunati količinu ličinaka koje se mogu proizvesti, količinu brašna dobivenoga od tih ličinaka te procijeniti koliko bi se brojlera (pečenaca) i riba moglo hraniti brašnom kukaca na godišnjoj razini. Također, istražili smo ekonomske aspekte, uključujući uštede u proizvodnji stočne hrane i potencijalnu isplativost ove metode.

Za ovo istraživanje koristili smo se kvantitativnim i analitičkim metodama, a parametri vezani uz uzgoj crne vojničke muhe i preradu njezinih ličinaka temeljili su se na dostupnoj literaturi i empirijskim istraživanjima. Podaci o količini biootpada bili su preuzeti iz službenih izvješća, dok su se ostali parametri izračunavali temeljem poznatih stopa konverzije biootpada u ličinke i proizvodnje frassa (organ-skoga gnojiva).



Slika 3. Nastali biootpad iz komunalnoga otpada i gospodarenje njime, 2012. - 2023. godine (MZOZT, 2024.)

Figure 3 Biowaste generated from municipal waste and its management, 2012-2023 (MZOZT, 2024).

Tablica 1. Sastav različitih vrsta biootpada i stopa proizvodnje ličinaka crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*)

Table 1 The composition of different types of biowaste and the production rate of the larvae of black soldier fly (*Hermetia illucens*)

Vrsta hranidbe Feed type	Udio bjelančevina (% u suhoj tvari) Protein content (% of the dry matter)	Udio masti (% u suhoj tvari) Fat content (% of the dry matter)	pH vrijednost pH value	Stopa konverzije u ličinke (kg ličinaka / kg biootpada) Larval conversion rate (kg of larvae / kg of biowaste)
Kuhinjski otpad (miješani) Kitchen waste (mixed)	38 – 40 %	25 – 28 %	6,5 – 7,0	0,15
Ugostiteljski otpad (restorani) Catering waste (restaurants)	40 – 42 %	20 – 25 %	6,3 – 7,2	0,16
Voće i povrće (uglavnom) Fruits and vegetables (mostly)	35 – 38 %	18 – 22 %	5,5 – 6,5	0,14
Poljoprivredni otpad (biljni ostaci) Agricultural waste (plant debris)	32 – 35 %	15 – 18 %	6,0 – 7,0	0,13

Najprije smo analizirali godišnju količinu biootpada u Hrvatskoj, a zatim izračunali udio otpada koji završava na odlagalištima. Na temelju podataka o konverzijском omjeru biootpada u ličinke, procijenili smo koliko se ličinaka moglo proizvesti. Također, izračunali smo količinu preostalog organskog otpada (frassa) i količinu bjelančevinastoga brašna koje se može dobiti preradom ličinaka. S obzirom na nutritivnu vrijednost brašna od kukaca i prosječnu godišnju potrošnju stočne hrane, procijenili smo broj brojlera i riba koji su se mogli hraniti ovim alternativnim izvorom bjelančevina.

Za ekonomski aspekt istraživanja, primijenili smo metodu analize troškova i koristi (engl. cost-benefit analysis) po uzoru na studiju Evaluating the Growth and Cost-Benefit Analysis of Feeding Improved Indigenous Chicken, with Diets Containing Black Soldier Fly Larva Meal (Waithaka i sur., 2022.), koja istražuje zamjenu ribljega brašna brašnom ličinaka crne vojničke muhe u prehrani pilića, kako bismo procijenili isplativost zamjene sojine sačme i ribljeg brašna bjelančevina brašnom od crne vojničke muhe. Analizirali smo tržišne cijene stočne hrane i izračunali potencijalnu godišnju uštedu. Rezultate smo ilustrirali tablicama i grafičkim prikazima kako bismo omogućili jasnu interpretaciju podataka.

REZULTATI I RASPRAVA

Prema podacima za 2023. godinu, u Hrvatskoj je proizvedeno 503.553,00 tone biootpada, od čega se oko 70 % (oko 353.888,00 tona) odlaže na odlagalištima (MZOZT, 2024.).

Ovaj biootpad predstavlja sirovinu za uzgoj ličinki crne vojničke muhe. Vrste biootpada koji se koriste za uzgoj uključuju kuhinjski otpad, ostatke hrane, poljoprivredne i industrijske nusproizvode, kao i ostatke hrane iz ugostiteljskih objekata.

Vrste biootpada odabrane su prema njihovoj dostupnosti te potencijalu za proizvodnju ličinaka crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*). Svaka odabrana vrsta otpada ima specifičan nutritivni sastav, pH vrijednost i druge fizikalno-kemijske osobine koje mogu značajno utjecati na uspješnost uzgoja ličinaka. Budući da crna vojnička muha najbolje

raste kada je udio bjelančevina i masti u hrani visok (Nguyen i sur., 2015.), ovi su parametri ključni za rast ličinaka. Kuhinjski otpad i ugostiteljski otpad imaju viši udio masti, dok biljni otpad i voće imaju manji udio masti i veći udio ugljikohidrata, što također utječe na stopu rasta ličinaka. Vrijednost pH utječe na rast ličinaka, a optimalan pH za uzgoj crne vojničke muhe jest između 5,5 i 7,0 (Vodounnou i sur., 2024.). Sve vrste otpada u Tablici 1. imaju pH u tome rasponu, čineći ih pogodnima za uzgoj. Ugostiteljski otpad ima najvišu stopu konverzije zbog visokoga udjela masti i bjelančevina (Nguyen i sur., 2015.). Kuhinjski otpad također ima visoku stopu konverzije, dok voće i povrće, te poljoprivredni otpad, imaju niže stope konverzije zbog manjeg udjela hranjivih tvari (Nguyen i sur., 2015.). Prema Nguyenu i sur. (2015.), ličinke crne vojničke muhe najbolje su rasle na kuhinjskome otpadu, s povećanjem mase od oko 68 %. Još bolji rezultati postignuti su na voću i povrću (oko 99 %) te ribljem otpadu (oko 74 %), ali se kod tih materijala učinkovitost smanjivala ako je uzgoj trajao dulje. Kod kuhinjskoga otpada taj pad nije zabilježen, što ga čini najstabilnijom hranom za uzgoj ličinaka.

Za izračun količine ličinaka, brašna i frassa koji se mogu dobiti iz 353.888,00 tona biootpada, uzima se prosječna stopa konverzije biootpada u ličinke od 15 % (0,15 kg ličinaka po 1 kg biootpada, (Li i sur., 2021.).

Prema pretpostavci da 1 kg biootpada daje 0,15 kg ličinaka, iz 353.888,00 tona biootpada proizvodi se sljedeće:

$$\text{količina ličinaka} = 353.888 \text{ tona biootpada} \\ \times 0,15 = 53.083,2 \text{ tone ličinaka}$$

Ličinke crne vojničke muhe prerađuju se u bjelančevinasto brašno koje se koristi kao stočna hrana, a pritom 25 % mase ličinaka čini suho brašno (Barragán-Fonesca i sur., 2019.).

$$\text{količina brašna od kukaca} = 53.083,2 \text{ tone} \\ \text{ličinaka} \times 0,25 = 13.270,80 \text{ tona}$$

Ovo brašno predstavlja alternativni izvor bjelančevina u stočnoj hrani (Lee i sur., 2024.) čime se značajno smanjuje potreba za tradicionalnim izvorima bjelančevina poput sojine sačme i ribljega brašna.

Nakon što se ličinke prerade u brašno, preostali materijal koji nije iskorišten predstavlja frass tj. organsko gnojivo. Ako za svaku 1 kg proizvedenih ličinaka dobijemo 2 kg frassa (Kenchanna i sur., 2024.), iz 53.083,2 tone ličinaka dobit ćemo:

$$\text{količina frassa} = 53.083,2 \text{ tone ličinaka} \\ \times 2 = 106.166,4 \text{ tone}$$

Frass predstavlja visokokvalitetno organsko gnojivo, bogato hranjivim tvarima kao što su dušik, fosfor i kalij, te se može primijeniti u poljoprivredi za poboljšanje kvalitete tla (Hervé i sur., 2024.).

U EU-u, primjena brašna od ličinaka crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*, BSF) u stočnoj hrani sve je više prepoznata kao održiva alternativa tradicionalnim izvorima bjelančevina, sojinoj sačmi i ribljem brašnu. Iako propisi EU-a ne određuju specifične maksimalne udjele brašna od kukaca u hrani za životinje, istraživanja i praksa pokazuju varijacije u udjelima ovisno o vrsti životinje i formulaciji hrane. Prema propisima EU-a, Uredbom Komisije (EU) 2021/1372 od 17. kolovoza 2021. izmijenjen je Prilog IV. Uredbe (EZ) br. 999/2001 Europskoga parlamenta i Vijeća, čime je dopuštena upotreba prerađenih životinjskih bjelančevina (PAP – processed animal protein) iz kukaca u hrani za svinje i perad, što dotad nije bilo dozvoljeno. Ova izmjena predstavlja nastavak liberalizacije korištenja životinjskih bjelančevina započete Uredbom (EU) 2017/893, kojom je prvi put dopušteno korištenje PAP-a iz kukaca u hrani za akvakulturu. U hranidbi riba, poput kalifor-

nijske pastirve (*Oncorhynchus mykiss*), zamjena do 50 % ribljega brašna s brašnom od ličinaka crne vojničke muhe pokazala je zadovoljavajuće rezultate bez negativnog utjecaja na rast i zdravlje riba. Kod brojlera, zamjena 25 % ribljega brašna s brašnom od ličinaka crne vojničke muhe nije pokazala značajne razlike u razvoju i konverziji hrane u usporedbi s kontrolnom skupinom (Beljan, 2022.). Upotreba brašna od kukaca u hranidbi svinja je odobrena (Komisija EU 2021). Uredba Komisije EU 2021/1372 od 17. kolovoza 2021. o izmjeni Priloga IV. Uredbi EZ br. 999/2001 u pogledu uporabe prerađenih životinjskih bjelančevina u hrani za svinje i perad. Međutim, dostupni podatci o optimalnim udjelima su ograničeni Službeni list EU, L 295, 1–15.) Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se utvrdile preporučene razine zamjene tradicionalnih izvora bjelančevina brašnom kukaca u hranidbi svinja. Važno je napomenuti da optimalni udio brašna od kukaca u stočnoj hrani ovisi o više čimbenika, uključujući nutritivne potrebe životinja ovisno o proizvodnim uvjetima i fazi rasta životinja te ekonomsku isplativost.

Potrošnja stočne hrane za različite kategorije domaćih životinja (perad - brojler i ribe) temelji se na literaturnim podacima. Prema tim podacima standardni komercijalni brojleri, koji se uzgajaju za postizanje težine klanja od oko 2 do 2,5 kg u dobi od 35 do 42 dana, konzumiraju se između 3,5 do 5 kg hrane tijekom čitavoga razdoblja rasta (Gospodarski list, 2020.). Kalifornijska pastrva tijekom svojega intenzivnoga uzgoja konzumira 1,2 kg hrane

Tablica 2. Proizvodnja ličinaka, brašna od kukaca i organskoga gnojiva iz 353.888,00 tona biootpada
Table 2 The production of larvae, insect meal and organic fertilizer from 353,888,00 tons of biowaste

Parametar / Parameter	Količina (tona) / Quantity (tons)
Ukupni biootpad / Total biowaste	353.888,00
Proizvodnja ličinaka / Production of larvae	53.083,20
Proizvodnja insektnoga brašna / Production of insect meal	13.270,80
Organsko gnojivo / Organic fertilizer	106.166,40

Tablica 3. Broj životinja koji možemo hraniti brašnom od kukaca na godišnjoj razini
Table 3 The number of animals that can be fed by insect meal annually

Vrsta stoke životinja	Godišnja potrošnja hrane po životinji (kg) Annual feed consumption per animal (kg)	Maksimalan udio insektnoga brašna (%) Maximal insect-meal content (%)	Količina insektnoga brašna po životinji (kg) Insect-meal quantity per animal (kg)	Broj životinja koje možemo hraniti Number of feedable animals
Perad / Poultry	5	10	0,5	26.541.600
Ribe / Fish	1,2	20	0,24	55.295.000

do prosječne izlovne težine od 650 g (Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, 2024.). Ovi podaci su okvirni i mogu se razlikovati ovisno o specifičnom tipu proizvodnje, starosti životinja, i hranidbi. Za ribe, maksimalno 20 % brašna od kukaca može biti uključeno u stočnu hranu, (EFSA, 2020.; FAO, 2020.). Ako se u stočnoj hrani za kalifornijsku pastrvu koristi udio od 20 % brašna od kukaca, tada se tijekom cijelog uzgojnog ciklusa – uz pretpostavku prosječne potrošnje od 1,2 kg hrane po jednoj ribi – utroši približno 0,24 kg brašna od kukaca po jedinki (Beljan, 2022.). Iako propisi EU-a ne definiraju strogo propisane maksimalne udjele brašna od kukaca, prema dostupnoj znanstvenoj literaturi, uobičajena praksa za akvakulturu preporučuje zamjenu ribljeg brašna brašnom od kukaca u rasponu do 20 - 50 %, ovisno o nutritivnim potrebama i vrsti ribe (EFSA, 2020.; FAO, 2020.).

Potrošnja brašna od kukaca po ribi:

20 % od 1,2 kg stočne hrane = 0,24 kg
brašna kukaca po ribi godišnje

Broj riba hranjenih brašnom od kukaca:

13.270,800 kg brašna / 0,24 kg po ribi
= 55.295.000,00 riba

Trenutačna regulativa EU-a (Uredba Komisije EU 2017/893 te njezine dopune Uredbom EU 2021/1372) ne definira maksimalne dopuštene udjele brašna od kukaca u stočnoj hrani za perad, uključujući brojerske piliće. Međutim, zbog optimalne nutritivne uravnoteženosti i ekonomske isplativosti, dostupna znanstvena literatura i industrijska praksa preporučuju korištenje brašna od kukaca u rasponu od 5 do 10 % ukupne količine hrane (Marangoni i sur., 2022.; Beljan, 2022.)

Potrošnja brašna od kukaca po brojleru:

10 % od 5 kg stočne hrane = 0,5 kg
brašna od kukaca po brojleru godišnje

Broj brojlera koje možemo hraniti:

13.270,800 kg brašna od kukaca / 0,5 kg
po brojleru = 26.541.600,00 brojlera

Prema podatcima iz izvješća: ŽITARICE, ULJARICE I PRERAĐEVINE – Tržišni cjenovni informacijski sustav u poljoprivredi”, u siječnju 2025., cijena sojine sačme kretala se oko 500 €/t, a cijena ribljeg brašna na EU tržištu iznosila je oko 5.700 €/t.

Troškovi proizvodnje brašna od kukaca značajno variraju ovisno o korištenoj sirovini, načinu proizvodnje i opsegu proizvodnog kapaciteta. U slučaju kada je brašno od kukaca proizvedeno uz naplatu usluge zbrinjavanja biootpada, neto trošak proizvodnje može biti vrlo nizak, od 10 do 300 €/t (Frontier Economics. 2023.). Međutim, bez ovakvih dodatnih izvora prihoda ili subvencija, realistični troškovi proizvodnje u praksi često prelaze 1.000 €/t (Frontier Economics. 2023.). Prodajna cijena brašna od kukaca na tržištu trenutačno iznosi između 3.500 i 5.000 €/t, što potvrđuje visoku ekonomsku isplativost proizvodnje (AgTechNavigator, 2023.). Prodajna cijena brašna kukaca od 3.500 do 5.000 €/t opravdana je njegovom nutritivnom kvalitetom, visokom probavljivošću i sve većom potražnjom na tržištu EU-a, kao održive i ekološki prihvatljive alternative tradicionalnim bjelančevinskim izvorima poput ribljega brašna i sojine sačme. Osim ekonomske isplativosti, ovaj model predstavlja i održivo rješenje za zbrinjavanje biootpada na nacionalnoj razini. Korištenjem biootpada kao resursa za uzgoj kukaca, ne smanjuju se smo troškovi gospodarenja otpadom, već se ujedno stvara visokovrijedan bjelančevinasti proizvod koji može konkurirati postojećim bjelančevinastim krmivima u hranidbi životinja. Na taj se način zatvara prirodni ciklus organske tvari, čime se doprinosi ciljevima kružne ekonomije, te smanjenju ukupnoga utjecaja na okoliš.

Uspoređujući troškove stočne hrane, cijena sojine sačme za količinu od 13.125.800 kg iznosila bi 6.562.900 € (0,50 €/kg × 13.125.800 kg), dok bi ista količina bjelančevinastoga brašna od crne vojničke muhe koštala 2.034.499 € (0,155 €/kg × 13.125.800 kg). Time se postiže značajna ušteda od 4.528.401 €, što ukazuje na potencijalno visoku ekonomsku isplativost ove alternativne bjelančevinaste sirovine. To znači da bi prijelaz na brašno od crne vojničke muhe donio godišnju uštedu od dapače 4.528.400,00 €, odnosno 69 % u odnosu na troškove korištenja sojine sačme.

Ovi podaci jasno pokazuju da implementacija brašna od kukaca u hranidbu peradi i riba može značajno smanjiti troškove, dok istovremeno doprinosi održivom gospodarenju biootpadom i smanjenju ekološkog opterećenja.

ZAKLJUČAK

Hrvatska se suočava s izazovom velikih količina biootpada koji se još uvijek odlaže na odlagalištima, iako postoje zakonski okviri i dostupne tehnologije za održivo gospodarenje njime. Primjena inovativnoga pristupa uzgoja ličinaka crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*) predstavlja rješenje koje može značajno doprinijeti ekološkoj i gospodarskoj održivosti. Ova metoda nudi brz, ekonomski isplativ način obrade biootpada, što je osobito važno u kontekstu smanjenja emisije stakleničkih plinova i održivoga upravljanja resursima. Ekonomska analiza dostupnih podataka sugerira da, uz dostatne količine kvalitetno odvojeno prikupljenog biootpada, postoji potencijal za razvoj isplativih pogona za preradu biootpada putem uzgoja crne vojničke muhe. Financijska održivost takvih pogona može se temeljiti na kombinaciji prihoda od naknada za gospodarenje biootpadom i prodaje proizvoda od kukaca, osobito bjelančevinastoga brašna i frassa. Iako se u ovome radu detaljno ne obrađuju konkretni tehnički opisi pogona i operativni modeli, analizirani podaci o troškovima i tržišnim cijenama upućuju na pozitivan ekonomski potencijal ovoga pristupa. Za uspješnu primjenu ovakvoga modela u praksi, potrebno je unaprijediti sustav odvajanja otpada, razviti logističku i tehnološku infrastrukturu, prilagoditi regulatorni okvir te omogućiti financijske poticaje i potporu. Nadalje, provedba pilot-projekta i dodatna empirijska istraživanja ključni su koraci za procjenu stvarne isplativosti i skalabilnosti ovog rješenja u hrvatskom kontekstu.

Dobiveni rezultati upućuju na to da bi implementacija uzgoja crne vojničke muhe u sustav gospodarenja biootpadom mogla donijeti višestruke koristi, uključujući smanjenje količine otpada na odlagalištima, proizvodnju ekološki prihvatljivoga stočnog brašna, te smanjenje troškova hranidbe životinja. U usporedbi s konvencionalnim metodama zbrinjavanja otpada, ovaj pristup pokazuje se kao ekonomski isplativiji, što ga čini značajnim korakom prema održivoj budućnosti Hrvatske.

LITERATURA

1. AgTechNavigator (2023.): Insect protein production trend
2. Barragán-Fonesca K. B., van Loon J. J. A., Dicke M. (2018.): Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Society Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166: 761–770
3. Beljan A., (2022.): Upotreba insekata u hranidbi životinja. Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zagreb
4. Duvnjak M., Kljak K., Lončar M., Pleadin J., Gazić K., Rajnović I., Grbeša D. (2019.): Kukci u hranidbi životinja. *Veterinarska stanica*, 50 (5), 467-480
5. EFSA Journal (2020.): Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed
6. Europska Unija, Uredba komisije (EU) 2017/893 (2017.), Službeni list Europske Unije
7. Europske unije. (2021). Uredba Komisije (EU) 2021/1372 od 17. kolovoza 2021. o izmjeni Priloga IV. Uredbi (EZ) br. 999/2001 u pogledu uporabe prerađenih životinjskih bjelančevina u hrani za svinje i perad. Službeni list EU, L 295, 1–15.
8. FAO The State of World Fisheries and Aquaculture (2020).
9. Frontier economics, Delivering insect-based feed at scale (2023.)
10. Gross-Bošković A., (2024.): Utjecaj proteina ličinke crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*), u hranidbi pilića na kvalitetu pilećeg mesa Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb
11. Hervé M.K., Calice M.D., Dzepe D. et al., (2025.): Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae improve growth performance and flesh quality of African catfish (*Clarias gariepinus*) *Discover Animals* 2, 9
12. Horvat S., (2024.): Alternativni izvori proteina i masti u hranidbi peradi Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek
13. Hrvatski sabor, NN 84/2021, Zakon o gospodarenju otpadom

14. Kenchanna D., Waliczek T.M., Drewery M.L., (2024.): Evaluating black soldier fly (*Hermetia illucens*) frass and larval sheddings in the production of a quality compost. *Fermentation*, 10, 613
15. Lee J., Park Y., Song D., Chang S., Cho J., (2024.): Effects of defatted and hydrolyzed black soldier fly larvae meal as an alternative fish meal in weaning pigs. *Animals*, 14, 1692
16. Li X., Zhou Z., Zhang J., Zhou S., Xiong Q., (2022.): Conversion of Mixtures of Soybean Curd Residue and Kitchen Waste by Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.). *Insects*, 13, 23
17. Lozica L., Starčević K., Gavrilović A., Mašek T. (2022.): The influence of feeding media enriched with different oils on the fatty acid composition of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Veterinarski arhiv* 92 (3), 291-300
18. Mašek T., Lozica L., Gavrilović A., Starčević K. (2019.): Varijabilnost u sustavu masnih kiselina u uzgoju komercijalno značajnih vrsta insekata – crne vojničke muhe (*Hermetia illucens*) i jamajčanskog poljskog šturka (*Gryllus assimilis*). *Zbornik sažetaka Krmiva* 2019., Opatija, 26-26
19. Marangoni, (2022.): Insect meals in poultry nutrition: A review on nutritional composition, utilization, and economic and environmental impacts. *Animals*, 12(15), 1909.
20. Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, NN 142/2023, Tehnički propis o izmjenama Tehničkog propisa kojim se utvrđuju tehničke specifikacije za građevne proizvode u usklađenom području (2023.)
21. Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Izvješće o komunalnom otpadu za 2023. godinu (2024.), Zagreb
22. Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Elaborat uzgajalište bijele ribe (salmonida) (2024.), Dugi otok
23. Nguyen T. X., Vanlaerhoven S. L., Tomberlin J., (2015.): Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology* 44 (2), 406-410
24. Rehman K. ur., Hollah C., Wiesotzki K., Rehman R. ur., Rehman A. ur., Zhang J., Zheng L., Nienaber T., Heinz V., Aganovic K., (2023.): Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini review *Waste Management & Research* 41 (1), 81-97
25. Senčić Đ., Samac D., (2024.): Hranidba svinja u ekološkoj proizvodnji. *Krmiva* 66, Zagreb, 107-119
26. Seyedalmoosavi M. M., Mielenz M., Veldkamp T., Daş G., Metges C. C., (2022.): Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae compared to monogastric livestock species. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13-31
27. Shumo M., Osuga I. M., Khamis F. M., Tanga C. M., Fiaboe K. K. M., Subramanian S., Ekesi S., van Huis A., Borgemeister C., (2019.): The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya *Scientific Reports*, 9:10110
28. Tržišni cjenovni informacijski sustav u poljoprivredi, Žitarice, uljarice i prerađevine (2024.)
29. Vodounnou J. V., Iko R., Sintondji W., Tossavi E., Kpogue D., Micha J. C., (2024.): Rearing of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as a tool for managing agricultural byproducts *Discover. Agriculture* 2:91
30. Waithaka M. K., Osuga I. M., Kabuaga L. W., Subramanian S., Muriithi B., Wachira A. M., Tanga C. M., (2022.): Evaluating the growth and cost-benefit analysis of feeding improved indigenous chicken with diets containing black soldier fly larva meal *Front. Insect Science*, 2:933571

SUMMARY

In Croatia, 1,833,341 tons of municipal waste were recorded in 2023, of which 503,553 tons were biowaste. Although efforts have been made in recent years to establish an infrastructure for separate waste collection, only 149,665 tons of biowaste are still separated at the national level, which represents about 30% of the total available amount. The rest, approximately 70%, ends up in landfills, which creates environmental and economic problems such as greenhouse gas emissions, increases the costs of landfill remediation and results in the loss of valuable organic raw materials that could be used in the circular economy. The black soldier fly (*Hermetia illucens*) represents an innovative and sustainable solution for biowaste processing. Its larvae consume organic residues extremely quickly, converting them into biomass rich in proteins and fats. This process not only significantly reduces the amount of waste that ends up in landfills, but also creates high-value products. Protein meal obtained from larval processing can be used as a nutritionally rich ingredient in animal feed, partially replacing soy and fish meal, the production of which often has a negative environmental impact. In addition, the processing by-product (frass) can be used as a high-quality organic fertilizer, further contributing to the sustainability of this process. The paper presents current data on the state of biowaste in Croatia, as well as an analysis of the biological, technological and economic aspects of larval rearing. The potential for further development of this method, especially through local waste management units or centers, is also considered. Literature and research results confirm the effectiveness and cost-effectiveness of this practice, emphasizing its contribution to waste reduction and providing alternative sources of protein.

Key words: biowaste, black soldier fly, *Hermetia illucens*, sustainable waste management, alternative proteins, circular economy