

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA STAJSKOG GNOJA*

M. Imbriovčan, Nikolina Kelava Ugarković, I. Kos, I. Vnućec

Sažetak

Stajski gnoj predstavlja vrijedan sekundarni animalni proizvod s brojnim primjenama u poljoprivrednim i nepoljoprivrednim granama. Ovisno o sustavu držanja životinja, sprema se u obliku krutog stajskog gnoja, gnojovke i gnojnice uz dušik, fosfor i kalij kao glavne hranjive tvari. U radu su opisane mogućnosti praktične primjene i korištenja stajskog gnoja. Glavna primjena stajskog gnoja je za gnojidbu poljoprivrednih površina. Stajski se gnoj, u određenim dijelovima svijeta, koristi u proizvodnji bioplina, papira, kao krmivo, građevinski materijal i kao kruto gorivo. Većina navedenih mogućnosti primjene stajskog gnoja još nije dovoljno istražena niti komercijalizirana u svijetu. Iako evidentan pad broja stoke u Hrvatskoj i EU dovodi do smanjenja količine stajskog gnoja, sve veća zabrinutost oko klimatskih promjena mijenja percepciju gnoja, koji se sve više smatra održivim i ekološkim materijalom.

Ključne riječi: stajski gnoj, primjena, gnojivo, bioplin

Uvod

Udomaćivanjem životinja i razvojem poljoprivrednih djelatnosti čovjek mijenja način života iz nomadskog u sjedilački. Time dolazi do formiranja prvih stalnih naselja u kojima stoka ima veliki značaj, osobito kao izvor prehrambenih i neprehrambenih sirovina. Isprva goveda, a kasnije konji, korištena su u radu pri obradi tla, a pritom su u polju ostavljala feces. Uočavanjem većih i kvalitetnijih prinosa na pognojnim mjestima u polju, čovjek počinje uvidati prvu od mnogih koristi i samu važnost stajskog gnoja.

Postupno je čovjek usavršavao gnojidbu te pritom stajski gnoj obogaćivao raznim tvarima poput ljuštura školjki, slame i pepela, kako bi udio deficitarnih hranjivih tvari važnih za rast i razvoj ratarskih kultura bio povećan. Iako je stajski gnoj prvotno služio samo kao gnojivo, ovisno o podneblju i kulturi, razvijena je široka paleta mogućnosti korištenja stajskog gnoja. Količina stajskog gnoja ponajviše ovisi o broju životinja na farmi pa ga u počecima intenzivnije zemljoradnje nije bilo u dovoljnim količinama za sve potrebe, prvenstveno kao gnojiva. Prekretnica u korištenju stajskog gnoja dogodila se početkom 20. stoljeća otkrićem Haber-Bosch postupka proizvodnje sintetskog amonijaka (NH_3), vrlo važnog u proizvodnji umjetnih gnojiva. Umjetna gnojiva su postala široko dostupna, a njihova dostatna proizvodnja u razvijenim dijelovima svijeta postupno je istisnula stajski gnoj.

*Rad je izvod iz završnog rada Matije Imbriovčana, univ. bacc. ing. agr., pod nazivom „Stajski gnoj – sekundarni animalni proizvod“

Matija Imbriovčan, univ. bacc. ing. agr., izv. prof. dr. sc. Nikolina Kelava Ugarković, e-mail: nkelava@agr.hr, orcid.org/0000-0002-9520-8933, prof. dr. sc. Ivica Kos, e-mail: ikos@agr.hr, orcid.org/0000-0002-2126-2566, izv. prof. dr. sc. Ivan Vnućec, dopisni autor: ivnuce@agr.hr, orcid.org/0000-0002-5190-3045, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb.

Stajski gnoj nastaje i sprema se u obliku krutog stajskog gnoja, gnojovke i gnojnice, odnosno oblik deponiranja stajskog gnoja određen je samim sustavom proizvodnje. Iako do prije 20 godina smatran manje vrijednim te percipiran isključivo kao otpad, a obzirom na neizbježne klimatske promjene, stajski gnoj ponovo postaje interesantan zbog široke primjene u brojnim poljoprivrednim i nepoljoprivrednim granama. Jedan od najznačajnijih problema u područjima intenzivne ratarske proizvodnje je izrazito nizak udio organske tvari u tlu, što negativno utječe na njegovu plodnost i proizvodnost. Primjenom stajskog gnoja, tlo se obogaćuje organskom tvari, čime se poboljšavaju njegova struktura i plodnost (Rayne i Aula 2020.). Neizbježnim porastom svjetskog stanovništva u prvi plan dolazi proizvodnja većih količina hrane, koja se s druge strane, usred klimatskih promjena, dezertifikacije i prirodnih nepogoda u određenim dijelovima svijeta kontinuirano smanjuje.

Stajski gnoj je u svijetu još uvijek nedovoljno prepoznat kao proizvod s potencijalom za mnogobrojne primjene u različite svrhe. Stoga je cilj ovog rada navesti načine primjene i opisati mogućnosti korištenja stajskog gnoja u raznim poljoprivrednim i nepoljoprivrednim djelatnostima.

Načini primjene stajskog gnoja

Gnojidba poljoprivrednih površina

Stajski gnoj kao gnojivo na poljoprivrednim površinama najstariji je i najrašireniji način primjene stajskog gnoja. Uočavanjem njegova pozitivnog utjecaja na prinose zasijanih kultura, čovjek počinje primjenjivati gnoj u sve većim količinama na brojnim poljoprivrednim kulturama. Međutim, uslijed masovne proizvodnje i dostupnosti umjetnih gnojiva, u razvijenijim državama stajski gnoj biva postupno odbacivan. Primjene prevelikih količina umjetnih gnojiva dovele su do značajnije degradacije plodnosti i kvalitete tla u zapadnoj Europi, osobito Nizozemskoj (Reijneveld 2013.). Unatrag nekoliko zadnjih desetljeća prepoznata je važnost stajskog gnoja kao održivog i prirodnog gnojiva koji u propisanim količinama ne šteti okolišu. Brojnim pravilnicima regulirano je pravilno skladištenje i primjena, a EU brojim mjerama potiče korištenje stajskog gnoja. Pravilnikom o uvjetovanosti (NN 26/2023.), definirano je zbrinjavanje viškova stajskog gnoja na način da gospodarstvo gnoji površine drugog vlasnika, prerađuje stajski gnoj u bioplin, kompost ili supstrat.

Kruti stajski gnoj najprihvatljivija je vrsta stajskog gnoja za primjenu u tlu. Važno je primijeniti zreli kruti stajski gnoj, no moguća je primjena svježeg, izravno iz staje. Gnojidba svježim krutim stajskim gnojem se u pravilu ne provodi zbog brojnih organizacijsko-tehničkih poteškoća te nepostojanja slobodnih površina. Upravo su slobodne površine glavni kamen spoticanja pri pridržavanju pravila o primjeni stajskog gnoja. Stočari najčešće nemaju dostatne površine obradivog zemljišta pa često suviše pognoje one raspoložive, ili pak nisu u mogućnosti zbrinuti stajski gnoj na neki drugi, preporučeni način. Prema istraživanju provedenom na Cipru, 70 % ispitanika sprema kruti stajski gnoj, 88 % ispitanika primjenjuje ga kao gnojivo dok je trajanje skladištenja kod 67 % ispitanika iznosilo više od tri mjeseca (Christophe i sur. 2023.).

Osnovni način primjene krutog stajskog gnoja jest njegovo zaoravanje u tlo. Prema dubini oranja određuju se količine potrebnog krutog stajskog gnoja, od 10 pa sve do 40 t/ha. Međutim, Nitratnom direktivom (91/676/EEZ) utvrđena je maksimalna količina gnoja tako da ukupna količina dušika ne prelazi 170 kg/ha (Tablica 1.). Primjena stajskog gnoja danas je u potpunosti mehanizirana. Vremenski uvjeti važni su prilikom razbacivanja stajskog gnoja. Suho, toplo i vjetrovito vrijeme pogoduje većem isparavanju vode i volatizaciji amonijaka (i do 30 %) dok oblačno, vlažno i hladno vrijeme uvjetuje značajno manje gubitke (Butorac, 1999.). Proljeće i jesen najoptimalnije je vrijeme za primjenu krutog stajskog gnoja.

Tablica 1. Najveća dozvoljena količina stajskog gnoja i hranjiva po hektaru
Table 1 Maximum amount of manure and nutrients per hectare

Vrsta stajskog gnoja Manure type	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Granične vrijednosti dušika Limit values of nitrogen (kg N/ha)	Maksimalna količina stajskog gnoja Maximum amount of manure (t)	Sadržana količina hranjiva Contained amount of nutrients (kg)		
						N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Goveđi / Cattle	0,5	0,3	0,5	170	34	170	102	170
Konjski / Horse	0,6	0,3	0,6	170	28	170	85	170
Ovčji / Sheep	0,8	0,5	0,8	170	21	170	106	170
Svinjski / Pig	0,6	0,5	0,4	170	28	170	142	113
Kokošji / Hen	1,5	1,3	0,5	170	11	170	147	57
Brojlerski / Broiler	3,0	3,0	2,0	170	5,5	170	170	110
Goveđa gnojovka Cattle slurry	0,4	0,2	0,5	170	42 m ³ /ha	175	85	210
Svinjska gnojovka Pig slurry	0,5	0,4	0,3	170	34 m ³ /ha	170	136	102

Izvor/Source: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_06_73_1374.html

Glavna biljna hranjiva sadržana u krutom stajskom gnoju su u organski vezanom obliku. Za razliku od umjetnih gnojiva, hranjiva krutog stajskog gnoja sporije se otpuštaju pa imaju dugotrajniji učinak. Međutim, biljna se hranjiva slabije iskorištavaju i to u rasponu od 25 do 70 %. Vrsta tla utječe na trajanje djelovanja krutog stajskog gnoja. Na ilovastim tlima djelovanje iznosi oko tri godine, na teškim glinastim četiri do pet, a na pjeskovitim svega dvije godine. U pjeskovitim tlima, uslijed brže razgradnje i nemogućnosti vezanja hranjiva, izraženiji su gubici nastali ispiranjem tla (Butorac, 1999.). S druge pak strane, kruti je stajski gnoj najprikladniji za teška, sabijena glinasta tla jer rahli tlo te povećava kapacitet vezanja vode (Rayne i Aula, 2020.). Također, kruti stajski gnoj utječe na povećanje mikroflora tla.

Usljed konstantnog smanjenja sadržaja trajnog humusa u tlu, kruti stajski gnoj smatra se sredstvom za njegovo povećanje. No, iako udio humusa iznosi 35 % suhe tvari stajskog gnoja, ipak ima slabu sposobnost obogaćivanja tla trajnim humusom. Humusna je vrijednost krutog stajskog gnoja vrlo niska pa je gnojidbom gotovo nemoguće značajno povećati sadržaj trajnog humusa u tlu (Butorac, 1999.).

Prednosti korištenja krutog stajskog gnoja su inaktiviranje sjemenja korova uslijed zrenja pa nema njihova daljnjeg širenja, sadrži brojne mikroelemente koji nisu prisutni u umjetnim gnojivima te popravlja fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla. Mane korištenja krutog stajskog gnoja su nužnost brzog unošenja u tlo, mogući gubici prilikom skladištenja te troškovi manipulacije i prijevoza.

Za gnojidbu tla koriste se i gnojovka te gnojnica. Na gospodarstvima gnojnica često služi kao sredstvo razrjeđivanja gnojovke te tako štedi troškove vode. Za primjenu gnojovke vrijede posebna pravila te je stoga njezina primjena zabranjena Pravilnikom (NN 73/2021) u razdoblju od 15. prosinca do 15. ožujka te od 1. svibnja do 1. rujna na svim poljoprivrednim površinama. Međutim, ukoliko je ista direktno inkorporirana u tlo u potonjem se periodu može primjenjivati. Većina poljoprivrednika preferira površinsku primjenu gnojovke zbog brzine i niskih troškova. S druge strane, inkorporacija izravno u tlo isključuje moguće gubitke amonijaka, ali zahtijeva ulaganje značajnijih sredstava u cisterne i inkorporatore (Maguire i sur., 2011.). Moguća je inkorporacija i usitnjenog gnoja peradi. Inkorporatori rade na principu diskova/motika s cijevima pri čemu motike/diskovi ostavljaju usjeklinu u koju se putem cijevi odlaže gnojovka. Ukoliko se gnojovka dovoljno ne izmiješa, dolazi do začepjenja cijevi.

U gnojovki se, kao i kod stajskog gnoja, biljna hranjiva sporo otpuštaju. Glavni problem gnojovke javlja se uslijed nepravilne primjene pa dolazi do ispiranja nitrata i volatizacije dušika. Po primjeni gnojovke dolazi do ubrzanog gubljenja plinovite kisele komponente i porasta pH (8 – 8,5). Što je veći pH to je izraženija volatizacija dušika pa je glavni cilj što ranija obrada tla kako bi se daljnji gubici spriječili (Butorac, 1999.). Povećanje pH poželjno je na kiselim tlima, međutim, traje kratkotrajno (Whalen i sur., 2000.). Biljna hranjiva gnojovke gotovo su u potpunosti očuvana i iskoristiva dok je polovina dušika odmah pristupačna, a druga polovina organski vezana.

Najpovoljnija količina gnojovke iznosi 20 – 25 m³/ha, a maksimalne količine određuju se ovisno o tome radi li se o goveđoj ili svinjskoj (Butorac, 1999.). Problem gnojovke je prevelika količina kalija, a premalo fosfora. Kalij djeluje antagonistički na kalcij te dolazi do njegova ispiranja iz tla, što rezultira acidifikacijom tla. Ukoliko gospodarstvo redovito primjenjuje gnojovku nužno je provođenje kalcizacije tla svakih pet godina. Gnojovkom se često širi sjeme neželjenih korova, poput maslačka (*Taraxacum officinale*), divlje mrkve (*Daucus carota*) i štavelja (*Rumex crispus*).

Nužno je skladištenje gnojovke dulje od 60 dana kako bi se broj mogućih uzročnika bolesti smanjio. Razdoblje od primjene gnojovke na pašnjacima do početka napasivanja mora biti dulje od 30 dana kako bi se mogući uzročnici bolesti (bakterije roda *Clostridium*), koji gnojovkom dospijevaju u krmu i tlo, izbjegli. Također, smrad gnojovke često izaziva negodovanje pučanstva pa korištenje inkorporatora predstavlja izuzetno prihvatljivu metodu smanjenja smrada i gubitaka hranjiva, ali uz veće novčane troškove.

Proizvodnja bioplina

Stalan rast svjetske stočarske proizvodnje uvjetuje i rastući trend proizvodnje stajskog gnoja, kojeg često nije moguće koristiti kao gnojivo na poljoprivrednim površinama. Uslijed ograničenosti i manjka skladišnih kapaciteta, nepovoljnih vremenskih uvjeta te premalo obradivih površina za primjenu gnoja, proizvođači traže nove mogućnosti i okreću se jednostavnim i ekonomski isplativim rješenjima korištenja stajskog gnoja. Kao rezultat takvih razmišljanja, proučavanja i usavršavanja nastao je sistem proizvodnje bioplina iz stajskog gnoja.

Iako proizvodnja i korištenje bioplina ima sve veći značaj uslijed klimatskih promjena i politike smanjenja korištenja fosilnih goriva, poznata je već više od 3000 godina. Korištenje bioplina, najčešće kao goriva za grijanje, javlja se oko 900. g. prije Krista na Bliskom istoku. Belgijski znanstvenik Jan Baptist van Helmont 1630. g. objavio je prve spoznaje o bioplinu, kao jednom od produkata razgradnje organske tvari. Prvo bioplinsko postrojenje pušteno je u pogon 1859. g. u Bombaju. Proizvodnja i korištenje bioplina u 20. st. rasli su uslijed oskudice energenata nakon svjetskih ratova te ponovo tijekom naftne krize 70.-ih. Eskalacijom rata u Ukrajini, zbog ovisnosti Europe o ruskim fosilnim gorivima, bioplin ponovno postaje interesantan kao jedan od obnovljivih izvora energije kojima EU teži. Sukladno odredbama direktive 2018/2001 Europskog parlamenta o promicanju upotrebe obnovljivih izvora energije, predviđeno je da članice EU ostvare udio od minimalno 32 % obnovljive energije u ukupnoj potrošnji energije do 2030. g., a najnovija istraživanja Europskog udruženja za bioplin procjenjuju porast proizvodnje bioplina u Europi za 20 % u 2022. u odnosu na 2021. g.

Prema direktivi 2018/2001 EP bioplin označava sva plinovita goriva dobivena iz biomase, odnosno biorazgradivog materijala biljnog i životinjskog podrijetla iz poljoprivrede, šumarstva, ribarstva i akvakulture. Najčešće korišten supstrat, biomasa u proizvodnji bioplina je stajski gnoj, otpad iz poljoprivrede, klaonički otpad te otpadni drvni materijal uz mogućnost korištenja otpada iz ostalih prehrambenih i prerađivačkih industrija (Novak Mavar i sur., 2023.). Iako se procesi poput spaljivanja, rasplinjavanja i pirolize primjenjuju s ciljem sprečavanja negativnog utjecaja stajskog gnoja na okoliš, anaerobna digestija stajskog gnoja predstavlja učinkovitiji proces uz dobivanje bioplina i digestata (Kelava Ugarković i sur., 2022.).

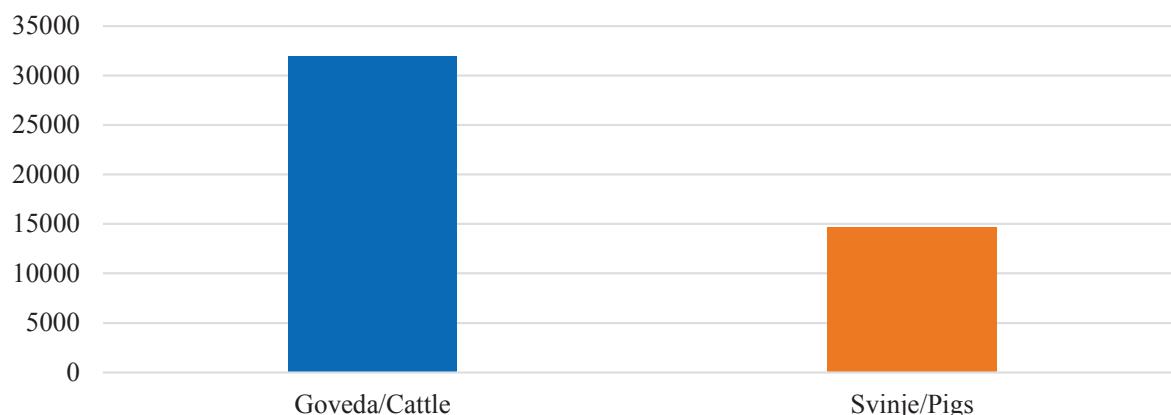
Anaerobna digestija predstavlja biokemijski proces razlaganja složenih organskih spojeva na jednostavnije djelovanjem bakterija u anaerobnom okruženju. Stajski je gnoj, kao supstrat za proizvodnju bioplina pogodniji jer prirodno sadrži anaerobne bakterije, ima visok sadržaj vode pa lako otapa druge tvari i omogućuje njihovo miješanje te predstavlja jeftinu i lako dostupnu sirovinu (Kelava Ugarković i sur., 2022.). Kako bi proizvodnja bioplina bila učinkovitija, većinom se provodi kodigestija, odnosno proizvodnja bioplina korištenjem dva ili više supstrata. Ofon i sur. (2024.) navode povećanje proizvodnje bioplina pri kodigestiji svinjskog stajskog gnoja i otpada iz trgovina brze hrane. Anaerobna digestija provodi se pri različitim vremenskim i temperaturnim vrijednostima, a to su psihrofilna (< 25 °C), mezofilna (25 – 45 °C) i termofilna (45 – 70 °C) digestija. Termofilne se temperature anaerobne digestije najčešće koriste radi izraženijeg rasta metanogenih bakterija, kraćeg trajanja digestije (15 – 20 dana), intenzivnije razgradnje i iskoristivosti hranjivih tvari te poboljšanog odvajanja tekuće i krute frakcije supstrata. S druge pak strane, korištenje termofilnih temperatura uvjetuje veću potrošnju energije radi postizanja viših temperatura digestora, veći je stupanj neravnoteže te postoji veći rizik inhibicije aerobne digestije amonijakom (Kelava Ugarković i sur., 2022.).

Samo bioplinsko postrojenje sastoji se od digestora za proizvodnju plina te agregata za proizvodnju električne energije. Prije ulaska u digestor supstrat se melje na veličinu čestica 5 – 10 mm i miješa s ciljem postizanja veće dodirne površine s bakterijama, a kao rezultat javlja se brža kemijska reakcija (Novak Mavar i sur., 2023.). Potom se komponente supstrata, odnosno stajskog gnoja razlažu u fazama hidrolize, acidogeneze, acetogeneze i metanogeneze. U prvoj fazi digestije ili hidrolizi, složene se organske molekule kao što su masti, proteini i ugljikohidrati razlažu na jednostavnije spojeve: masne kiseline, aminokiseline i šećere (Novak Mavar i sur., 2023.). U fazi acidogeneze, acidogene bakterije stvaraju metanogene spojeve, odnosno alkohole, ugljikov dioksid (CO_2), vodik (H_2) i amonijak. Faze acetogeneze i metanogeneze odvijaju se paralelno. Produkt acetogeneze je ugljikov dioksid, vodik i octena kiselina (CH_3COOH), dok je produkt metanogeneze metan (CH_4) (Novak Mavar i sur., 2023.). Kelava Ugarković i sur. (2022.) navode da bioplin sadrži 55 – 80% metana, 20 – 40 % ugljikovog dioksida te ostale plinove u tragovima, odnosno u bioplinu omjer metana i ugljikovog dioksida iznosi 2 : 1. Uz glavni produkt digestije, nastaje i digestat, vrlo poželjno organsko gnojivo sa smanjenim udjelom hlapljivog dušika.

Iako je stajski gnoj kao supstrat za proizvodnju bioplina percipiran kao vrlo produktivan u smislu količine proizvedenog metana, Kelava Ugarković i sur. (2022.) navode kako je količina metana po toni suhe tvari stajskog gnoja 200 – 250 m^3 što predstavlja polovinu količine metana dobivenog korištenjem biljnih sirovina. Razlog tome je sam proces probave u preživača uslijed kojeg dolazi do oslobađanja dijela metana, a ostatak ostaje sadržan u gnoju. Također, u stajskom je gnoju sadržana veća količina teže probavljivih komponenti, prvenstveno lignina.

Na proces anaerobne digestije utječu brojni čimbenici koji svojim djelovanjem utječu na proizvedenu količinu i kvalitetu bioplina. Brdarić i sur. (2009.) navode brojne fizikalne, kemijske i biološko-tehnološke čimbenike s izravnim utjecajem na digestiju. Najvažniji čimbenici učinkovitosti digestije su sadržaj vode u gnoju, moguće inhibirajuće tvari, količina gnoja te odnos ugljik : dušik. Nadalje, razlike u sastavu i svojstvima stajskog gnoja pojedinih domaćih životinja bitno utječu na anaerobnu digestiju. Svinjskoj je gnojovki svojstven veći udio vode u suhoj tvari što otežava održavanje optimalne temperature te joj je nužan dodatni supstrat za ostvarivanje većih prinosa metana. S druge pak strane, gnoj peradi zbog manjeg udjela vode u suhoj tvari ima veći sadržaj dušika te se njime lakše manipulira. Problem gnoja peradi nalazi se u prisutnosti stranih materijala, prvenstveno kamenčića i pijeska, koji mogu mehanički oštetiti digestor te uvjetuju nastanku taloga na dnu digestora uz smanjenje dostupnog volumena (Kelava Ugarković i sur., 2022.).

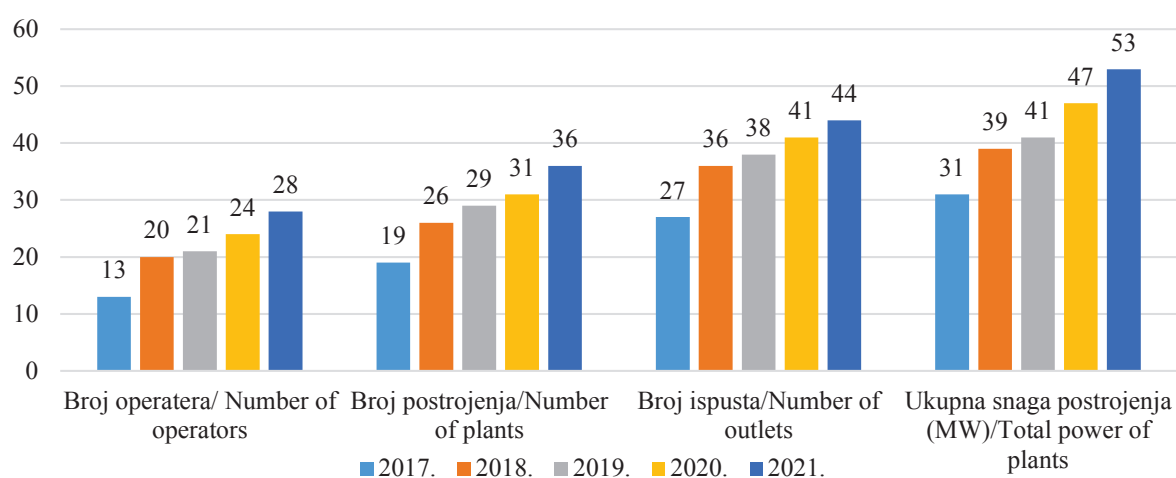
Općenito su goveđi kruti stajski gnoj i gnojovka najzastupljeniji u proizvodnji bioplina zbog povoljnog udjela dušika te lakog prevođenja u metan. Brdarić i sur. (2009.) u istraživanju navode da je proizvodnja bioplina po uvjetnom grlu goveda dvostruko veća u odnosu na uvjetno grlo svinje (Grafikon 1.). Ukoliko se stajski gnoj podvrgava kodigestiji s drugim vrstama stajskog gnoja ili drugim biljnim materijalima ostvaruje se veća količina proizvedenog metana, a samim time i bioplina. Miješanjem krutog goveđeg gnoja i svinjske gnojovke u omjeru 60 : 40 ostvaruje se povećanje proizvedenog metana u iznosu od 10 % (Gupta i sur., 2016.).



Grafikon 1. Količina bioplina (ml) po uvjetnom grlu u razdoblju od 40 dana
Chart 1 Amount of biogas (ml) per conditional head over a period of 40 days

Izvor: Brdarić i sur. (2009)

Bioplin se, osim za proizvodnju toplinske i električne energije, može upotrebljavati kao biogorivo ili kao supstitut za zemni plin, ali obavezno mora biti pročišćen na udio metana od 98 % (Brdarić i sur., 2009.). Sama isplativost izgradnje bioplinskih postrojenja uvelike ovisi o dostupnosti supstrata, stoga se u Hrvatskoj najviše postrojenja nalazi u Slavoniji, prvenstveno zbog postojanja većeg broja velikih farmi koje generiraju veće količine stajskog gnoja te ujedno raspoloživost većeg broja poljoprivrednih površina za primjenu digestata. Iako danas prevladavaju bioplinska postrojenja instalirane snage 1 MW, stručnjaci sugeriraju veći broj manjih, mikroplinskih postrojenja na farmama s kapacitetom 10 – 50 kW (Novak Mavar i sur., 2023.). Prema Izvješću o bioplinskim postrojenjima iz baze podataka Registra onečišćavanja okoliša Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2021. g. navodi se 41 bioplinsko postrojenje ukupne snage 53,03 MW.



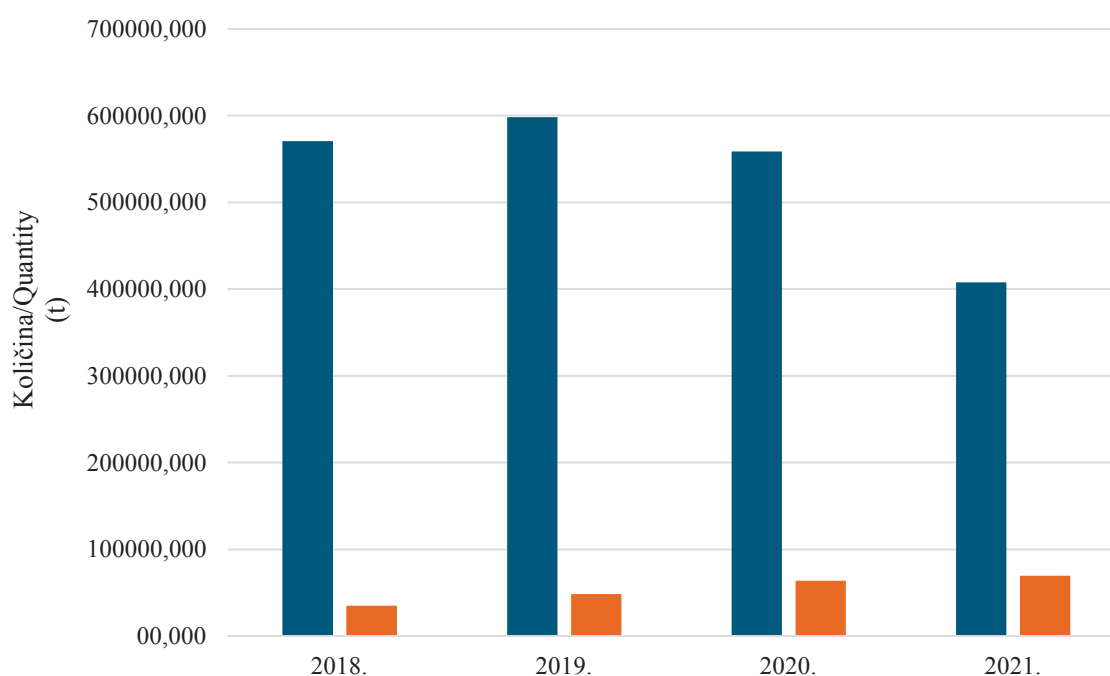
Grafikon 2. Statistički prikaz bioplinskih postrojenja za razdoblje 2017. – 2021.

Chart 2 Statistical overview of biogas plants for the period 2017 – 2021

Izvor: Izvješće o bioplinskim postrojenjima iz baze podataka Registra onečišćavanja okoliša Republike Hrvatske (ROO) za razdoblje 2017. - 2021. godine.

Source: Report on biogas plants from the database of the Environmental Pollution Register of the Republic of Croatia (ROO) for the period 2017 - 2021.

Stajski gnoj poželjan je supstrat za proizvodnju bioplina zbog relativno lake dostupnosti, niske nabavne cijene, visokog sadržaja vode i prirodno prisutnih anaerobnih bakterija. Iako trendovi proizvodnje bioplina značajno rastu (Grafikon 2.), opadanjem stočarske proizvodnje u Hrvatskoj, smanjivat će se i količina stajskog gnoja kao supstrata za proizvodnju bioplina (Grafikon 3.). Stoga je za očekivati da će ratarske energetske kulture, prvenstveno kukuruz, biti okosnica proizvodnje bioplina.



Grafikon 3. Količine nusproizvoda životinjskog podrijetla i bio-otpada u proizvodnji bioplina
Chart 3 Quantities of animal by-products and bio-waste in biogas production

Izvor: Izvješće o bioplinskim postrojenjima iz baze podataka Registra onečišćavanja okoliša Republike Hrvatske (ROO) za razdoblje 2017. - 2021. godine

Source: Report on biogas plants from the database of the Environmental Pollution Register of the Republic of Croatia (ROO) for the period 2017 - 2021.

Krmivo u akvakulturi i govedarstvu

Korištenje gnoja peradi kao krmiva u akvakulturi pojavilo se u Kini u 5. st. pr. Kr. (Usman i sur., 2019.). Najjednostavniji način primjene, pri kojem su kavezi s peradi postavljeni iznad uzgajališta riba te gnoj direktno pada u vodu, zadržao se na mnogim otocima i vodnim naseljima indonezijskog otočja. Danas stajski gnoj, kao krmivo u akvakulturi, postaje sve važniji, prvenstveno jer takvim načinom korištenja nema gubitaka velikih količina hranjiva, koji se, s druge strane, javljaju prilikom skladištenja i odlaganja stajskog gnoja.

U akvakulturi se najviše koristi gnoj peradi, kao hrana ribama ili fitoplanktonu, i predmet je brojnih istraživanja prvenstveno zbog udjela proteina od oko 20 % u suhoj tvari te kalcija oko 5,4 % (Usman i sur., 2019.). Neobrađeni ili svježi gnoj predstavlja mogući izvor neželjenih, patogenih mikroorganizama u vodi te u ribama (Tablica 2.). Stoga je važna pravilna obrada gnoja bilo sušenjem, peletiranjem, fermentiranjem ili ekstrakcijom prije korištenja kako bi se neželjeni mikroorganizmi sveli na najmanji mogući broj.

Tablica 2. Mikrobiološka kvaliteta riblje hrane, gnoja peradi i obrađenog gnoja peradi
 Table 2 Microbiological quality of fish feed, poultry manure and processed poultry manure

Bakteriološka analiza Bacteriological analysis	Riblja hrana Fish feed	Gnoj peradi Poultry manure	Obradeni gnoj peradi Processed poultry manure
Ukupni broj bakterija Total bacteria number (log ₁₀ CFU/g)	4,08 ± 0,24	8,59 ± 1,2	6,50 ± 0,76
Broj koliformnih bakterija Number of coliforms (log ₁₀ CFU/g)	0,98 ± 0,11	3,39 ± 0,02	1,4 ± 0,09

Izvor/Source: Elsaidy i sur. (2015)

Iako nutritivni sastav gnoja peradi zadovoljava potrebe riba, prema Usmanu i sur. (2019) preporuča se njegova primjena kao dopunske hrane s ciljem većih dnevnih prirasta. Utvrđeno je da zamjena 50 % količine soje suhim gnojem peradi, nema utjecaja na visinu dnevnih prirasta (Samal, 2023.). Gledano sa stajališta ekonomske i ekološke isplativosti, gnoj peradi predstavlja dobru alternativu klasičnoj ribljoj hrani, ali nedostaci poput potrebne obrade prije korištenja, varijabilnosti hranjiva te mogućih patogena moraju se svakako uzeti u obzir (Samal, 2023.).

U hranidbi riba upotrebljava se i zreli svinjski gnoj s udjelom proteina oko 25 % pri prosječnoj suhoj tvari od 96 %. Zreli svinjski gnoj miješa se s ribljom hranom u količinama do 15 % nakon čega slijedi peletiranje. Obzirom na dnevni prirast riba i konverziju hrane, nisu uočene značajnije razlike između hranidbe klasičnom hranom i hranom s dodatkom zrelog svinjskog gnoja (Tongmeel i sur., 2020.). Ukoliko postoji količinski dostupan i jeftin izvor svinjskog gnoja u blizini ribogojilišta, isto može poslužiti kao zamjena za određeni dio klasične riblje hrane.

Iako se hranidba goveda, preživača, temelji na voluminoznoj krmi uz dodatak koncentrata, postoji mogućnost hranidbe goveda stajskim gnojem peradi, kao zamjenom za određeni dio obroka. Gnoj peradi, zbog sadržaja proteina u suhoj tvari, predstavlja idealnu alternativu proteinskom dijelu obroka preživača kojeg može zamijeniti u količini do 50 % (Daniel i Olson, 2005.). Pojavom bolesti kravljeg ludila (BSE) krajem 20. st., dolazi do znatnog smanjenja korištenja gnoja peradi kao krmiva za preživače zbog mogućeg prijenosa uzročnika bolesti putem gnoja. Provedenim istraživanjem u SAD-u takvi su navodi demantirani te je stajski gnoj dopušteno koristiti kao krmivo, ali samo u SAD-u. Stajski gnoj peradi potrebno je spremati zajedno s kukuruznom silažom u silos kako bi se uslijed fermentacije i pada pH vrijednosti ispod 4,5 stvorili nepoželjni uvjeti za moguće patogene prisutne u gnoju (Dobbins, 1975.). Postoji mogućnost tretiranja gnoja propionskom kiselinom te termičkom obradom na 140 °C. Stajski gnoj peradi siromašan je vitaminom A, dok je s druge strane bogat kalcijem (Ca) i bakrom te kao takav nosi određene rizike koje treba uzeti u obzir. No, pravilna obrada prije korištenja i skladištenje gnoja osiguravaju jeftinu i visokokvalitetnu proteinsku komponentu obroka goveda (Daniel i Olson, 2005.).

Kruto gorivo

Ograničenost neobnovljivih, fosilnih izvora energije uz borbu s klimatskim promjenama prisiljava svijet na pronalaženje novih i isplativih energetske resursa. Sukladno tome, kako bi zaštitili okoliš i održivo gospodarili otpadom, znanstvenici diljem svijeta istražuju mogućnosti upotrebe stajskog gnoja kao krutog goriva (Szymajda i sur., 2021.). Potencijal animalnog otpada, kao energetske izvora, iskoristiv je u kompostiranju, proizvodnji bioplina i krutog goriva, uz odabir potonjeg kao energetske najefikasnijeg procesa iskorištenja stajskog gnoja (Maj, 2022.).

Stajski se gnoj kao kruto gorivo upotrebljavao još u Perziji i u drevnom Egiptu. Danas se najčešće koristi u aridnim i ruralnim područjima Afrike i Azije, pri čemu se svježi gnoj sakuplja i ručno oblikuje u razne oblike, okrugle, spljoštene i pravokutne, te se potom suši na suncu. Po sušenju stavlja se na hrpu, poput plastu sijena, i koristi za potpalu.

U današnje vrijeme, provode se istraživanja prihvatljivosti peletiranog stajskog gnoja kao alternative drvenim peletima, briketima i ugljenu. Sam proces peletiranja podrazumijeva tlačenje materijala, u ovom slučaju stajskog gnoja, kroz matricu u kompaktnu i čvrstu formu. Trenutne spoznaje o peletiranju stajskog gnoja utvrđuju najbolju sposobnost održavanja oblika po tlačenju pri sadržaju suhe tvari od 88 % (Szymajda i sur., 2021.). S druge pak strane, ukoliko je udio suhe tvari gnoja manji, odnosno veća je vlažnost, peleti ne mogu održati oblik te se počinju raspadati. Utvrđeno je da peletirani stajski gnoj, zbog snažnih međumolekularnih veza, ima svojstvo veće otpornosti na trenje koje uvjetuje manjim gubicima prilikom transporta (Szymajda i sur., 2021.).

Količina ugljika važna je stavka u određivanju količine oslobođene energije iz peletiranog stajskog gnoja koja se najčešće koristi u toplanama i geoelektranama. Sadržaj ugljika u suhoj tvari peletiranog stajskog gnoja iznosi 40 – 45 %, dok u drvnjoj masi iznosi 49 – 52 % (Szymajda i sur., 2021.). Iako gnoj peradi ima nešto manji sadržaj ugljika u suhoj tvari, manje je energije potrebno za njegovo dosušivanje te postoji mogućnost, trenutno još uvijek u istraživanju, direktnog korištenja u toplanama zbog prirodno manjeg udjela vode (Maj, 2022.).

Po sagorijevanju peleta, pri temperaturama 1110 – 1230 °C, ostaje pepeo bogat kalcijem, fosforom i kalijem, a njihov udio ovisi o vrsti i starosti životinja od kojih gnoj potječe, konzumiranoj hrani te količini sagorenog gnoja. Pepeo, zbog količine mineralnih komponenti, predstavlja prihvatljivo, nekontaminirano gnojivo za tlo uz izraženije vezanje mineralnih komponenti u tlu (Maj, 2022.). S druge pak strane, velike količine kalija i kalcija povećavaju vjerojatnost reagiranja s drugim komponentama te potiču koroziju metalnih dijelova peći prilikom gorenja. Sagorijevanjem peletiranog stajskog gnoja nastaju i plinovi, prikazanih u Tablici 3., od kojih ugljikov monoksid (CO) i dušikov monoksid (NO) premašuju dozvoljene količine. Prilikom gorenja nastaje i klorovodik (HCl) koji zajedno s prethodno navedenim plinovima djeluje korozivno i doprinosi pojavi kiselih kiša.

Tablica 3. Plinovi nastali gorenjem peletiranog stajskog gnoja i drvenih peleta
 Table 3 Gases produced by burning pelleted manure and wood pellets

Plin Gas	Peletirani stajski gnoj Pelleted manure	Drveni peleti Wood pellet	Dozvoljene koncentracije plinova Allowed gas concentration
CO ₂ , %	7,36	7,27	-
CO, mg/nm ³	854,77	329,87	500
SO ₂ , mg/nm ³	244,38	2,68	-
NO, mg/nm ³	255,92	50,85	200
HCl, mg/nm ³	80,79	0,00	-

Izvor/Source: Szymajda i sur. (2021)

Proizvodnjom i korištenjem peletiranog stajskog gnoja kao krutog goriva smanjuje se potrošnja fosilnih goriva, smanjuje se oslobađanje stakleničkih plinova prilikom skladištenja i zrenja stajskog gnoja te zbog dostupnosti ova sirovina postaje zanimljiva alternativa neobnovljivim, fosilnim gorivima. S druge pak strane, neželjeni produkti nastali gorenjem peletiranog stajskog gnoja predstavljaju potencijalnu opasnost za okoliš te se stoga provode dodatna istraživanja kako bi proces gorenja bio ekološki prihvatljiviji, s manje neželjenih produkata.

Građevinski materijal

U prošlosti vrlo korišten, zatim gotovo potpuno odbačen, stajski se gnoj polako počinje istraživati kao održivi i prirodni građevinski materijal. Korištenje govedeg stajskog gnoja u proizvodnji cigli datira iz razdoblja drvenog Egipta, pri čemu se sa slamom dodavao u blato (Morgenstein i Redmount, 1998.). Stajski se gnoj, zbog sadržanih minerala, zajedno s blatom nanosio i na zidove radi zaštite od insekata, a u mnogim se dijelovima Indije i danas postavljaju crijepovi od stajskog gnoja kako bi apsorbirali toplinu i održavali temperaturu unutar objekta.

Komponente stajskog gnoja, vlakna i mikroorganizmi, daju sposobnost održavanja oblika uz istodobnu apsorpciju vlage te je posljedično upotreba gnoja kao građevinskog materijala najraširenija u proizvodnji cigli. Povećanjem udjela stajskog gnoja u ciglama iznad 10 % smanjuje se čvrstoća uz, prikazano u Tablici 4., istodobno povećanje apsorpcije vlage (Magudeaswaran i Hilal, 2018.).

Tablica 4. Apsorpcijska sposobnost cigli ovisno o dodanom stajskom gnoju
 Table 4 Absorption capacity of bricks depending on added manure

Dodanog stajskog gnoja Added manure %	Apsorpcija vode Water absorption %
0	23,2
10	29,26
20	36,36
30	45,19

Izvor/Source: Magudeaswaran i Hilal (2018).

Zbog svojih izolacijskih karakteristika predstavlja jeftinu alternativu skupim premazima i materijalima. Prozirnost je jedna od najznačajnijih prednosti građevinskog materijala izrađenog od stajskog gnoja te se uslijed klimatskih promjena može očekivati njegova šira primjena u budućnosti.

Proizvodnja humusa

Stajski se gnoj upotrebljava kao idealan supstrat za uzgoj kalifornijskih glista (*Lumbricus rubellus*), odnosno dobivanje kvalitetnog humusa. S obzirom da je kruta frakcija svinjske gnojovke teško razgradiva, poželjna je za proizvodnju supstrata (Pavičić i sur., 2008.). Takav prerađeni stajski gnoj postaje humus, ekološko i organsko gnojivo. Uz svinjski gnoj, za proizvodnju humusa idealan je konjski gnoj zbog kratke humifikacije. Abdimalip i sur. (2014.) navode mogućnost neutralizacije teških metala u kontaminiranim tlima i gnoju preradom istih u humus pomoću kalifornijskih glista.

Proizvodnja papira

Svježi se stajski gnoj, iako u još malim količinama, koristi kao sirovina za dobivanje prirodnih vlakana koja mogu biti iskorištena u proizvodnji nanovlakana, u konačnici papira. Sirovi stajski gnoj predstavlja prirodni materijal dostupan u velikoj količini, ali još uvijek nedovoljno iskorišten, posebice u zapadnom dijelu svijeta (Dashora i Fasake, 2021.). Ovakav način iskorištavanja gnoja primjenjiv je u područjima s malo šuma, kao primarnog izvora celuloze, i u područjima intenzivne stočarske proizvodnje jer predstavlja jeftin i održiv način korištenja gnoja.

Specifična građa probavnog sustava preživača, složenog želuca kojeg čine tri predželuca i pravi želudac, omogućuje značajniju pripremu hrane za probavu, prvenstveno preživljanjem (Ivanković i Mijić, 2019.). Drobljenjem stjenki voluminozne krme, strukturni ugljikohidrati podliježu intenzivnijoj razgradnji do hlapivih masnih kiselina uz izdvajanje neprobavljenog dijela koji kao takav biva izlučen iz organizma. Probavljivost celuloze, hemiceluloze i pektina iznosi 30 – 90 %, dok je lignin neprobavljiv.

Vrlo važan je postupak separacije gnoja kojim se krute čestice odvajaju od tekućih, pri kojem se vlaga gnoja s 85 – 90 % reducira na 28 – 35 % (Dashora i Fasake, 2021.). Voluminozni dio obroka i količina vode u gnoju, krutom, gnojovci ili gnojnici, utječu na količinu ukupnih vlakana u određenoj masi gnoja te na brzinu samog procesa separacije. Ukoliko životinje konzumiraju voluminoznu krmu bogatu sirovima vlaknima bit će i veći randman prilikom separacije. Isto tako veći se randman očekuje u krutom stajskom gnoju u odnosu na gnojnicu.

Od ukupne količine vlakana dobivenih po separaciji sirovog gnoja prosječno 30 – 45 % otpada na celulozu, 20 – 25 % na hemicelulozu, 15 – 20 % na lignin, dok ostatak otpada na velik broj organskih tvari zanemarivog udjela (Dashora i Fasake, 2021.). Ovakva, djelomično probavljena vlakna zahtijevaju manju potrošnju energije i kemijskih tvari u procesu prerade u nanovlakna prvenstveno jer životinje žvakanjem usitnjavaju te obogaćuju materijal kiselinama i enzimima (Krexner i sur., 2022.). Lignin predstavlja nepoželjni dio te se natrijevim hidroksidom djelomično uklanja zajedno s preostalim proteinima, a u potpunosti prilikom izbjeljivanja natrijevim hipokloritom. U stajski je gnoj, prije obrade, moguće dodati lanena vlakna koja poboljšavaju oblikovanje krajnjeg proizvoda (Cao i sur., 2024.). Nanovlakna dobivena iz stajskog gnoja koriste se u proizvodnji filter papira za pročistače otpadnih voda, ambalaže te kako navode Krexner

i sur. (2022.) čak i uredskog papira. Postoji mogućnost, trenutno još uvijek u istraživanju, proizvodnje nanovlakana iz digestata dobivenog po anaerobnoj fermentaciji stajskog gnoja.

Prerada stajskog gnoja u nanovlakna predstavlja jeftinu, ekološki prihvatljivu alternativu zbrinjavanja stajskog gnoja uz smanjenje potreba za drvnom celulozom. Upotreba stajskog gnoja kao izvora nanovlakana najviše je prisutna u primjeni na području jugoistočne Azije, dok se u Europi još uvijek provode istraživanja na ovu temu (Dashora i Fasake, 2021.).

Zaključak

Stajski gnoj predstavlja vrijedan sekundarni animalni proizvod s brojnim primjenama u poljoprivrednim i nepoljoprivrednim granama. Nastaje i deponira se u obliku krutog stajskog gnoja, gnojovke i gnojnice. Ovisno o sustavima proizvodnje, nastaju različite količine stajskog gnoja heterogenih kemijskih i fizioloških svojstava. Stajski je gnoj prepoznat kao održiv materijal u proizvodnji brojnih ekološki prihvatljivih proizvoda, poput bioplina, papira i građevinskog materijala. Pridržavanjem svih propisanih mjera i pravilnika, prilikom skladištenja i primjene stajskog gnoja sprečavaju se značajniji gubici hranjivih tvari i štetan utjecaj na okoliš.

U Republici Hrvatskoj stočarstvo je u poteškoćama dugi niz godina što se očituje kroz smanjenje broja gotovo svih domaćih životinja. Za očekivati je daljnji pad broja stoke, samim time i pad količina stajskog gnoja. Uslijed nedovoljnih količina stajskog gnoja malo je vjerovatno da će neki od manje poznatih načina njegova iskorištavanja zaživjeti u Hrvatskoj. No, s obzirom na klimatske promjene, globalno se može očekivati napredak i daljnje istraživanje u pogledu održivog načina gospodarenja stajskim gnojem.

LITERATURA

1. Abdimalip N., Toychibekova G., Mehmet A. O., Oshakbayev M. (2014.): Management of Agricultural Wastes and Soil Neutralisation by vermicomposting with Californian Red Worms. *Fresenius environmental bulletin*, 23 (2): 640-644.
2. Brdarić D., Kralik D., Kukić S., Spajić R., Tunjić G. (2009.): Konverzija organskog gnoja u bioplin. *Poljoprivreda*, 15 (2): 3-7. <https://hrcak.srce.hr/44527>
3. Butorac A. (1999.): *Opća agronomija (Sveučilišni udžbenik)*. Školska knjiga, d.d., Zagreb. pp. 336-355.
4. Cao X., Li L., Zhang F., Zhang F., Song X., Zhao W., Dai F. (2024.): Green Development of Natural Fibre-Based Paper Mulch from Recyclable Cow Dung and Flax Straw Waste. *Agronomy*, 14 (2): 290. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020290>
5. Christophe S., Pentieva K., Botsaris G. (2023.): Knowledge and Practices of Cypriot Bovine Farmers towards Effective and Safe Manure Management. *Veterinary Sciences*, 10 (4): 293. <https://doi.org/10.3390/vetsci10040293>
6. Daniel J., Olson K. C. (2005.): Feeding Poultry Litter to Beef Cattle. *Agricultural MU Guide*. University of Missouri-Columbia. <https://extension.missouri.edu/publications/g2077>
7. Dashora K., Fasake V. (2021.): A sustainable potential source of ruminant animal waste material (dung fiber) for various industrial applications: A review. *Bioresource Technology Reports*, 15: 100693. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100693>
8. Direktiva (EU) 2018/2001 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora (preinaka). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02018L2001-20220607>

9. Dobbins C. N. Jr. (1975.): Ensiling Polutry Manure as a Feedstuff for Ruminants. College of Veterinary Medicine Head, Extension Veterinary Department. University of Georgia. <https://bovine-ojs-tamu.tdl.org/AABP/article/view/7790>
10. Gupta K. K., Aneja K. R., Rana D. (2016.): Current status of cow dung as a bioresource for sustainable development. *Bioresources and Bioprocessing*, 3: 28. <https://doi.org/10.1186/s40643-016-0105-9>
11. Ivanković A., Mijić P. (2020.): *Govedarstvo*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
12. Izvješće o bioplinskim postrojenjima iz baze podataka Registra onečišćavanja okoliša Republike Hrvatske (ROO) za razdoblje 2017. - 2021. godine. Zagreb, siječanj 2023.
13. Kelava Ugarković N., Vidulin M., Konjačić M., Prpić Z. (2022.): Mogućnosti korištenja stajskog gnoja kao sirovine u proizvodnji bioplina. 57. hrvatski i 17. međunarodni simpozij agronoma. Vodice, Hrvatska 2022. Zbornik radova, 467-471.
14. Krexner T., Bauer A., Zolltsch A., Weiland K., Bismarck A., Mautner A., Medel-Jiménez F., Gronauer A., Kral I. (2022.): Environmental life cycle assessment of nano-cellulose and biogas production from manure. *Journal of Environmental Management*, 314: 115093. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115093>
15. Magudeaswaran P., Hilal A. S. (2018.): Development of Eco Brick and Concrete with the partially replacement of cow dung. *International Journal of Science and Engineering Research*, 6 (5): 2249-254.
16. Maguire R. O., Kleinman P. J. A., Beegle D. B. (2011.): Novel Manure Management Technologies in No-Till and Forage Systems: Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 40 (2): 287-291. <https://doi.org/10.2134/jeq.2010.0396>
17. Maj I. (2022.): Significance and Challenges of Polutry Litter nad Cattle Manure as Sustainable Fuels: A Review. *Energies*, 15: 8981. <https://doi.org/10.3390/en15238981>
18. Morgenstein M. E., Redmount C. A. (1998.): Mudbrick Typology, Source and Sedimentological Composition: A Case Study from Tell el-Muqdam, Egyptian Delta. *Journal of the American Research Center in Egypt*, 35: 129-146. <https://doi.org/10.2307/40000466>
19. Novak Mavar K., Hrničević L., Brkić V., Simon K. (2023.): Potrošnja i korištenje bioplina – stanje razvoja u Hrvatskoj. *Nafta i Plin*, 43. (178-179): 57-65. <https://hrcak.srce.hr/311504>
20. Pavičić Ž., Ostović M., Tofant A., Balenović T., Ekert Kabalin A. (2008.): Postupci s tekućim gnojem u intenzivnoj svinjogojskoj proizvodnji. *Stočarstvo*, 62 (4): 323-333.
21. Pravilnik o uvjetovanosti od 3. ožujka 2023. Ministarstvo poljoprivrede, NN 26/2023. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_03_26_429.html
22. Rayne N., Aula L. (2020.): Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review. *Soil Systems*, 4 (4): 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
23. Reijneveld J. A. (2013.): Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in The Netherlands. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, NL. <https://edepot.wur.nl/282212>
24. Samad A. (2023.): Use of Polutry Manure as an Alternative of Soybeans in Fish Feed. *Biological Times*, 2 (3): 1-2. <https://biologicaltimes.com/papers/volume-2/issue-3/use-of-poultry-manure-as-an-alternative-of-soyabean-in-fish-feed/>
25. Szymajda A., Laska G., Joka M. (2021.): Assesment of Cow Dung Pellets as a Renewable Solid Fuel in Direct Combustion Technologies. *Thermal Analysis of Biomass Energy Production Process*. MDPI. *Energies*, 14 (4): <https://doi.org/10.3390/en14041192>
26. Tongmee B., Whangchai N., Tongsiri S., Unpaprom Y. (2020.): Replacement of fish meal using pig manure as protein source for Nile tilapia culture. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 2 (2): 8-13. <https://doi.org/10.54279/mijeec.v2i2.244959>

27. Treći Akcijski program zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla od 30. lipnja 2021. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja, NN 73/2021. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_06_73_1374.html
28. Uredba 91/676/EEZ: Direktiva Vijeća od 12. prosinca 1991. o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:31991L0676>
29. Usman S., Ogbe K., Oguche J., Momoh T., Omale S. (2019.): Utilization of poultry waste as feed supplementary feed for fish growth. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23 (4): 627-631. DOI: 10.4314/jasem.v23i4.8
30. Whalen J. K., Chang C., Clayton G. W., Carefoot J. P. (2000.): Cattle Manure Amendments Can Increase the pH of Acid Soils. *Soil Science Society of American Journal*, 64 (3): 962-966.

POSSIBILITIES OF USING MANURE

Summary

Manure is a valuable secondary animal product with numerous applications in agricultural and non-agricultural areas. Depending on the animal husbandry system, it is prepared in the form of solid manure, slurry and liquid manure with nitrogen, phosphorus and potassium as the main nutrients. This article examines the possibilities for the practical application and utilisation of manure. The main application of manure is the fertilisation of agricultural land. In some parts of the world, manure is used for the production of biogas, paper, as animal feed, building material and as solid fuel. Most of these uses of manure have not yet been sufficiently researched or commercialised worldwide. Although the obvious decline in livestock numbers in Croatia and the EU is leading to a reduction in the amount of manure, the growing concern about climate change is changing the perception of manure, which is increasingly seen as a sustainable and ecological material.

Key words: manure, application, fertilizer, biogas

Received - primljeno: 05.04.2024.
Accepted - prihvaćeno: 24.08.2024