

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Nemanja S. Mandić

**BIODEGRADACIJA OTPADNIH LISTOVA
DUVANA U RAZLIČITIM USLOVIMA
KOMPOSTIRANJA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2025

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Nemanja S. Mandić

**BIODEGRADATION OF TOBACCO WASTE
LEAVES UNDER DIFFERENT COMPOSTING
CONDITIONS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025

KOMISIJA ZA OCENU I ODBRANU DOKTORSKE DISERTACIJE:

Mentor 1:

dr Vesna Radojičić, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu
(Uža naučna oblast: Nauka o preradi ratarskih sirovina)

Mentor 2:

dr Blažo Lalević, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu
(Uža naučna oblast: Ekološka mikrobiologija)

Članovi komisije:

dr Tatjana Šolević Knudsen, naučni savetnik
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Univerziteta u Beogradu
(Uža naučna disciplina: Hemija životne sredine)

dr Željko Dolijanović, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu
(Uža naučna oblast: Agroekologija)

dr Aleksandar Kostić, vanredni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu
(Uža naučna oblast: Hemija)

Datum odbrane: _____

Izjava zahvalnosti

Zahvaljujem se mentoru dr Vesni Radojičić, redovnom profesoru na mentorstvu, razumevanju, strpljenju, uloženom trudu i poverenju, kao i na usmerenju u pisanju ove doktorske disertacije.

Zahvalnost izražavam i ko-mentor dr Blaži Laleviću, redovnom profesoru na motivaciji, nesebičnoj pomoći, podršci i konkretnim komentarima tokom celokunog perioda izrade doktorske disertacije.

Želim da se zahvalim dr Željku Dolijanoviću na sugestijama i savetima koji su mi pomogli u finalizaciji disertacije.

Zahvalan sam dr Aleksandru Kostiću na korisnim i konkretnim savetima koji su doprineli kvalitetu ove disertacije.

Zahvaljujem se dr Tatjani Šolević Knudsen na podršci, sugestijama i pomoći tokom izrade disertacije.

Zahvalnost upućujem i kolegama dr Borisu Pisinovom na nesebičnoj pomoći u delu laboratorijskih analiza i dr Gordani Kulić u delu postavljanja eksperimenata, koji su bili deo ove disertacije.

Veliko hvala devojci Teodori i prijateljima koji su verovali u mene i koji su mi pružali podršku.

Najveća zahvalnost pripada mojim roditeljima i bratu, koji su me motivisali tokom svih ovih godina obrazovanja. Zahvalan sam im na podršci, veri i ljubavi u svim mojim naporima da dodjem do cilja.

Doktorska disertacija posvećena je, pre svega, mom dedi Radosavu Matoviću, a isto tako i mojoj porodici.

Autor

BIODEGRADACIJA OTPADNIH LISTOVA DUVANA U RAZLIČITIM USLOVIMA KOMPOSTIRANJA

Sažetak

Cilj ove studije bio je da se ispituju mogućnosti razvoja prihvatljive tehnike kompostiranja duvanskog otpada mešanjem sa različitim vrstama organskog otpada, za dobijanje proizvoda koji bi imao upotrebnu vrednost u biljnoj proizvodnji. Korišćeni su listovi duvana tipa Virdžinija, koji su na osnovu Merila za klasifikaciju duvana odbačeni kao otpad. Dva eksperimentalna uzorka su formirana mešanjem duvanskog otpada sa ovčijim i kokošijim stajnjakom za kompostiranje u nekontrolisanim uslovima. Četiri eksperimentalna uzorka su formirana su mešanjem duvanskog otpada sa otpadom iz domaćinstva (krompir, mrkva i crni luk) za kompostiranje u nekontrolisanim, polukontrolisanim i kontrolisanim uslovima, sa i bez dodavanja bakterija. Referentni uzorak je bio od čistog duvanskog otpada. *Brevibacillus* sp. kao soj koji razgrađuje nikotin, prethodno izolovan iz duvanskog otpada, prvi put je korišćen u procesu kompostiranja.

Brzina razgradnje nikotina direktno je zavisila od početnog sastava mešoviti kompostnih gomila, prisustva nikotofilnih bakterija, temperature i vlage u kompostnim gomilama, kao i temperature i vlage okoline. Sadržaj nikotina u finalnim proizvodima nastalih kompostiranjem referentnog uzorka je bio znatno veći od propisane granice (500 mg/kg), čime je onemogućeno njegovo korišćenje. U finalnim proizvodima kod svih mešoviti kompostnih gomila sadržaj nikotina bio je manji od 10 mg/kg. Sadržaj makrohraniva u svim finalnim proizvodima čini ih adekvatnim za poljoprivrednu primenu. Sadržaj toksičnih elemenata kod komposta dobijenih mešanjem duvanskog otpada i životinjskog organskog otpada je ispod referentnih granica. Finalni proizvodi dobijeni kompostiranjem čistog duvanskog otpada, kao i komposti dobijeni mešanjem duvanskog otpada sa otpadom iz domaćinstva, nisu pokazali prihvatljive rezultate u pogledu sadržaja kadmijuma (>3 mg/kg). Najbolje karakteristike imali su finalni proizvodi dobijeni kompostiranjem duvanskog otpada i ovčijeg i kokošijeg stajnjaka u nekontrolisanim uslovima, što je značajno i sa ekološkog i sa ekonomskog aspekta.

Ključne reči: kompostiranje, duvanski otpad, otpad iz domaćinstva, ovčiji stajnjak, kokošiji stajnjak, *Brevibacillus* sp., nikotin, makrohraniva, toksični elementi.

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Nauka o preradi ratarskih sirovina

UDK: 663.97.051.1:633.71]:631.879.4(043.3)

BIODEGRADATION OF TOBACCO WASTE LEAVES UNDER DIFFERENT COMPOSTING CONDITIONS

Abstract

The aim of this study was to investigate the possibilities for developing an acceptable technique for composting tobacco waste by mixing it with different types of organic waste to obtain a product that has useful value for crop production. Virginia tobacco leaves that were disposed of as waste according to tobacco classification criteria were used. Two experimental samples were formed by mixing tobacco waste with sheep and chicken manure for composting under uncontrolled conditions. Four experimental samples were formed by mixing tobacco waste with household waste (potatoes, carrots and onions) for composting under uncontrolled, semi-controlled and controlled conditions with and without the addition of bacteria. The reference sample consisted of pure tobacco waste. *Brevibacillus* sp. as a nicotine-degrading strain, which had previously been isolated from tobacco waste, was used for the first time in the composting process.

The rate of nicotine degradation directly depended on the initial composition of the mixed compost piles, the presence of nicotinophilic bacteria, the temperature and humidity in the compost piles, as well as the temperature and humidity of the environment. The nicotine content in the final products obtained by composting the reference sample was significantly higher than the prescribed limit (500 mg/kg), which made their use impossible. In the final products of all mixed compost piles, the nicotine content was less than 10 mg/kg. The content of macronutrients in all final products makes them suitable for agricultural use. The content of toxic elements in composts obtained by mixing tobacco waste and animal organic waste is below the reference limits. The final products obtained by composting pure tobacco waste, as well as compost obtained by mixing tobacco waste with household waste, did not show acceptable results in terms of cadmium content (>3 mg/kg). The best properties were shown by the final products obtained by composting tobacco waste and sheep and chicken manure under uncontrolled conditions, which is important from both an environmental and an economic point of view.

Keywords: composting, tobacco waste, household waste, sheep manure, chicken manure, *Brevibacillus* sp., nicotine, macronutrients, toxic elements.

Scientific field: Technological engineering

Scientific subfield: Science of field crop processing

UDC: 663.97.051.1:633.71]:631.879.4(043.3)

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA	2
3. OSNOVNE HIPOTEZE OD KOJIH SE POLAZI	3
4. ZNAČAJ I PREDMET ISTRAŽIVANJA	4
5. PREGLED LITERATURE	5
5.1. Pojam biomase i otpad	5
5.2. Kompostiranje kao način redukcije količina otpada	6
5.2.1. Faktori koji utiču na proces kompostiranja	7
5.3. Priprema komposta	11
5.3.1. Proces aerobnog kompostiranja	12
5.3.2. Faze kompostiranja	12
5.3.3. Mikroorganizmi u procesu kompostiranja	13
5.4. Održavanje kompostne gomile	15
5.5. Prednosti procesa kompostiranja	15
5.6. Upotreba komposta	16
5.7. Kompostiranje duvanskog otpada	17
5.7.1. Organski (komunalni) otpad kao sirovina za kompostiranje	22
5.8. Duvan	24
5.8.1. Duvan tipa Virdžinija	24
5.9. Crni luk	27
5.10. Mrkva (Šargarepa)	29
5.11. Krompir	30
5.12. Potencijal kompostiranja ovčijeg i kokošijeg stajnjaka	32
6. MATERIJAL I METODE	34
6.1. Materijal	35
6.1.1. Kompostiranje duvanskog otpada sa ovčijim i kokošijim stajnjakom	36
6.1.2. Kompostiranje duvanskog otpada sa biljnim (organskim) otpadom iz domaćinstva	36
6.2. Metode	38
6.2.1. Izolacija i molekularna identifikacija nikotofilnih bakterija	38
6.2.2. Priprema eksperimentalnih uzoraka	40
6.2.3. Praćenje parametara procesa kompostiranja	40
6.2.4. Analiza sadržaja nikotina HPLC metodom	40

6.2.5. Analiza sadržaja elemenata atomskom apsorpcionom spektrometrijom (AAS)	41
6.2.6. Osnovne hemijske karakteristike komposta.....	43
6.2.7. Statistička analiza.....	43
7. REZULTATI I DISKUSIJA	44
7.1. Kompostiranje duvanskog otpada sa ovčijim i kokošijim stajnjakom u prirodnim (nekontrolisanim) uslovima.....	44
7.1.1. Procena hemijskog kvaliteta komposta proizvedenog od duvanskog otpada i ovčijeg i kokošijeg stajnjaka.....	49
7.1.2. Osnovna hemijska svojstva komposta dobijenog mešanjem duvanskog otpada i stajnjaka	52
7.2. Kompostiranje duvanskog otpada sa biljnim (organskim) otpadom iz domaćinstva	53
7.2.1. Morfološka i molekularna karakterizacija nikotinoofilnih bakterija	53
7.2.2. Razgradnja nikotina tokom kompostiranja duvanskog i organskog otpada iz domaćinstva	54
7.2.3. Uticaj parametara procesa na brzinu razgradnje nikotina i proces kompostiranja	56
7.2.4. Procena hemijskog kvaliteta komposta proizvedenog od duvanskog i biljnog otpada sa dodatkom bakterija	60
7.2.5. Osnovna hemijska svojstva komposta dobijenog mešanjem duvanskog otpada i otpada iz domaćinstva	62
8. ZAKLJUČAK	64
9. LITERATURA.....	66

SPISAK TABELA

Tabela 1. C/N odnos za neke materijale (Marjanović i sar., 2008).....	10
Tabela 2. Približna koncentracija azota (N) i C/N odnos materijala za kompostiranje (Marjanović i sar., 2008).....	10
Tabela 3. Procenjene količine otpada od duvanskih proizvoda (Lam et al., 2022)	18
Tabela 4. Spisak sojeva sposobnih da razgrade nikotin (Li et al., 2024, modifikovano)	21
Tabela 5. Sastav različitih vrsta otpada.....	22
Tabela 6. Površina pod duvanom u Republici Srbiji (ha)	25
Tabela 7. Teorijski proračun količine otpadnih listova duvana u Republici Srbiji (t).....	26
Tabela 8. Hemijski sastav duvana u % (Purwono et al., 2011).....	26
Tabela 9. Hemijske karakteristike lista duvana Virdžinija 0842 u 2018. godini	27
Tabela 10. Hemijske karakteristike lista duvana Virdžinija 0842 u 2019. godini	27
Tabela 11. Ukupna proizvodnja krompira u Republici Srbiji (2015 - 2018).....	30
Tabela 12. Procentualni sastav kompostnih gomila.....	36
Tabela 13. Procentualni sastav kompostnih gomila.....	37
Tabela 14. Broj kišnih dana u Bajinoj Bašti po mesecima (izvor: RHMZS).....	46
Tabela 15. Sadržaj nikotina (mg/kg) u ispitivanim uzorcima	46
Tabela 16. Procentualno smanjenje koncentracije nikotina u ispitivanim smešama	47
Tabela 17. Gubitak mase u toku procesa kompostiranja	48
Tabela 18. Sadržaj ispitivanih elemenata u kompostnim gomilama.....	49
Tabela 19. Maksimalno dozvoljene vrednosti sadržaja toksičnih elemenata u kompostu.....	51
Tabela 20. Rezultati osnovnih hemijskih analiza komposta dobijenog mešanjem duvanskog otpada i stajnjaka	52
Tabela 21. Sadržaj nikotina (mg/kg) u ispitivanim uzorcima mešavine duvanskog i organskog otpada iz domaćinstva	54
Tabela 22. Razgradnja nikotina (%) u ispitivanim tretmanima	55
Tabela 23. Promena mase eksperimentalnih gomila po nedeljama (preračunato na 1 kg)	59
Tabela 24. Srednje vrednosti (x) sadržaja ispitivanih elemenata u finalnim proizvodima	60
Tabela 25. Rezultati osnovnih hemijskih analiza komposta dobijenog mešanjem duvanskog i otpada iz domaćinstva.....	62

SPISAK SLIKA

Slika 1. Dijagram toka istraživanja	34
Slika 2. Duvan tipa Virdžinija.....	35
Slika 3. Kompostiranje duvanskog otpada sa biljnim (organskim) otpadom iz domaćinstva	37
Slika 4. Inkubator Binder (Nemačka)	38
Slika 5. Termosajkler Kyrattec (Australija)	39
Slika 6. HPCL sistem sa UV-VIS detektorom	41
Slika 7. Hromatogram	41
Slika 8. Atomski apsorpcioni spektrometar "Analyst 300"	42
Slika 9. Mikrotalasni digestion sistem "Ethos 1"	43

SPISAK GRAFIKA

Grafik 1. Struktura proizvodnje duvana u Republici Srbiji u 2015. godini (TAIEX, 2018)	25
Grafik 2. Prosečna temperatura (°C) i relativna vlažnost okoline (%) po mesecima.....	45
Grafik 3. Prosečna ambijentalna temperatura u °C (a) i relativna vlažnost u % (b) po nedeljama (%)	57
Grafik 4. Prosečna temperatura u °C (a) i vlažnost (b) u % u kompostnim gomilama po nedeljama	57

1. UVOD

Poslednjih godina, količine poljoprivrednog i komunalnog otpada značajno rastu širom sveta. Zbog toga postoji potreba za usvajanjem odgovarajućih mera za smanjenje nastanka, njegovu reciklažu i ponovnu upotrebu. Proizvodnja komposta postala je sve popularnija opcija upravljanja različitim vrstama otpada, kao načina da se smanji pritisak na deponije, da se produži njihova upotreba i da se svede na minimum zagađenje životne sredine. Proizvodnja komposta postaje imperativ u biljnoj proizvodnji, jer kompost u zemljištu povoljno utiče na poboljšanje vodnog, vazdušnog, toplotnog režima i biološke aktivnosti zemljišta.

U Republici Srbiji poljoprivreda je jedna od glavnih privrednih grana, tako da generiše velike količine otpada. Duvanski otpad, koji nastaje u svim procesima, od proizvodnje na njivi do izrade cigareta, takođe čini znatan procenat agroindustrijskog i komunalnog otpada u Srbiji (Radojičić et al., 2009). Za sakupljanje, transport, preradu i sigurno odlaganje duvanskog otpada u Srbiji najveću odgovornost imaju proizvođači duvana i duvanskih proizvoda.

Cilj ovog istraživanja je bio da se ispita mogućnost razvoja prihvatljive tehnike za korišćenje duvanskog otpada na ekološki način i da se obezbedi rešenje za smanjenje stope odlaganja duvanskog i biljnog otpada. Kao biljni otpad izabrani su specifični biljni ostaci (ostaci mrkve, krompira, luka) koji svakodnevno nastaju tokom pripreme obroka u individualnim domaćinstvima i čine značajan deo komunalnog, biorazgradivog otpada. Proces kompostiranja praćen je i korišćenjem mešavine duvanskog otpada i ovčijeg, odnosno kokošijeg stajnjaka.

Poseban značaj ovog istraživanja je u činjenici da su u procesu kompostiranja prvi put korišćeni novi sojevi iz roda *Brevibacillus* sp. koji razgrađuju nikotin. Nikotofilne bakterije korišćene u ovim istraživanjima su prethodno izolovane iz duvanskog otpada i okarakterisane i identifikovane primenom molekularnih metoda identifikacije. Pretpostavljeno je da se kompostiranjem i u nekontrolisanim uslovima može postići slična dinamika uklanjanja nikotina, što bi značajno doprinelo snižavanju cene procesa.

2. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA

Okosnica istraživanja izvedena je na osnovu ideje da se dodavanjem različitih organskih otpadnih materijala otpadnim listovima duvana, u različitim uslovima sredine, sa ili bez dodavanja bakterija koje razgrađuju nikotin, može dobiti proizvod koji ima upotrebnu vrednost u poljoprivredi i koji bi, pre svega, bio ekološki prihvatljiv.

Cilj ovog istraživanja bio je utvrđivanje najpovoljnijeg načina kompostiranja otpadnih listova duvana, a da se pritom dobije proizvod koji ima upotrebnu vrednost u poljoprivredi. Istraživanjem je predviđeno da se dinamika redukcije sadržaja nikotina u duvanskom otpadu ispituje kroz nekoliko tretmana:

- Čist duvanski otpad;
- Mešanjem duvanskog sa drugim vrstama organskog otpada;
- Dodavanjem bakterija koje razgrađuju nikotin, u cilju ubrzavanja procesa kompostiranja. Ove bakterijske populacije u toku svoje metaboličke aktivnosti koriste nikotin kao jedinstven izvor ugljenika i energije.

Proces kompostiranja biće sproveden u različitim uslovima sredine, kako bi se potvrdila mogućnost i brzina degradacije nikotina u svim uslovima:

- Kontrolisanim uslovima
- Polukontrolisanim uslovima
- Nekontrolisanim uslovima

Takođe, jedan od ciljeva istraživanja biće i upoređivanje rezultata karakteristika dobijenih komposta radi utvrđivanja najefikasnijeg i ekonomski najprihvatljivijeg načina kompostiranja.

3. OSNOVNE HIPOTEZE OD KOJIH SE POLAZI

Pri sastavljanju programa i postavljanju ciljeva predložene doktorske disertacije polazi se od nekoliko hipoteza:

- Kompostiranje je preporučljiva metoda za upravljanje svim vrstama organskog otpada i za kreiranje tržišno krajnjeg proizvoda koji je lak za rukovanje, skladištenje i upotrebu.
- Duvanskim otpadom može se upravljati na isti način kao i sa ostalim poljoprivrednim otpadom.
- Duvanski listovi mogu biti pogodna sirovina za dobijanje organskog đubriva.
- Mešanjem otpadnih listova duvana sa drugim vrstama organskog otpada, smanjila bi se količina nikotina u duvanskom otpadu.
- Bakterije koje razgrađuju nikotin, koje su izolovane iz otpadnih listova duvana, ubrzaće proces degradacije nikotina u kompostnim gomilama.
- U zavisnosti od karakteristika komposta, utvrdiće se najpovoljnija mešavina, najpovoljniji način kompostiranja, kao i mogućnost unapređenja procesa u nekontrolisanim uslovima, čime se otvara mogućnost izvođenja procesa na mestima generisanja otpada bez ulaganja velikih finansijskih sredstava, pre svega za potrebe troškova transporta.
- Proizvodnja komposta rešila bi problem odlaganja otpadnih listova duvana koji ne zadovoljavaju kriterijume za proizvodnju duvanskih proizvoda.

4. ZNAČAJ I PREDMET ISTRAŽIVANJA

Tema ovog rada pored naučnog ima i ekonomski i ekološki značaj.

- Sa naučnog stanovišta: Otvaraju se mogućnosti i ideje za dalja ispitivanja u smeru ubrzanja procesa kompostiranja, kao i mešanja sa drugim organskim otpadima;
- Sa ekološkog stanovišta: Iskorišćavanjem duvanskog otpada u procesu kompostiranja smanjuje se njegov štetni uticaj na životnu sredinu, a njegovim mešanjem sa organskim otpadom smanjuje se uticaj organskog otpada kako na životnu sredinu tako i njihovu količinu na deponijama;
- Sa ekonomskog stanovišta: Zaključak koji je dobijen na kraju studije dokazuje da se dobija proizvod koji je primenljiv i koji bi mogao smanjiti potrebu za korišćenjem mineralnih đubriva.

Ciljevi zadati za izradu ove disertacije su praćeni sledećim aktivnostima:

- Analiza materijala i metoda koje su potrebne za proces kompostiranja
- Eksperimentalno određivanje sadržaja nikotina u svim uzorcima
- Analiza dobijenih rezultata sadržaja nikotina, u cilju utvrđivanja da li se dobijeni kompost može bezbedno koristiti kao organsko đubrivo
- Eksperimentalno određivanje sadržaja toksičnih elemenata u svim uzorcima
- Analiza dobijenih rezultata sadržaja toksičnih elemenata, u cilju utvrđivanja da li je dobijeni kompost ekološki prihvatljiv
- Eksperimentalno određivanje sadržaja mineralnih materija u svim uzorcima
- Analiza dobijenih rezultata sadržaja mineralnih materija, u cilju utvrđivanja da li dobijeni kompost sadrži dovoljne količine mineralnih materija koje su potrebne zemljištu i koje su propisane zakonom Republike Srbije
- Upoređivanje rezultata karakteristika dobijenih komposta, radi utvrđivanja najefikasnijeg i ekonomski najprihvatljivijeg načina kompostiranja, u cilju dobijanja proizvoda koji ima upotrebnu vrednost.

5. PREGLED LITERATURE

5.1. Pojam biomase i otpad

Biomasa je najstariji izvor energije koji je čovek koristio i predstavlja zajednički pojam za brojne, najrazličitije proizvode biljnog i životinjskog sveta. U skladu sa definicijom navedenom u Direktivi 2009/28/EC, biomasa je biorazgradiva materija nastala u poljoprivredi, šumarstvu i pratećoj industriji i domaćinstvu koja obuhvata: biljke i delove biljaka, gorivo dobijeno od biljaka i delova biljaka, ostatke i nusproizvode biljaka nastale u poljoprivredi (slama, kukurozovina, grane, koštice i ljske), ostatke životinjskog porekla nastale u poljoprivredi (fekalijske), ostatke biljaka u šumarstvu (ostaci pri seči šuma), biorazgradive ostatke u prehrambenoj i drvenoj industriji koji ne sadrže opasne supstance i separisanu biorazgradivu frakciju komunalnog otpada.

Prema Zakonu o upravljanju otpadom, otpad je svaka materija ili predmet koji vlasnik odbacuje, namerava ili mora da odbaci (Sl. glasnik RS, br. 36/09, 88/10 i 14/16, 95/18 - dr.zakon i 35/23). Otpad je najočigledniji i najrasprostranjeniji proizvod intenzivnog korišćenja resursa i potrošački orijentisanog društva i rastuće ekonomije. Povećanje obima aktivnosti u privredi, urbanizacija, rast životnog standarda stanovništva i rast populacije, zajedno doprinose povećanju količine otpada.

Ogromne količine svih vrsta otpada koji se proizvode izazivaju zabrinutost za dalji opstanak života na planeti. Od sedamdesetih godina 20. veka uveliko se priča o održivom opstanku, a postupanja sa otpadom su deo tog globalnog programa. Pol Konet (Chandak, 2010) nazvao je 20. vek "vekom upravljanja otpadom", a 21. "vekom upravljanja odbačenim resursima". U 20. veku zadatak je bio "efikasno upravljanje otpadom uz minimalna oštećenja javnog zdravlja i okruženja", dok je u 21. veku zadatak "upravljanje našim odbačenim resursima tako da budućim generacijama ne oduzmemo neke, ili sve vrednosti".

Definicijom otpada bave se i drugi zakoni i standardi. Prema međunarodnom standardu (ISO 14001:2015) otpadi su "...materijali, energija, proizvodi i nus-proizvodi koji se odbacuju u životnu sredinu, kao krajnje odlagalište, a delom mogu biti izvor sekundarnih sirovina". Prema Zakonu o upravljanju otpadom Republike Srbije (Sl. glasnik RS 36/09, 88/10, 14/16, 95/18 - dr.zakon i 35/23) otpad je "...svaka supstanca ili predmet koji vlasnik odstranjuje, namerava ili mora da odstrani, a koji je svrstan u kategorije otpada utvrđene posebnim propisom". Prema Zakonu o zaštiti životne sredine Republike Srbije (Sl. glasnik RS 135/04, 36/09, 36/09 - dr. zakon, 72/09 - dr. zakon, 43/11 - odluka US, 14/16, 76/18, 95/18 - dr. zakon, 95/18 - dr. zakon i 94/24 - dr. zakon) "otpad jeste svaki predmet ili supstanca, kategorisan prema utvrđenoj klasifikaciji otpada sa kojim vlasnik postupa ili ima obavezu da postupa, odnosno upravlja". Prema Zakonu o postupanju sa otpadnim materijalima (Sl. glasnik RS 25/96, 26/96, - ispr. i 101/2005 - dr. zakon) "otpadne materije ... su materijali koji nastaju u obavljanju proizvodnje, uslužne ili druge delatnosti, predmeti isključeni iz upotrebe kao i otpadne materije koje nastaju u potrošnji, a mogu se neposredno ili uz odgovarajuću doradu i preradu upotrebljavati kao sirovine u proizvodnji ili kao poluproizvodi.

Otpacima, u smislu ovog zakona, smatraju se i materijali koji nemaju upotrebnju vrednost...". Očigledno je da je definicija otpada veoma kompleksna.

Poljoprivredni otpad je otpad koji nastaje od ostataka iz poljoprivrede, šumarstva, prehrambene i drvne industrije. Velike količine poljoprivrednog otpada nastaju pri različitim fazama proizvodnje i prerade, a jedan od najefikasnijih načina za uklanjanje ovog otpada i njegove transformacije u biološki vredne proizvode je kompostiranje.

5.2. Kompostiranje kao način redukcije količina otpada

Proces razlaganja i recikliranja organske materije prirodnim putem i njegovo pretvaranje u krajnji proizvod naziva se kompostiranje (Marjanović i sar., 2008).

Kompost predstavlja organsku materiju razgrađenu aerobnim putem. Koristi se u baštovanstvu, hortikulturi i poljoprivrednoj proizvodnji kao oplemenjivač zemljišta i đubrivo. Takođe se koristi za kontrolu erozije i kao prekrivač deponija (Haug, 1993). Kompost služi kao sredstvo za rast, ili kao porozni, apsorpcioni materijal, koji zadržava vlagu i rastvorljive minerale, pružajući zaštitu hraniva neophodnim za napredovanje većine biljaka. Da bi se ubrzao rast biljaka, ponekad je neophodno „razblažiti“ kompost sjedinjujući ga sa zemljom ili tresetom radi redukcije saliniteta. Dodaju se neutralizatori radi dostizanja $\text{pH} = 7$, ili suplementi kao đubrivo i tečno đubrivo, vlažni agensi i materijali koji poboljšavaju drenažu i aerizaciju, kao što su pesak, šljunak, strugotina, vermikulit (hidrozni silikat), granule od gline, itd. (Haug, 1993).

Svest o otpadu počela je da se razvija i jača još sredinom 20. veka. Usled globalnog porasta količine čvrstog otpada, sve više se uvodi kompostiranje biljnih ostataka, ali je ova grana do 70-tih godina 20. veka praktično bila neregulisana. Javno istupanje država članica Evropske unije protiv kontaminacije zemljišta na farmama i vinogradima primenom komposta od otpada koji sadrži ostatke plastike, metala i stakla bio je podsticaj za reorganizaciju ove grane industrije (Haug, 1993).

Kompostiranje, ili proizvodnja komposta, je biološka razgradnja organske materije u toplom, vlažnom okruženju delovanjem bakterija, gljiva i drugih mikroorganizama. Krajnji proizvod je biološki stabilan, bez održivih patogena i semena korovskih biljaka i može se blagotvorno primeniti na zemljište (Jovičić i sar., 2009). Organska materija može biti komunalni čvrsti otpad, mulj iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, poljoprivredni otpad, dvorišni otpad, otpad iz domaćinstva ili kombinacija ovih materijala sa drugim organskim materijalima. Osnovna razlika između procesa kompostiranja i prirodnog razlaganja jeste u tome što je proces kompostiranja delimično ili potpuno kontrolisan proces. Tokom procesa kompostiranja dolazi do stabilizacije biodegradibilnog otpada (Jovičić i sar., 2009).

Vrsta i sastav organskog otpada, kao i parametri procesa (temperatura, aeracija, vlaga, pH), utiču na intenzitet procesa kompostiranja ali i na kvalitet samog proizvoda. Proces kompostiranja može se voditi u kontrolisanim, delimično kontrolisanim i nekontrolisanim uslovima spoljašnje sredine. Kontrolisani uslovi kompostiranja mogu se obezbediti u zatvorenim prostorijama, posudama, ili u reaktoru. Čak se i preporučuje kompostiranje u stakleniku, gde se toplota koja se generiše kompostiranjem koristi za zagrevanje, a stvoreni ugljen-dioksid stimuliše biljni rast (Swati and Hait, 2018).

Treba imati u vidu da se svake godine, sve veće količine čvrstog komunalnog otpada odlažu na deponije i utiču na zdravlje ljudi ali i na kvalitet životne sredine, generišući gasove (CO_2 , CH_4) koji doprinose efektu staklene bašte. Osim toga, čvrsti komunalni otpad kontaminira zemljište i

podzemne vode organskim jedinjenjima i toksičnim elementima. Takođe, u poljoprivrednoj proizvodnji nastaje velika količina otpada. Pod poljoprivrednim otpadom podrazumevaju se ostaci biomase jednogodišnjih biljaka, slama, kukuruzovina, stabljike drugih biljaka, ljuške, ostaci nastali orezivanjem voća, kao i neiskorišćeni ostaci hrane domaćih životinja (Haug, 1993), koji se mogu preraditi u novi proizvod - kompost.

5.2.1. Faktori koji utiču na proces kompostiranja

U procesu kompostiranja dolazi do razgradnje prirodnih organskih materijala. Proces razlaganja zavisi od klimatskih uslova i u tom slučaju može da traje nekoliko meseci do godinu dana a možda čak i duže. Ali ako se kontrolišu faktori koji utiču na proces razlaganja, prirodni proces može da se ubrza. Najvažniji faktori procesa kompostiranja (Mihajlović, 2015) su:

- veličina čestica materijala koji se kompostira,
- aeracija,
- poroznost,
- sadržaj vlage,
- temperatura,
- pH vrednost,
- hranljivi elementi
- odnos ugljenika prema azotu (C/N).

5.2.1.1. Veličina čestica materijala koji se kompostira

S obzirom da se mikrobiološka aktivnost odvija na površini čestica materijala koji se kompostira, aktivnost može biti povećana usitnjavanjem. Time se povećava dodirna površina i omogućava mikroorganizmima da transformišu više materijala što dovodi do bržeg razmnožavanja i stvaranja veće toplote. Samim tim ubrzava se proces kompostiranja i stvaranje finalnog proizvoda - komposta (Marjanović i sar., 2008).

5.2.1.2. Aeracija

Kompostiranje predstavlja biološku oksidaciju, pa je dostupnost kiseonika tokom procesa od najvećeg značaja. Uloga aeracije mase je da obezbedi kiseonik, tako da kiseonik ne postane limitirajući faktor. Sadržaj kiseonika u cirkulišućem vazduhu ne bi trebalo da bude manji od 18% (de Bertoldi et al., 1983).

Aerobno razlaganje je moguće samo u prisustvu dovoljne količine kiseonika. Aeracija se obično vrši prirodnim putem, odnosno mešanjem komposte gomile, gde vazduh zagrejan aktivnošću mikroorganizama kroz gomilu zamenjuje svež vazduh iz okoline. Ovim se postiže obogaćivanje centra kompostne gomile svežim vazduhom. Kiseonik je najpotrebniji na početku procesa kompostiranja, u prvih nekoliko nedelja. Treba napomenuti da protok vazduha kroz gomilu zavisi i od poroznosti i od vlažnosti samog materijala. Što se više meša kompostna gomila, veći je stepen aeracije, odnosno mikrobiološka aktivnost, što rezultira bržim kompostiranjem (Marjanović i sar., 2008).

5.2.1.3. Poroznost

Poroznost predstavlja prostor između čestica u kompostnoj gomili. Ovi prostori su ispunjeni vazduhom koji daje kiseonik razlagačima. Poroznost zavisi od vlage odnosno od stepena zasićenosti kompostne gomile vodom. Ako materijal nije zasićen vodom, u prostoru ima vazduha, dok ako dođe do zasićenosti gomile vodom, smanjuje se prostor za vazduh i samim tim dolazi do usporavanja procesa kompostiranja (Marjanović i sar., 2008).

5.2.1.4. Sadržaj vlage

Uloga vlage u kompostnoj gomili je veoma bitna pre svega za metabolizam mikroorganizama, a pored toga indirektno utiče na protok vazduha kroz materijal. Optimalni sadržaj vlage u kompostnoj gomili je od 40 - 60%.

Obično je sadržaj vlage od 60% u početnom materijalu zadovoljavajući. Da bi se izbegla inhibicija procesa mora se voditi računa da sadržaj vlage ne bude ispod 35 - 40%. Nizak procenat vlage dovodi do rane dehidracije mase koja zaustavlja biološke procese, čime se dobija fizički stabilan, ali biološki nestabilan kompost. Prekomerna količina vlage ima tendenciju da začepi pore i sprečava razmenu gasova čime se favorizuju anaerobni procesi, što dovodi do sporijeg procesa i niskog kvaliteta finalnog proizvoda. Potrebno je održavati ravnotežu između potreba za vodom i razmenom gasova. U savremenim sistemima za kompostiranje, moguće je dodavati vodu tokom procesa kompostiranja (Mihajlović, 2015).

Bakterijska aktivnost se usporava ako se sadržaj vlage smanji na ispod 40%, a potpuni prekid aktivnosti je ispod 15%. U slučaju da sadržaj vlage pređe 60%, dolazi do usporavanja procesa razlaganja jer se pri ovoj količini vlage u kompostnoj gomili smanjuje zapremina vazduha, stvaraju se neprijatni mirisi i dolazi do ispiranja hranljivih elemenata. Kada se ovo dogodi, gomilu je potrebno mešati čime se postiže normalizacija cirkulacije vazduha i kompostni materijal postaje rastresitiji. Takođe, može se dodavati suvi materijal koji će smanjiti problem prevelike količine vlage. U slučaju suve kompostne gomile, potrebno je dodavati vodu uz povremeno mešanje (Marjanović i sar., 2008).

5.2.1.5. Temperatura

Toplota prati aktivnost mikroorganizama pri razlaganju organskog materijala, odnosno sa većom aktivnošću mikroorganizama, i temperatura kompostne gomile je veća. Takođe, temperatura je upravo srazmerna potrošnji kiseonika; što je temperatura viša to je i potrošnja kiseonika veća i samim tim brži proces kompostiranja. Povećanje temperature u kompostnoj gomili se može primetiti već posle nekoliko sati i to je rezultat mikrobiološke aktivnosti (Marjanović i sar., 2008). Optimalna temperatura kompostne gomile za brži proces kompostiranja je između 32 i 60°C. Pri temperaturama višim od 60°C dolazi do redukcije aktivnosti mnogih korisnih organizama. Posle nekoliko nedelja visokih temperatura, dolazi do smanjenja temperature do 38°C, da bi se na kraju izjednačila sa temperaturom vazduha okoline.

Previsoke temperature iznad 70°C inhibiraju rast većine prisutnih mikroorganizama, što usporava razgradnju organske materije. Samo nekoliko vrsta pokazuje metaboličku aktivnost na temperaturi iznad 70°C: termofilne sporogene bakterije *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium* spp., i aerobne, asporogene, Gram-negativne bakterije roda *Thermus* (de Bertoldi et al., 1983).

Može se zaključiti da je za brzo kompostiranje neophodno izbeći dugotrajno održavanje visoke temperature. Početna termofilna faza može da bude korisna za uklanjanje termosenzitivnih patogena, ali je nakon toga poželjno sniziti temperaturu kako bi se omogućio razvoj

mikroorganizama koji imaju glavnu ulogu u formiranju željenog komposta, kao što su eumicete i aktinomicete. Optimalne temperature se kreću između 45°C i 55°C. Temperatura se reguliše primenom ventilacije. Osnovna prednost ventilacije je što uzrokuje evaporativno hlađenje u najbolje izolovanom delu gomile i odnosi toplotu u spoljašnje slojeve. Temperatura se može kontrolisati i pomoću senzora smeštenih u gomili. Ventilacija u kombinaciji sa kontrolom pomoću senzora je sistem kojim se temperatura najbolje kontroliše i koji obezbeđuje kontinualnost procesa razgradnje, olakšava uklanjanje vode i omogućava predviđanje brzine kompostiranja (de Bertoldi et al., 1983).

U zavisnosti od visine temperature, postoje dva glavna načina kompostiranja: hladno (poznato i kao pasivno kompostiranje) i toplo (koje se naziva i aktivno kompostiranje).

Hladno kompostiranje

Hladno kompostiranje je uobičajena metoda za kompostiranje kuhinjskog i baštenskog otpada. Hladno kompostiranje sporo razgrađuje organsku materiju, ali zahteva najmanje truda i održavanja. Nije potrebno brinuti o odnosu sastojaka komposta, već samo obavljati redovno provetravanje i praćenje nivoa vlage. Hladno kompostiranje je najbolji proces ukoliko postoji mala količina organskog otpada za kompostiranje (Xie et al., 2021). Otpad se može postepeno dodavati u kantu za kompost ili na gomilu i meša se svakih nekoliko nedelja. Proces razlaganja traje od 6 do 12 meseci, mada može proći i do dve godine pre nego što se dobije upotrebljiv kompost. Osim toga, tokom procesa hladnog kompostiranja najverovatnije se neće dostići dovoljno visoke temperature neophodne za ubijanje patogena. Iz tog razloga, u zavisnosti od prirode i porekla polaznih sirovina, mogu postojati neke štetne patogene bakterije, gljivice, protozoe, crvi i drugi paraziti, kao i semena korova u gotovom proizvodu. Hladni proces kompostiranja je prvenstveno anaeroban, što znači da otpadne materije razgrađuju mikroorganizmi koji napreduju u okruženju bez kiseonika. Osim što se sporije razlažu, hladne gomile mogu biti neprijatnog mirisa ili vlažnije u odnosu na vruće gomile.

Toplo kompostiranje

Toplo kompostiranje je brži, ali bolje vođen proces kompostiranja. Ova metoda zahteva da se sadržaji ugljenika i azota drže u optimalnom odnosu za razlaganje organskog otpada. Takođe, potreban je pravi balans vazduha i vode da bi se privukli organizmi koji napreduju u okruženju bogatom kiseonikom. Gomila se mora redovno okretati da bi se uneo vazduh, sprečilo preveliko zagrevanje (zbog korisnih mikroorganizama) i da se materijali mešaju tako da se sve razloži sličnom brzinom (U.S. Environmental Protection Agency - EPA, 2024). Svi sastojci se dodaju odjednom i kao rezultat toga dolazi do mnogo bržeg rasta bakterija i gljivica koje razlažu organsku materiju u gomili. Ovo čini gomilu vrućom - centar može da se zagreje i do 70°C. Ako se pravilno upravlja procesom, visoka temperatura gomile uništiće većinu korova, biljnih bolesti, pesticida i herbicida, kao i sve larve ili jaja buba. Gotov kompost se može dobiti za kraće vreme, i do 18 dana. Kod hladnog kompostiranja ugljenik i azot se gube u vazduhu, što znači da će gotov proizvod biti samo 20% prvobitne zapremine, dok kod toplog kompostiranja zapremina ostaje ista.

5.2.1.6. pH vrednost otpadnog materijala

Uglavnom se sve organske materije koje imaju pH vrednost u opsegu od 3 do 11 mogu kompostirati. Međutim, optimalan opseg pH je između 5,5 i 8,0. Bakterijama odgovara neutralna pH vrednost, dok se gljivice razvijaju bolje u blago kiselom okruženju (Mihajlović, 2015).

Optimalna pH vrednost za mikrobiološku aktivnost je između 6,0 i 7,0, što je uobičajena vrednost za uspevanje većine biljaka (Dewangan et al., 2023). Proces kompostiranja se može efikasno sprovoditi i pri različitim pH vrednostima, a da se pri tome ne ugrozi proces.

Tokom procesa kompostiranja dolazi do fizičkih promena u materijalu ali i u pH vrednosti. Tokom procesa kada dođe do oslobađanja organskih kiselina snižava se pH a time i povećava kiselost, dok proizvodnja amonijaka iz azotnih jedinjenja može da poveća pH vrednost. Bez obzira na merenja pH vrednosti u početnom materijalu, kompostiranjem će krajnji proizvod uvek biti sa stabilnom pH vrednošću, koja će obično biti neutralna (Marjanović i sar., 2008).

5.2.1.7. Odnos ugljenika prema azotu (C/N)

Sastavni delovi organskog otpada koji mogu lako da poremete proces kompostiranja ako se nalaze u nedovoljnim ili prekomernim količinama su ugljenik i azot. Ugljenik mikroorganizmi koriste kao energetski izvor, a azot koriste za sintezu proteina. Odnos C/N treba približno da bude 30:1. Da bi se proces bio efikasan, raspon odnosa C/N treba da bude unutar 25:1 do 40:1. Dobri izvori ugljenika su ostaci iz četinarskih šuma, strugotina i slama, a jeftini izvori ugljenika su gradski otpad, hartija i kutije. Stajnjaci su dobri izvori azota. U Tabelama 1 i 2 prikazan je C/N odnos za materijale koji se često nalaze na kompostnim gomilama na farmama.

Tabela 1. C/N odnos za neke materijale (Marjanović i sar., 2008)

Materijali	Odnos C/N
Kokošiji stajnjak sa prostirkom	13 - 18:1
Otpad iz domaćinstva	12 - 20:1
Svinjski stajnjak čvrsti deo	15 - 25:1
Govedi stajnjak	20:1
Strugotina i drveni iver	100 - 500:1
Hartija	150 - 200:1
Slama	40 - 100:1
Zeleni otpad	30 - 80:1
Tresetna mahovina	18 - 36:1
Konjski stajnjak	30 - 60:1

Tabela 2. Približna koncentracija azota (N) i C/N odnos materijala za kompostiranje (Marjanović i sar., 2008)

Materijal	% azota (na SM)	C/N odnos
Pokošena trava	2,15	20
Lišće	0,5 - 1,0	40 - 80
Strugotina	0,11	511
Drvo (borovina)	0,07	723
Voćni otpad	1,25	35
Papir	0,25	170
Domaćinstvo otpaci	-	15
Stajnjak	1,0	20

Mikroorganizmi mogu da razlože kompostni materijal veoma brzo ako je odnos C/N 30:1. Ukoliko je C/N visok, razlaganje se obavlja sporo, a kada je odnos C/N nizak, azot se gubi u atmosferi u formi amonijačnog gasa i to dovodi do problema sa neprijatnim mirisom kompostne gomile.

Zeleni materijali, kao što su lišće i stajnjak, imaju relativno visoke procenete azota, dok osušeni materijali kao na primer drveni otpadni materijal ima visok sadržaj ugljenika ali vrlo malo azota.

Pravilno mešanje materijala kako bi se dobio idealni odnos C/N, zapravo predstavlja važan faktor kompostiranja. Na primer, materijali visokog sadržaja azota (stajnjak) se mešaju sa materijalom visokog sadržaja ugljenika (strugotina ili papir) (Marjanović i sar., 2008).

5.3. Priprema komposta

Kompost treba da bude smešten u senci i zaklonjen od vetra, jer na suncu se organski otpaci brzo suše, a bakterije koje učestvuju u kompostiranju brzo uginu i organska masa ostaje dugo nepromenjena. Organski materijali koji se koriste za kompostiranje moraju biti zdravi, jer se izazivači nekih bolesti kompostiranjem ne uništavaju. Samim tim, ukoliko se ne koristi zdrav organski materijal, kompost može biti i izvor širenja bolesti, korova i štetočina. Kompostiranje se može obaviti u gomili koja se pravi na površini zemljišta bez okvira ili sa okvirom od žice (u obliku korpe), daske, pruća ili u jami. Najčešće je visina kompostnih gomila oko 150 - 180 cm, širina pri dnu 150 cm, a dužina proizvoljna. Kod dugačkih gomila se na svakih 150 cm ostavlja otvor za ventilaciju.

Nakon 6-12 meseci od početka kompostiranja dobija se kompost koji je homogen, mrvičast, lak i tamnosmeđe boje. Za brže kompostiranje (4 - 6 nedelja) gomile treba da su niže (50 cm), a organski otpaci iseckani. U cilju bržeg i kvalitetnijeg kompostiranja, organski ostaci se dodaje

iseckana kopriva, preslica, kameno brašno ili odgovarajući biološki preparati (na bazi silicijuma, kravlje balege, kamilice, hrastove kore, maslačka, valerijane). U organskoj proizvodnji se u kompost mogu dodati i gliste koje će ubrzati proces mineralizacije organskih materija i time se dobija glistenjak - vermikompost (Jovičić i sar., 2009).

5.3.1. Proces aerobnog kompostiranja

Proces aerobnog kompostiranja obično uključuje sledeća tri osnovna koraka:

- prethodnu obradu (npr. usitnjavanje, prosejavanje itd.),
- dekompoziciju i stabilizaciju organskih materijala,
- završnu obradu (npr. mlevenje, filtriranje, stavljanje u džakove i plasman komposta).

Stvaranju komposta od mešanog čvrstog otpada trebalo bi da prethodi proces reciklaže i razdvajanja otpada, uključujući uklanjanje stakla, plastike i metala, a zatim sledi usitnjavanje sečenjem ili mlevenjem. Industrijski i drugi opasan otpad se mora ukloniti iz kompostnih gomila.

Ključni problemi u spovođenju procesa kompostiranja odnose se na: generisanje neprijatnog mirisa, prisustvo patogena, prisustvo toksičnih elemenata, kao i definisanje prihvatljivosti komposta za primenu u biljnoj proizvodnji.

Proizvodnja neprijatnog mirisa može biti problem, ako ne postoji kontrola procesa kompostiranja (naročito u procesu stvaranja komposta u dugačkim vrstama). Zato su izbor položaja postrojenja i kontrolisanje procesa od suštinske važnosti.

Nivo prisustva ostataka toksičnih pesticida, toksičnih elemenata i patogena bi trebalo precizno proceniti i proračunati, da bi se obezbedila potpuna usaglašenost kvaliteta komposta sa planiranom upotrebom. U svrhu smanjenja patogena, temperatura mešavine se mora održavati na 55°C (ili više) najmanje tri uzastopna dana (Jovičić i sar., 2009).

5.3.2. Faze kompostiranja

Tehnologija kompostiranja najčešće podrazumeva nekoliko sledećih faza:

- Priprema sirovine
- Proces kompostiranja
- Sazrevanje komposta

Priprema sirovine obično podrazumeva usitnjavanje kako bi se poboljšala mikrobiološka aktivnost i izdvajanje inertnih materijala (staklo, plastika, metali, itd.). Priprema organske frakcije otpada predviđene za kompostiranje se može sprovesti na dva načina:

- Mehanički - podrazumeva usitnjavanje, koju prati separacija inertnih materijala pomoću sita, magnetnom separacijom, ili nekom drugom operacijom.

- Biološki i mehanički - U kombinovanom procesu, otpad se mehanički tretira kao i u prethodnom načinu, a potom se prenosi u biološki reaktor na period od 1 do 3 dana.

Nakon pripreme sirovine vrši se proces kompostiranja. U toku procesa prisutni mikroorganizmi aktivno razlažu otpad. U ovoj fazi dolazi do najintenzivnijih fizičkih i hemijskih promena otpada.

Proces kompostiranja se može podeliti na nekoliko faza:

- Mezofilna faza - predstavlja početnu fazu kada bakterije i gljive razlažu velike količine visoko energetskih, lako razgradivih jedinjenja poput šećera i proteina na temperaturama od 24 - 40°C.

- Termofilna faza - Organizmi adaptirani na više temperature, od 35 do 65°C počinju postepeno da dominiraju, razgradnja se ubrzava sve dok temperatura ne dostigne oko 62°C. U ovoj fazi se uništavaju patogeni organizmi, inhibiraju se semena korova i larve insekata. Pri temperaturama većim od 70°C dolazi do inaktivacije većine mezofila, a time izostaje i oporavak tih populacija nakon hlađenja.

- Faza hlađenja (druga mezofilna faza) - U ovoj fazi aktivnost termofilnih organizama prestaje zbog nedostatka supstrata i temperatura počinje da opada. Za ovu fazu je karakteristično povećanje broja mikroorganizama koji degradiraju skrob i celulozu.

Na kraju dolazi faza sazrevanja komposta. Obično se broj gljiva povećava, dok broj bakterija opada. Formiraju se jedinjenja koja nisu dalje razgradiva kao što je kompleks lignin - humus (Mihajlović, 2015).

5.3.3. Mikroorganizmi u procesu kompostiranja

Mikroorganizmi koji se nalaze u kompostu su uglavnom korisni; međutim, neki su potencijalno štetni za ljude, životinje, biljke i životnu sredinu (Fuchs, 2010). Štetni mikroorganizmi se uglavnom unose kroz supstrate koji podležu kompostiranju. Ulazni supstrati, veličina kompostne gomile, frekvencija rotacije, veličina čestica, aeracija, i vlaženje direktno utiču na mikrobne procese (Fuchs, 2010).

Bakterije učestvuju u biorazgradnji i tim putem proizvode ugljen-dioksid i toplotu u vidu energije (Insam and de Bertoldi, 2007). Bakterije obezbeđuju najbrže i najefikasnije kompostiranje (Abu-Bakar and Ibrahim, 2013). Postoje različite vrste fizioloških grupa bakterija u kompostnim gomilama, kao što su psihrofili, mezofili, ali preovlađuju termofili (Lee, 2016). U poređenju sa drugim bakterijama, psihofilne bakterije proizvode malu količinu energije i najaktivnije su na temperaturi od 13°C. Mezofilne bakterije najaktivnije su na temperaturi od 21 - 32°C i njihova uloga je slična psihofilnim bakterijama. Kada se temperatura kompostne gomile poveća iznad 45°C, glavnu ulogu preuzimaju termofilne bakterije koje nastavljaju proces biorazgrađivanja u kompostu (Lee, 2016). Za rod *Bacillus*, najoptimalnija temperatura je u opsegu od 50 - 65°C, a na temperaturama iznad 65°C dominira *B. stearothermophilus* (Insam and de Bertoldi, 2007).

Aktinomicete preferiraju neutralnu ili blago alkalnu pH vrednost komposta i učestvuju u razgradnji teže razgradivih supstrata. Većina aktinomiceta najbolje uspeva kada je gomila komposta dovoljno vlažna i dovoljno snabdevena kiseonikom (Insam and de Bertoldi, 2007). Aktinomicete mogu razgraditi otporne materijale kao što su skrob i proteini dok oslobađaju ugljenik, azot i

amonijak koji stvara miris komposta na zemljište (Shukla et al., 2014). Aktinomicete mogu da obrazuju višecelijske niti kao što su paukove mreže i imaju enzime koji pomažu u razgradnji celuloze, lignina, hitina, proteina, drvenastih stabljika i kore drveta.

Predstavnici grupe *Thermus/Deinococcus* rastu na organskim materijalima na temperaturama od 40 - 80°C, dok im je optimalna temperatura za rast između 65 i 75°C. Vrste *Thermus* su nekada bile prisutne samo u geotermalnim nalazištima i verovatno prilagođene sistemu toplog komposta i igraju glavnu ulogu u završnoj fazi zagrevanja kompostne gomile (Beffa et al., 1996). Mnoge autotrofne bakterije su takođe izolovane iz komposta kao što je soj *Hidrogenobacter* koji je nekada takođe bio poznat samo u geotermalnim lokalitetima (Insam and de Bertoldi, 2007).

Gljive dobijaju hranljive materije iz mrtve biljne materije, zbog čega razgrađuju ostatke u kompostu (Lee, 2016). Formiraju hife sa kojima prodiru u materijale u kompostu i tako razlažu teže razgradive supstance kao što su lignin, hemiceluloza i celuloza (Nutongkaew et al., 2014). Gljive mogu da razgrade suve i kisele ostatke i ostatke sa niskim sadržajem azota koji su otporni na delovanje bakterija. Složene polimere kao što su poliaromatična jedinjenja ili plastika takođe degradiraju gljive (Lee, 2016).

Mikroorganizmi na početku procesa kompostiranja

Na početku procesa kompostiranja bakterije su najbrojnije, a gljive i aktinomicete su takođe važni članovi mikrobne zajednice. Na sastav mikrobne zajednice u kompostnoj gomili utiču polazni materijali (Klammer et al., 2008). Svi mikroorganizmi prisutni u kompostu nalaze se u normalnom prirodnom okruženju (Fuchs, 2010). Ulazne komponente kompostne gomile su često heterogene, kao i početne mikrobne zajednice. Otpad od hrane koji sadrži biljne ostatke ima nisku početnu pH vrednost, zbog čega su gljive i kvasci prisutni u velikom broju, a rast bakterija je usporen (Ryckeboer et al., 2003). Gram-negativne proteobakterije su pronađene prvenstveno na uzorcima komposta koji sadrže lišće i travu (Michel et al., 2002). Malo mezofilnih gljiva i veliki broj termofilnih bakterija i gljiva su pronađeni u kućnom otpadu (Rickeboer et al., 2003).

Prisustvo štetnih organizama prvenstveno zavisi od ulaznih komponenti kompostnih smeša. Životinjski otpad od stajnjaka i hrane sadrži značajne količine potencijalnih ljudskih i životinjskih patogena kao što su *Salmonella* sp., *Escherichia coli* i *Listeria* sp. (Heinonen Tanski et al., 2006; Wichuk and McCartney, 2007; Greval et al., 2007). Biljni ostaci takođe mogu sadržati različite biljne patogene. Ubrzo nakon početka procesa kompostiranja, mikrobna populacija se drastično menja i ubrzo više ne liči na početnu populaciju (Fuchs, 2010).

Sukcesija mikroorganizama tokom procesa kompostiranja

Ubrzo nakon početka procesa kompostiranja, mikrobiološka biomasa drastično raste (Fuchs, 2010). Tokom prvog dana kompostiranja, Klammer i Baath (1998) su zabeležili šestostruko povećanje mikrobiološke mase u kompostiranju usitnjene slame uz dodatak kaše. Fizička i hemijska svojstva kompostne mase se vremenom menjaju, a mikroorganizmi razgrađuju prvobitni supstrat i proizvode metabolite i stvaraju novo fizičko-hemijsko okruženje (Rickeboer et al., 2003). Jedan od glavnih faktora koji utiču na mikrobnu populaciju u procesu kompostiranja je koncentracija i sastav rastvorene organske materije (Fuchs, 2010). Glavne komponente organske materije kompostnih mešavina su proteini, ugljeni hidrati, lipidi i lignin, a mikroorganizmi proizvode različite enzime potrebne za razgradnju različitih sirovina (Rickeboer et al., 2003). U procesu razgradnje, bakterije dominiraju u mikrobnim zajednicama, a tokom ove faze u kompostnoj mešavini su obično dostupne velike količine ugljenih hidrata (Fuchs, 2010). Količina azota zavisi od ulaznih sirovina, i optimalni odnos C/N za aktivaciju mikrobnih zajednica je 25 - 40:1. Aktivnost mikrobnih zajednica izaziva povećanje temperature komposta i dolazi do termofilne faze. U ovoj fazi javlja se najveći broj mikroba i najintenzivnija je enzimska aktivnost (Cunha-Queda et al., 2007). Kako se temperatura

mešavine komposta povećava, dolazi do značajnih promena u mikrobnoj zajednici, što je važno za samosterilizaciju komposta, odnosno uništavanje štetnih mikroorganizama (Fuchs, 2010).

Na različitim mestima u kompostnoj gomili detektovane su različite mikrobne zajednice, što je povezano sa različitim temperaturama kompostnih gomila (Guo et al., 2007). Populacija gram-negativnih bakterija i gljiva se povećavala do temperature od 50°C, ali se smanjila na višim temperaturama. Nakon hlađenja, populacija ove dve grupe mikroorganizama se ponovo uvećala (Rickeboer et al., 2003). Tokom faze zrenja komposta, broj bakterija se smanjuje, ali se povećava njihova raznovrsnost. Istovremeno, populacija gljiva se povećava u brojnosti i raznovrsnosti (Rickeboer et al., 2003). Fuchs (2010) smatra aktivnost gljiva važnom u fazi zrenja komposta.

5.4. Održavanje kompostne gomile

Kompostna gomila treba da se meša s vremena na vreme kako bi se sprečilo stvaranje neprijatnog mirisa i ubrzalo razlaganje. Na taj način se larve insekata i patogeni organizmi izlažu visokim temperaturama koja je unutar gomile. Tokom razlaganja, odnosno delovanjem mikrobne aktivnosti, sredina kompostne gomile dostiže temperaturu do 70°C. U slučaju da se gomila ne zagreje dovoljno, to znači da nema dovoljno azota ili kiseonika, ili je isuviše vlažna ili suva. Gomila se meša kada središnji deo nije previše vruć, čime se povećava priliv vazduha i nerazloženi deo materijala se premešta u centralni deo gde se ponovo zagreva. Prilikom prevrtanja gomile poželjno je dodavati sveži materijal za kompostiranje, kao što su ostaci iz domaćinstva. Proces kompostiranja je završen kada prevrtanje više ne stvara toplotu u gomili.

Ukoliko se pravilno vodi postupak kompostiranja, kompost se može dobiti u roku od 2 do 4 meseca. Naravno, prvi uslov je da je ambijentalna temperatura dovoljno visoka, i da su polazne čestice otpada usitnjene na veličinu 3 - 5 cm.

Kompost koji se dobije kao finalni proizvod će biti od 1/2 do 1/3 manje mase u odnosu na početnu i imaće miris zemljišta (Marjanović et al., 2008). Razgradnja organske materije tokom kompostiranja zavisi od sastava sirovine, efikasnosti tehnologije, i dužine perioda kompostiranja. Prilikom tipičnog procesa kompostiranja, hrana u otpadu se degradira više od 60%, biorazgradivi otpad i otpad iz dvorišta oko 50%, a lignocelulozni biljni materijal od 35 – 45% (Mihajlović, 2015).

5.5. Prednosti procesa kompostiranja

Proces kompostiranja, u okviru upravljanja organskim otpadom, ima višestruki značaj kako sa ekološkog tako i sa ekonomskog stanovišta (Jovičić i sar., 2009):

- Kompostiranje podrazumeva jednostavnu tehnologiju sa niskim operativnim troškovima;
- Kompostiranje nosi mali rizik po životnu sredinu - pod uslovom da je otpad bez toksičnih elemenata i opasnih organskih materija;
- Primena ne predstavlja rizik zbog generisanja novih hemikalija koje su opasne po životnu sredinu, kao što je slučaj pri sagorevanju organskog otpada;
- Kompost poboljšava plodnost poljoprivrednih zemljišta i doprinosi rekultivaciji oštećenih;
- Kompost se takođe koristi i u bioremedijaciji kontaminiranih zemljišta;

- Kompostiranjem se postiže i sanitarni efekat. Termofilni uslovi i toplota nastala biološkim putem doprinose nastanku proizvoda u kome je redukovan broj patogenih organizama i štetnih insekata, larvi crevnih parazita i korova, kao i smanjenju bioraspoložive energije;
- Kompostiranje značajno smanjuje zapreminu organskog otpada, što je pozitivno sa aspekta očuvanja životne sredine ali i manipulacije istim. Različite vrste otpada, kao što su otpaci iz domaćinstva, poljoprivredni otpad i gradski otpad, sadrže u sebi od 60 - 81% biodegradibilnih komponenti.
- Kompostiranje je prihvaćeno kao značajan proces koji dovodi do redukcije patogena pri tretmanu otpadnog mulja.

5.6. Upotreba komposta

Uloga organskih đubriva, kao što je kompost, znatno se razlikuje od uloge mineralnih đubriva. Dok se mineralna đubriva, kakvo je NPK, koriste za obogaćivanje zemljišta azotom, fosforom i kalijumom, organska su značajna sa aspekta povećanja sadržaja humusa i poboljšanje strukture zemljišta. Da bi mogao da se koristi u poljoprivredi, kompost mora da bude fizički, hemijski i biološki stabilan, da ne bude fitotoksičan i da ima uravnotežen sadržaj minerala. Prisustvo toksičnih elemenata takođe utiče na kvalitet komposta. Kada su prisutni u znatnim koncentracijama, pokazuju negativno dejstvo na normalne fizičke i hemijske procese u zemljištu i na normalne fiziološke procese u biljkama. Veliku opasnost po zdravlje predstavlja i mogućnost ulaska toksičnih elemenata u lanac ishrane. Biorazgradiva frakcija čvrstog komunalnog otpada obično nije izvor zagađenja toksičnim elementima jer su oni normalno prisutni u niskim koncentracijama (de Bertoldi et al., 1983).

Korišćenje komposta za popravljjanje kvaliteta zemljišta

Uticaj komposta na kvalitet zemljišta je veliki. Pre svega, kompost se koristi za popravku fizičkih, hemijskih i bioloških osobina zemljišta. Koristi se i u sprečavanju sabijenosti zemljišta čime se obezbeđuje vazdušni kapacitet, povećava kapacitet zadržavanja vlage peskovitih zemljišta, smanjujući štetni uticaj na biljke tokom sušnih perioda. Ukoliko je zemljište glinovito, kompost utiče na dreniranost i vazdušni kapacitet (Marjanović i sar., 2008).

Svi ovi uticaji na kvalitet zemljišta omogućavaju bolje uslove korenovom sistemu biljaka. Kompost poboljšava sposobnost zemljišta da zadrži i oslobodi hranljive elemente, a pored toga doprinosi poboljšanju klijanja semena i usvajanju vode, što rezultira slabijem stvaranju pokorice na površini zemljišta. Mikroflora komposta sprečava razvoj patogena jer se sa njima "takmiči" za hranljive materije koje luči korenov sistem i time sprečava patogene da se razvijaju i razmnožavaju i na taj način smanjuje mogućnost pojave šteta koje patogeni mikroorganizmi mogu da izazovu (Gharib et al., 2008).

Redovnim dodavanjem komposta će se stvoriti željena struktura zemljišta, čime se poboljšava njegova obradivost. Kompost oplemenjuje zemljište, ali on često ne sadrži dovoljno hranljivih elemenata neophodnih za zemljište. Takođe, korišćenjem komposta se ne mogu očekivati rezultati odmah nakon primene, već tek posle izvesnog vremena. Zbog svega navedenog, preporučuje se da se kompost koristi u kombinaciji sa mineralnim đubrivom (Marjanović i sar., 2008).

5.7. Kompostiranje duvanskog otpada

S obzirom na velike količine proizvedenog i prerađenog duvana u svetu, velike su i količine otpada koje nastaju u pojedinim fazama različitih tehnoloških procesa. Ukupna količina duvanskog otpada (*Nicotiana tabacum* L.) u svetu, u 2005 godini iznosila je više od 1,25 miliona tona (Jun et al., 2010). U Republici Srbiji u okviru 4 fabrike za proizvodnju cigareta i 3 preduzeća za obradu duvana takođe se stvaraju značajne količine organskog otpada (listova ili delova listova koji nisu zadovoljili klasifikaciju prema važećim standardima), pri čemu ne postoje zvanično objavljeni podaci o ukupnim količinama na godišnjem nivou. S obzirom na značajne količine otpada koje nastaju u procesu gajenja, obrade i prerade duvana, osnovni ciljevi istraživanja u oblasti upravljanja duvanskim otpadom su, pre svega, skretanje pažnje javnosti na mogućnost recikliranja ove vrste otpada i dobijanja proizvoda koji imaju upotrebnu vrednost (Radojičić i sar., 2017).

Već od 90-tih godina 20. veka, velike svetske fabrike, koje se bave proizvodnjom duvana u svoje poslovanje uvode CSR (Corporate Social Responsibility) koji podrazumeva smanjeno korišćenje energije i optimizaciju procesa, u cilju što boljeg iskorišćavanja resursa, kako bi se smanjio nastanak otpada. Duvanska industrija je preuzela deo odgovornosti i tako sufinansirala definisanje programa sakupljanja i recikliranja opušaka cigareta kao krajnjeg post-potrošačkog otpada. Osim toga, u proteklim godinama nekoliko najvećih duvanskih industrija počelo je da izveštava o uticaju vlastitih proizvodnih procesa na okolinu, kroz izveštaje o korišćenju proizvodnih resursa i upravljanja otpadom (Preradović Stevanović, 2024).

Kada je u pitanju poljoprivredni duvanski otpad, na samom polju dolazi do odvajanja stabljike, neodgovarajućih (bolesnih i oštećenih) listova i cvasti. Pri otkupu osušenog duvana od proizvođača - fizičkih lica, svi listovi koji ne zadovoljavaju Merila za klasifikaciju duvana JUS.E.P1.110:2004 (Radojičić, 2011) deklarišu se kao otpad. Takođe, otkupljeni listovi duvana u fabrikama podležu hemijskoj analizi, pre ili posle industrijske obrade (Rydraing). Ukoliko rezultati nisu zadovoljavajući sa aspekta upotrebe za izradu duvanskih proizvoda (npr. povećan sadržaj toksičnih elemenata), listovi se deklarišu kao otpad i moraju se uništiti.

Sveobuhvatna definicija duvanskog otpada bi glasila (Radojičić i sar., 2017): Duvanski otpad obuhvata otpad koji zaostaje nakon gajenja, obrade i prerade duvana, ali i nakon konzumiranja duvanskih proizvoda (opušci, omoti, kartoni). Prema katalogu otpada koje je objavilo Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja i Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije (Radojičić et al., 2009), duvan je svrstan u otpad koji nije toksičan, broj 02.03 (otpadi od pripreme i prerade voća, povrća, žitarica, jestivih ulja, kakaoa, kafe, čaja i duvana; proizvodnje konzervisane hrane; prerade duvana; proizvodnje kvasca i ekstrakta kvasca; pripreme i fermentacije melase). Katalog otpada je usklađen sa evropskim Katalogom otpada (European List of Waste/ European Waste Catalog). Iako ovaj otpad nije kategorisan kao opasan, nije kategorisan ni kao inertan te se zbog toga ne može odlagati na deponije bez tretmana (Radojičić et al., 2009). Reciklaža duvanskog otpada, odnosno njegova priprema i ponovno korišćenje je veoma značajna, kako zbog ekonomskih efekata, tako i zbog smanjenja zagađenja, odnosno degradacije kvaliteta životne sredine (Novotny and Zhao, 1999; Okur et al., 2008). U Republici Srbiji uklanjanje i/ili reciklaža duvanskog otpada nije u potpunosti regulisana i uglavnom je prepuštena inicijativi pojedinačnih preduzeća za obradu i preradu duvana.

U Tabeli 3 prikazane su procenjene količine duvanskog otpada i njegova vrednost u nekim državama sveta.

Tabela 3. Procenjene količine otpada od duvanskih proizvoda (Lam et al., 2022)

Država	Procenjeni otpad duvanskih proizvoda u odnosu na ukupni otpad (%)	Procenjena vrednost duvanskih otpadnih proizvoda (US\$)
Brazil	13,43	177.725.562
Kina	24,66	2.292.981.931
Nemačka	23,08	205.850.882
Indija	8,39	671.576.259
Jordan	36,51	50.040.275
Južna Afrika	21,30	102.725.410

Duvan se uglavnom proizvodi u privredno nerazvijenim područjima, zbog više faktora od kojih su dva ključna: obilno angažovanje radne snage i ekonomski faktori. Osim toga, i globalna politika koja se ogleda u borbi protiv pušenja poslednjih nekoliko decenija dovela je do izmeštanja proizvodnje duvana sve više iz razvijenih zemalja u zemlje koje su u razvoju. Stoga se najveća količina otpada iz proizvodnje, otkupa i obrade duvana stvara (ili generiše) upravo u zemljama u razvoju, gde se ubraja i Srbija.

Čvrsti duvanski otpad klasifikuje se kao agroindustrijski otpad koji nastaje u različitim fazama prerade duvana nakon žetve i tokom proizvodnje duvanskih proizvoda. Odlaganje ovog otpadnog materijala predstavlja ozbiljan problem, zbog visokog sadržaja nikotina. Shodno ovome, odlaganje se mora kontrolisati kako bi se izbegli štetni uticaji na životnu sredinu. Duvanske kompanije moraju da plate njegovo odlaganje, a većina otpada se uništava spaljivanjem (Buntić et al., 2019). Duvanska industrija bi trebalo da poseduje prostor za odlaganje opasnog otpada. Međutim, iz razloga što se najviše duvana proizvodi u zemljama u razvoju, ova mera se u najvećem broju zemalja ne poštuje (Zhou et al., 2020). Korišćenje duvanskog otpada ima veliki ekološki i ekonomski potencijal jer je izvor bioaktivnih jedinjenja (Buntić et al., 2019). Dobra strana je to što otpad duvana sadrži alkaloidne, proteine, aminokiseline, šećere i druge supstance. Sve te komponente mogu, odgovarajućim tehnikama i metodama, da se izdvoje iz otpada i iskoriste (Zhang et al., 2018). U duvanski otpad ubrajaju se stabljika, koren, listovi i strips (komadići listova) niskog kvaliteta (Zou et al., 2021). Odbačeni listovi duvana, čiji je prinos veliki, vredni su prirodni resursi za proizvodnju lekova i hrane (Su-Xi, 2006). Važno je napomenuti da se neiskorišćeni listovi i stabljike duvana moraju ukloniti sa polja nakon berbe kako bi se sprečio razvoj različitih bolesti biljke duvana (Muvhiiwa et al., 2021).

Bez obzira na činjenicu da duvanski otpad ima visok sadržaj organske materije, njegovo korišćenje je ograničeno zbog sadržaja nikotina, koji je iznad granica propisanih Direktivom EU. Prema Direktivi EU sadržaj nikotina preko 500 mg/kg deklariše ovaj otpad u kategoriju opasnog otpada (Civilini et al, 1997). Iz tog razloga duvanski otpad se ne može odlagati zajedno sa urbanim otpadom, jer predstavlja rizik za zagađenje životne sredine, vode, vazduha i zemljišta. Mora se uništiti pod posebnim uslovima, što ekonomski opterećuje proizvođače i prerađivače duvana (Radojičić et al., 2008; 2009).

Nikotin (3-(1-metil-2-pirolidinil)piridin) je heterociklično jedinjenje sa piridinskim i pirolidinskim prstenovima i predstavlja najvažnije toksično jedinjenje u listovima duvana, duvanskom dimu i duvanskom otpadu (Armstrong et al., 1998). Nikotin je stimulant centralnog nervnog sistema, zbog čega se ubraja u jedinjenja koja stvaraju zavisnost. Ovo jedinjenje može da

izazove i kancer pluća i oboljenje arterija, stvarajući nepovratne štete ljudskom telu. Svake godine proizvodi se duvan sa velikom količinom nikotina, koji ne utiče samo na ukus duvanskih proizvoda, već povećava i njihovu toksičnost (Hawkins et al., 2004; Thorgeirsson et al., 2008). Zbog toga je redukcija sadržaja nikotina veoma značajna za ljudsko zdravlje i zaštitu životne sredine (Li et al., 2024).

Nikotin čini oko 0,6 - 3,0% suve mase duvana (Novotny and Slaughter, 2014). Ovo jedinjenje je korišćeno kao biljni pesticid još od 15. veka (National Cancer Institute, 1998) a popularnost u SAD-u je stekao sredinom 20. veka (Rodgman and Perfetti, 2013). Nikotin ispoljava akutnu toksičnost za životinje i ljude (Brčić Karačonji, 2005; Novotny et al., 2011). Prosečan sadržaj nikotina u cigaretama iznosi 1,0 - 2,3 mg (Benowitz and Jacob, 1984; Benowitz et al., 1991); kao što je već rečeno, u malim koncentracijama nikotin deluje kao stimulans i glavni je faktor zavisnosti ljudi od pušenja. Između 1998. i 2005. godine, sadržaj nikotina u cigaretama je povećan za 1,6% (Connolly et al., 2007). Međutim, osim nikotina, u duvanu su prisutni i poliaromatični ugljovodonici, različiti kancerogeni nitrozamini, amonijak, acetaldehid, formaldehid, fenol, piridini, aceton, toksični elementi i druga toksična jedinjenja (Moerman and Potts, 2011; Slaughter et al., 2011).

Na osnovu istraživanja koja su vršena u ovoj oblasti utvrđeno je da je duvanski otpad moguće višestruko koristiti. Za oslobađanje duvanskog otpada od toksičnih elemenata, pre svega nikotina, proces kompostiranja predstavlja optimalno rešenje. Čist duvanski otpad ima štetan uticaj na mikrobiološku aktivnost u zemljištu, ali ovako dobijeni komposti je stimulišu, pre svega zbog značajnog sadržaja oligoelemenata.

Radojičić et al. (2008) ispitivali su mogućnosti gajenja gljiva na kompostu pripremljenom od duvanskih otpadaka. Ustanovili su da je moguće izvršiti mikrobiološku razgradnju nikotina u duvanskom otpadu i tako ga pretvoriti u relativno neutralan biljni materijal sličan svakom drugom biljnom otpadu. Kao takav može se uspešno koristiti za proizvodnju komposta i kao supstrat za gajenje gljiva.

Briški et al. (2003) su vršili aerobni proces kompostiranja u kom su korišćene bakterije koje za svoju ishranu koriste toksične komponente duvanskog otpada. Nakon 17 dana, zapremina i masa čvrstog otpada smanjena je za oko 50% a iz mase je uklonjeno 95% nikotina. Eksperiment je sproveden u zatvorenim, toplotno izolovanim kolonama reaktora u adijabatskim uslovima. Tokom procesa su pratili sledeće parametre: promenu temperature u reaktoru i proizvodnju CO₂. Bakterije su tokom svog razmnožavanja i ishrane podizale temperaturu u bioreaktoru i proizvodile CO₂.

Prednost zatvorenog reaktora nad otvorenim sistemom je u činjenici da se stabilizacija organskog otpada postiže u kraćem vremenskom periodu. Takođe, izdvajanje CO₂ i neugodni mirisi, tokom kompostiranja, lakše se kontrolišu (Briški et al., 2003).

U eksperimentu koji je obavljen u Južnoj Africi ispitivane su promene koje su se odvijale tokom kompostiranja duvanskog čvrstog otpada, zajedno sa drugim vrstama organskog otpada (Adediran et al., 2004).

Mešanjem duvanskog otpada sa drugim organskim otpadom sadržaj nikotina je smanjen sa 12.180 mg/kg na 4.872 mg/kg, dok je proces kompostiranja dodatno smanjio sadržaj nikotina na manje od 160 mg/kg. Na osnovu rezultata eksperimenta, utvrđeno je da su svi dobijeni komposti bili pogodni za upotrebu u hortikulturi.

U eksperimentu turskih naučnika u Izmiru 2006. godine, na zemljištu na kojem je uzgajana jedna vrsta salate, primenjen je kompost dobijen od duvanskog otpada i stajskog đubriva u različitim razmerama, radi ispitivanja uticaja ovakve vrste organskog đubriva na biološke osobine

zemljišta i rast salate (Okur et al., 2008). U ovom istraživanju, dobijen je značajno veći sadržaj organskog ugljenika, ukupnog azota, intenziteta respiracije zemljišta, dehidrogenazne, ureazne i fosfatazne aktivnosti primenom komposta dobijenog od duvanskog otpada u poređenju sa kontrolom. Primena navedenog komposta uticala je na povećanje mikrobne biomase ugljenika, kao i na značajno povećanje prinosa salate. Autori zaključuju da primena komposta dobijenog od duvanskog otpada predstavlja alternativu drugim organskim oplemenjivačima i da može da poboljša hemijske i biološke parametre kvaliteta zemljišta, kao i prinos useva, posebno u zemljama Mediterana, gde je sadržaj organske materije u zemljištu nizak.

Briški et al. (2012) su vršili kompostiranje duvanskog otpada u zatvorenom reaktorskom sistemu uz dodavanje bakterije *Pseudomonas aeruginosa*. Utvrdili su da kompostiranje u zatvorenom reaktorskom sistemu dovodi do uspešnog uklanjanja toksina iz duvanskog otpada. Brza degradacija je detektovana nakon 14 dana, kada je temperatura u kompostnoj masi počela da opada.

Kučić and Briški (2017) su zaključili da je mešanje duvanskog sa otpadom grožđa u laboratorijskom kolonskom reaktoru dalo bolje rezultate nego sam kompostirani duvanski otpad. Značaj ovih istraživanja se ogleda u smanjenju emisije CO₂ i NH₃, čime je duvanski otpad transformisan u prihvatljive proizvode degradacije.

Mandić et al. (2016) su vršili eksperiment u zatvorenom prostoru, u zimskim uslovima, bez kontrole temperature i vlage. Duvanski otpad je mešan sa kupusom, zemljom i lišćem u različitim odnosima. Na kraju procesa kompostiranja dobijeni rezultati za sadržaj nikotina su bili ispod 10 mg/kg i time je potvrđeno da je moguće iz duvanskog otpada dobiti organsko đubrivo.

Mikrobna degradacija nikotina

Mnoge fizičke, hemijske i biološke metode su korišćene za degradaciju nikotina. Međutim, fizičke i hemijske metode imaju veći broj nedostataka, koji se, pre svega, ogledaju u niskoj efikasnosti degradacije i kompleksnošću postupka. Nasuprot tome, biološke metode, koje uglavnom podrazumevaju upotrebu mikroorganizama i njihovih enzima, su ekonomski opravdanije, efikasnije i ekološki prihvatljivije (Yuan et al., 2006). Zbog toga su i mnoge velike duvanske kompanije, kao što su „B&W Tobacco“ i „British American Tobacco“ pristupile korišćenju mikroorganizama u cilju dugoročne degradacije nikotina. Mikroorganizmi koji imaju sposobnost degradacije nikotina su uglavnom izolovani sa površine listova duvana ili zemljišta (Eberhardt, 2015). Oni imaju sposobnost korišćenja nikotina kao jedinstvenog izvora ugljenika, azota i energije za sopstveni rast (Li et al., 2010; Gurusamy and Natarajan, 2013).

Još su 1944. godine po prvi put opisani mikroorganizmi koji razgrađuju nikotin. Reid et al. (1944) su tada definisali bakterije i gljive koje žive na površini listova duvana. Od tada je izolovan i identifikovan veliki broj različitih mikroorganizama koji imaju sposobnost degradacije nikotina. Tako su Gutierrez and Spain (1983) izolovali bakteriju *Enterobacter cloacae* soj E-15040 iz površine osušenih listova duvana; ova bakterija je imala sposobnost razgradnje nikotina. Bakterija *Pseudomonas putida* S16 izolovana iz jednog zemljišta u Kini imala je visok stepen degradacije nikotina; ona je razgradila ovo jedinjenje u koncentraciji od 4 g/l za 13 časova a tolerisala je koncentracije od 6 g/l (Wang et al., 2004). Yuan et al. (2005) su koristili tehniku obogaćivanja u cilju izolacije soja bakterije *Ochrobactrum intermedium* DN2. Ova bakterija je ispoljila visoku efikasnost redukcije nikotina, koja je, pri temperaturama između 30 i 40°C i pH vrednosti od 6,0 do 9,0, iznosila do 97,56% za vreme od 36 časova. Enzim bakterije *Pseudomonas* sp. Nic22 je pokazao efikasnost ne samo u uklanjanju nikotina, već i u poboljšanju kvaliteta listova duvana (Chen et al., 2008). Bakterija *Agrobacterium* sp. soj S33, izolovana iz zemljišta gde se gaji duvan, odlikovala se sposobnošću degradacije nikotina u koncentraciji od 3 g/l za vreme od 90 min (Wang et al., 2009). Bakterija *Ochrobactrum* sp. 4-40, koja je izolovana iz listova duvana, pokazala je visoku efikasnost

degradacije nikotina (Ma et al., 2012), dok je soj bakterije *Pseudomonas aeruginosa* TND35 za vreme od 44 časa redukovao početnu koncentraciju nikotina od 4,92 g/l (Raman et al., 2014).

U Tabeli 4 prikazane su neke od najvažnijih nikotinofilnih bakterija, njihovo poreklo i uslovi inkubacije pod kojima su obavljale degradaciju različitih početnih koncentracija nikotina.

Tabela 4. Spisak sojeva sposobnih da razgrade nikotin (Li et al., 2024, modifikovano)

Mikroorganizmi	Vrsta i soj	Poreklo	Uslovi tretmana	Koncentracija nikotina
bakterije	<i>Pseudomonas putida</i> S16	Rizosfera duvana	30°C, pH 7,0, 13 h	4 g/l
	<i>Ochrobactrum intermedium</i> DN2	Rizosfera duvana	30 - 37°C, pH 7,0, 36 h	0,5 g/l
	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> TND35	Rizosfera duvana	30°C, pH 7,0, 12 h	3,0 g/l
	<i>Acinetobacter</i> sp. DN12	Rizosfera duvana	28°C, pH 6,0, 14 h	1,0 g/l
	<i>Arthrobacter</i> sp. aRF-1	Rizosfera duvana	30°C, pH 7,0, 48 h	5,0 g/l
	<i>Arthrobacter</i> sp. AH14	Rizosfera duvana	34°C, pH 6,5, 120 h	6,0 g/l
	<i>Ensifer</i> sp. N7	Rizosfera duvana	28°C, pH 7,0, 48 h	3,35 g/l
	<i>Pseudomonas</i> sp. HF-1	Duvanski otpad	30°C, pH 6,5 - 7,5, 25 h	1,3 g/l
	<i>Pseudomonas geniculata</i> N1	Duvanski otpad	30°C, pH 6,5, 6,5 dana	1,0 g/l
	<i>Sinorhizobium</i> sp. 5-28	Rizosfera duvana	28°C, pH 7,0, 28 h	1,5 g/l
	<i>Shinella</i> sp. HZN1	Aktivni mulj	30°C, pH 7,0, 9 h	0,5 g/l
gljive	<i>Aspergillus oryzae</i> 112,822	Listovi duvana	28°C, pH 6,5, 40 h	2,19 g/l
	<i>Cunninghamella echinulata</i> IFO-4444	-	13 dana	0,54 g/l
	<i>Pellicularia filamentosa</i> JTS-208	Biljka duvana	20 dana	0,04 g/l

Chen et al. (2022) su otkrili da bakterija *Bacteroides xylanisolvens*, izolovana iz humanih creva, može efektivno da razgrađuje nikotin u humanim crevima. Isti autori su identifikovali i novi enzim NlcX koji učestvuje u metabolizmu nikotina. Kao što se može videti iz Tabele 4, najveći broj bakterija koje efikasno mogu da razgrade nikotin pripada rodovima *Pseudomonas*, *Ochrobactrum* i *Arthrobacter*. Sa druge strane, gljive koje učestvuju u degradaciji nikotina pripadaju rodovima *Cunninghamella* (Raman et al., 2014), *Microsporium*, *Streptomyces* i *Pellicularia* (Liu et al., 2015). Svi navedeni mikroorganizmi imaju važnu ulogu u preradi duvana i tretmanu duvanskog otpada i korišćeni su u ovim procesima (Huang et al., 2021).

5.7.1. Organski (komunalni) otpad kao sirovina za kompostiranje

Posebnu kategoriju biomase čine industrijski i komunalni čvrsti otpad, odnosno njegovi biodegradibilni delovi. Tretiranje ovog otpada različitim tehnologijama (poznatim u literaturi kao "Waste to Energy" tehnologije) predstavlja rešenje kojim se ostvaruje dvostruka dobit: rešava se problem odlaganja čvrstog otpada i dobija se energija. Na sam izbor tehnologije utiče mnogo faktora, pa se za svaki konkretan slučaj mora uzeti u obzir širok kontekst, kako bi se izabralo adekvatno rešenje. Pre korišćenja otpada kao energetskog resursa važno je da se utvrdi njegov sastav. U okviru čvrstog otpada mogu se izdvojiti sledeće kategorije: otpad iz domaćinstava, industrijski otpad, otpad iz javnog i komercijalnog sektora, građevinski otpad, otpad komunalnih usluga. Uobičajeni sastav pojedinih kategorija otpada prikazan je u Tabeli 5 (Živković i Ivezić, 2019).

Tabela 5. Sastav različitih vrsta otpada

Poreklo otpada	Sastav
Otpad iz domaćinstva	Ostaci hrane, papir, karton, plastika, tekstil, drvo, staklo, metal, pepeo, specijalni otpad (baterije, ulja, gume...), elektronski otpad
Industrijski otpad	Ambalaža, ostaci hrane, drvo, beton, metal, cigle, pepeo, opasan otpad
Otpad iz javnog i komercijalnog sektora	Papir, karton, plastika, drvo, ostaci hrane, staklo, posebne vrste otpada, elektronski otpad
Građevinski otpad	Drvo, metal, beton, zemlja, cigla, staklo, plastika, izolacioni materijal, opasan otpad
Otpad komunalnih usluga	Otpad od čišćenja ulica, rezanja biljaka, kanalizacioni mulj

Izbor tehnologije korišćenja zavisi od vrste, količine povoljnog otpada i njegove donje toplotne moći.

Čak i ako se propisno prikuplja i odlaže, otpad koji se nekontrolisano proizvodi, ne upotrebljava ponovo i ne reciklira, ne doprinosi zaštiti životne sredine, već joj šteti. Kako bi se postojeći resursi koristili racionalno i na održiv način, potrebno je smanjiti količine proizvedenog otpada, tj. ne stvarati otpad nepotrebno. Zatim, podsticati ponovnu upotrebu i reciklažu, a tek kao poslednju opciju planirati pravilno odlaganje otpada. Na taj način ne dopušta se nekontrolisano jednokratno korišćenje resursa, već se podstiče racionalna upotreba. Upravljanje otpadom predstavlja niz aktivnosti od nastanka otpada, njegovo sakupljanje, razvrstavanje, transportovanje kao i tretman, a zatim njegovo odlaganje. Odlaganje može biti: kontrolisano (opravdano u pogledu zaštite životne sredine), na sanitarnim deponijama i nekontrolisano (zagađuje životnu sredinu), na smetlištima (Androsov et al., 2006).

Upravljanje kućnim otpadom takođe predstavlja globalni imperativ. Podaci iz literature ukazuju na to da potrošači u Ujedinjenom Kraljevstvu bacaju 31% kupljene hrane, koja se na kraju odlaže na deponije, što ima značajan uticaj na životnu sredinu (Nahman et al., 2012). Oko 13,8% globalne proizvodnje hrane generiše se godišnje kao otpad širom sveta (Amicarelli et al., 2021), pri čemu su zemlje Evropske unije odgovorne za 90 miliona tona poljoprivrednog otpada godišnje (Pfaltzgraff et al., 2013). Ovako velika količina otpada ima značajne ekološke, ekonomske i društvene posledice (Seberini, 2020; Roy et al., 2023), pošto globalni sistem ishrane daje veliki doprinos promeni načina korišćenja zemljišta, degradaciji životne sredine i iscrpljivanju resursa i uzrokuje značajne emisije gasova staklene bašte kroz proizvodnju hrane, preradu i odlaganje (Shukla et al., 2019). Iz tog razloga, ovo pitanje je dodato u 17 ciljeva strategije održivog razvoja (Sustainable Development Strategy) koji se odnose na „održive obrasce potrošnje i proizvodnje“. Tačnije, prema cilju 12.3, globalni otpad od hrane po glavi stanovnika trebalo bi da bude prepolovljen do 2030. godine (Amicarelli et al., 2021; European Union, 2023). Stoga su poboljšanja u obrazovanju potrošača i usvajanje strategija upravljanja otpadom od vitalnog značaja.

U Republici Srbiji je u proseku za period 2013 - 2017 generisano 2.084 miliona tona komunalnog otpada godišnje. Udeo organskog otpada u ukupnoj količini komunalnog otpada jednog prosečnog domaćinstva je oko 60,1%, a u okviru toga količina baštenskog otpada iznosi 25 - 30% (Vlada Republike Srbije, 2010).

U Srbiji je oko 50% kućnog otpada biorazgradivo, od čega 18,1% čini baštenski (zeleni) otpad, a 31,4% otpad iz domaćinstva. Takođe, ukupna količina biorazgradivog otpada u Srbiji iznosi 1,22 miliona tona, što odgovara proizvodnji od 170 kg otpada po glavi stanovnika (Vlada Republike Srbije, 2010). Samostalno kompostiranje „u kućnim baštama“ sprovodiće se prema ovoj strategiji, kroz edukaciju građana.

U organski, zeleni ili biootpad ubrajaju se ostaci voća i povrća, trava, ostaci od ratarske proizvodnje, kesice čaja, talog od kafe, termički obrađeno voće i povrće i drugi otpad biljnog porekla (pokošena trava, otkinute grančice, ostaci orezane stabljike...). On čini oko 30% otpada koji potiče iz domaćinstva, što nije mali procenat. Ovaj otpad sadrži ugljenik kao osnovni element (Muginova, 2009).

Najekonomičnije je da se organski otpad obrađuje na mestu njegovog nastanka, tako što će se koristiti kao sirovina za proizvodnju kvalitetnog komposta (El-Haggar et al., 1998). Problem njegovog odlaganja može se rešiti tako što se može pretvoriti u đubrivo. Organski otpad se može kompostirati i dobiti organsko đubrivo, čijim se korišćenjem može oplemeniti zemljište. Delovanjem mikroorganizama iz zemljišta može nastati dobar i plodan humus. Na ovaj način se vodi računa o zaštiti životne sredine, ali i o tlu koje će vremenom postati plodnije (Muginova, 2009).

Skoro svaki otpad koji potiče od biljaka i životinja je pogodan za kompostiranje ako se odnos ugljenika i azota i vlažnost nalaze u povoljnim granicama. To je biorazgradivi otpad iz domaćinstva, otpad od pripreme hrane, otpad sa farmi, trava, kora i parčići drveta, piljevina... Najekonomičnije je da se organski otpad obrađuje na mestu njegovog nastanka (El-Haggar et al., 1998).

S obzirom na raznovrsnost organskog otpadnog materijala koji može poslužiti kao polazna sirovina za kompostiranje, u poglavljima koja slede razmatraju se samo vrste organskog otpada koje su bile predmet istraživanja ove doktorske disertacije: otpadni listovi duvana tipa Virdžinija, otpaci crnog luka, mrkve i krompira, kao i mogućnost proizvodnje komposta od ovčijeg i kokošijeg stajnjaka.

5.8. Duvan

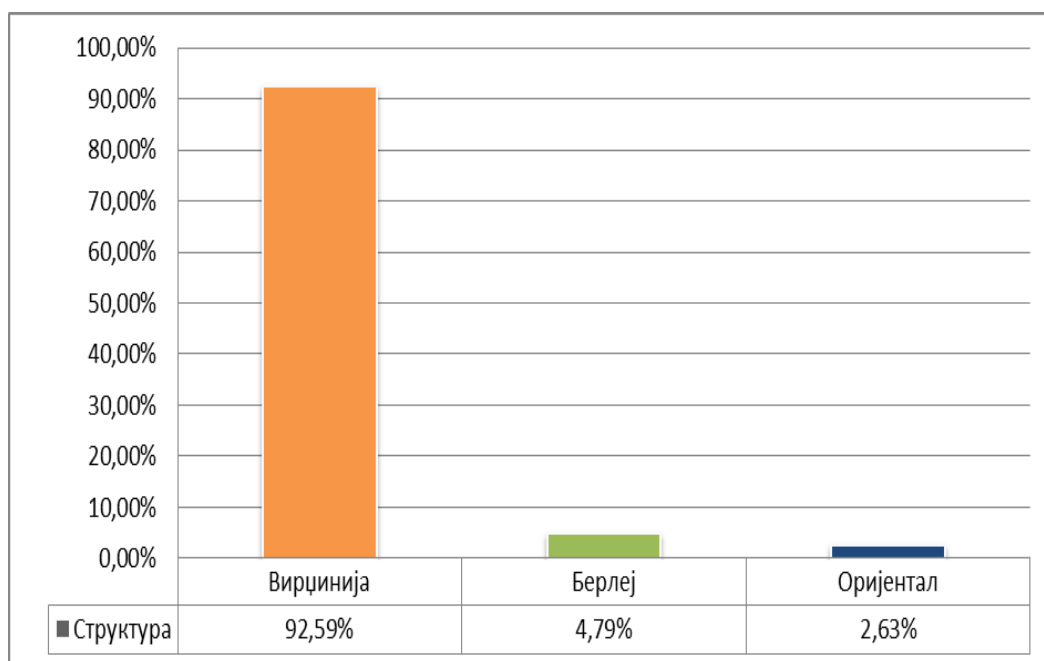
Duvan je jednogodišnja biljka iz familije Solanaceae, roda *Nicotiana* koja obuhvata preko 100 vrsta. Za proizvodnju cigareta koriste se *N. tabacum* i *N. Rustica*. Biljka duvana se pre svega uzgaja u cilju iskorišćenja listova koji se upotrebljavaju za dalju proizvodnju različitih duvanskih proizvoda (cigarete, cigare, duvan za lulu...) (Radojičić, 2016). Duvan se proizvodi u 124 zemlje i predstavlja bitan faktor za globalnu ekonomiju. Prosečna godišnja proizvodnja duvana u 2022. godini iznosila je 5,78 miliona tona (FAOSTAT, 2023). Globalna proizvodnja duvana je u poslednjih nekoliko decenija, značajno porasla. Kao primer, najveća zemlja u Južnoj Americi, Brazil, proizvela je 607 000 t duvana 2015/2016. godine. Zatim, Kina je 2012. godine proizvela oko 3,2 miliona tona duvana. Od toga je oko 0,8 miliona tona otpad, što znači da se oko 25% od ukupne količine odbacuje (Zhang et al., 2018).

5.8.1. Duvan tipa Virdžinija

Virdžinija je krupnolisni duvan, različitih nijansi žute boje i dobrih tehnoloških svojstava. Suši se u sušnicama u kojima se regulišu parametri procesa (temperature, relativna vlaga vazduha i provetranje). Nakon sušenja podleže industrijskoj (mašinskoj) obradi, koja se zasniva na inaktivaciji fermenta visokim temperaturama.

U Srbiji se gaji u vojvođanskom i podrinjsko-kolubarskom području uz primenu odgovarajućih argotehničkih mera. Prosečan prinos je do 100 grama po stuku, a prosečno se rasađuje od 20.000 do 25.000 strukova po hektaru. Struk može biti visine od 140 - 170 cm i može imati od 18 - 24 lista. Dužina donjeg lista je oko 30 - 40 cm, a srednjeg 50 - 70 cm. Glavno rebro lista je debelo, dok su sporedna rebra fina i tanka. Srednji listovi ispoljavaju maksimalan kvalitet, jer je odnos nikotina i šećera usklađen. Kvalitet listova opada idući ka donjim ili gornjim listovima. U proseku sadrži oko 2% nikotina, 19 - 24% ugljenih hidrata, dok je sadržaj proteina 8 - 10% (Radojičić, 2011).

Prema dostupnim podacima (TAIEX, 2018), duvan tipa Virdžinija je 2015. godine, sa oko 90% proizvodnje, bio najzastupljeniji u Republici Srbiji (Grafik 1). Sitnolisni duvani se od 2016. godine ne proizvode u Srbiji, tako da se procentualno učešće duvana tipa Virdžinija povećava u narednim godinama, što potvrđuju i podaci iz Tabele 6.



Grafik 1. Struktura proizvodnje duvana u Republici Srbiji u 2015. godini (TAIEX, 2018)

U Tabeli 6 nalaze se podaci koji su, na zahtev, dobijeni iz evidencije Uprave za duvan, a koji se dostavljaju od strane registrovanih proizvođača i obrađivača duvana (Službeni glasnik RS 101/05, 90/07, 95/10, 36/11, 93/12, 108/13 i 95/18), o površini zasađenog duvana tipa Virđžinija u Republici Srbiji.

Tabela 6. Površina pod duvanom u Republici Srbiji (ha)

Godina proizvodnje	Virđžinija
2014	4.493
2015	4.153
2016	4.230
2017	4.391

Na osnovu ovih podataka, izvršen je teorijski proračun količine duvanskog otpada (Tabela 7), pod pretpostavkom da je prosek rasađivanja od 22 000 stabljika/ha, da je prosečan prinos suvog lista duvana 100 g po stabljici i da prosečna količina otpada listova duvana iznosi 10%.

Tabela 7. Teorijski proračun količine otpadnih listova duvana u Republici Srbiji (t)

Godina proizvodnje	Virdžinija
2014	988
2015	913
2016	930
2017	966

Nastanak duvanskog otpada

Različiti tipovi duvana podležu i različitim načinima obrade i prerade, i, shodno tome, imaju uticaj na sastav i strukturu duvanskog otpada. Proces nastanka duvanskog otpada načelno se deli u tri faze: otpad nastao pri gajenju i sušenju (poljoprivredni otpad); otpad nastao pri proizvodnji i distribuciji proizvoda (industrijski otpad); otpad nakon potrošnje (potrošački otpad) (Radojičić, 2009).

Sastav duvanskog otpada varira u zavisnosti od sorte, načina i uslova gajenja i faze nastanka otpada (Banožić et al., 2020).

Tabela 8. Hemijski sastav duvana u % (Purwono et al., 2011)

Sastav	List	Stabljika	Ukupno
Šećer (dekstroza)	0,25	0,06	0,21
Pektin	8,25	15,31	9,77
Celuloza	12,09	18,18	13,28
Limunska kiselina	7,27	2,41	6,31
Jabučna kiselina	3,62	1,46	3,20
Oksalna kiselina	2,80	1,55	2,55
Proteini	9,08	4,75	8,23
Amidi i aminokiseline	10,53	1,27	8,71
Nikotin	3,41	0,82	2,92
Nitrati	1,74	9,07	3,19
Smola	6,14	1,44	5,20
Pepeo	17,83	28,96	20,01

Sa druge strane, Kasheva et al. (2021) navode varijacije u pogledu hemijskog sastava lista duvana Virdžinija 0842 gajenog u Bugarskoj u zavisnosti od klase lista, sezone i lokacije gajenja (Tabele 9 i 10).

Tabela 9. Hemijske karakteristike lista duvana Virdžinija 0842 u 2018. godini

Region/klasa	Nikotin (%)	Rastvorljivi šećeri (%)	Ukupni N (%)	Hlor (%)
Parvomaj/prva	3,10	10,90	2,60	0,22
Parvomaj/druga	2,15	19,10	2,05	0,36

Tabela 10. Hemijske karakteristike lista duvana Virdžinija 0842 u 2019. godini

Region/klasa	Nikotin (%)	Rastvorljivi šećeri (%)	Ukupni N (%)	Hlor (%)	Pepeo (%)	Proteini (%)	Šmukov broj
Parvomaj/prva	3,78	11,10	2,81	0,16	9,50	6,80	1,63
Parvomaj/druga	2,03	20,10	1,95	-	9,72	7,01	2,87
Dolni Dabnik/prva	2,04	20,60	2,13	0,38	9,41	7,07	2,91
Dolni Dabnik/druga	1,92	18,80	1,79	0,47	9,61	6,00	3,13

Duvanski otpad bogat je bioaktivnim komponentama koje predstavljaju sekundarne metabolite biljaka. Poslednjih decenija velika pažnja se poklanja izolovanju bioaktivnih komponenata iz otpada koje se mogu koristiti u drugim tehnološkim disciplinama, dok se u isto vreme smanjuje negativan uticaj otpada na životnu sredinu (Sharma et al., 2018).

5.9. Crni luk

Crni luk je lukovičasto povrće i pripada porodici Alliaceae, vrsti *Allium cepa* L., dvogodišnja je biljka, a može se proizvoditi i kao trogodišnja vrsta. Bogat je sumporom, magnezijumom, fosforom i kalijumom. Fenolna jedinjenja luka, među kojima se posebno ističu flavonoidi, ispoljavaju izuzetno jaku antioksidativnu aktivnost, dok alil-cistein-sulfoksid mu daje miris, ukus i antibakterijski efekat. Boja suvih listova luka potiče od kvercentina koji se koristi i kao prirodna boja za farbanje, uglavnom tkanine (Lazić, 2011).

Lukovica se može razlikovati po obliku: pljosnata, okrugla, ovalna sa različitim bojama suvih listova (žuti, smeđi, crveni, ljubičasti). Pored oblika, lukovica se može razlikovati i po masi: sitna (60 g), srednje krupna (60 - 100 g), krupna (100 - 150 g), veoma krupna (preko 150 g) (Lazić, 2011).

Luk se ubraja u jednu od najstarijih povrtarskih kultura i koristi od davnina u ljudskoj ishrani. Smatra se da je nastao na području srednje Azije. Rasprostranjen je u celom svetu i koristi se na različite načine u ishrani. U našoj zemlji se svrstava među najznačajnije povrtarske biljke. Gaji se širom zemlje, ali uglavnom u baštama za korišćenje u domaćinstvu ili za prodaju na lokalnim pijacama. Takođe, razvijena je i proizvodnja velikih kapaciteta za komercijalnu prodaju (Popović, 1981).

U svetu se godišnje proizvede 93.226.400 tona luka (FAOSTAT, 2021), što ga čini drugim povrćem koje se najviše konzumira u svetu, posle krompira (Hanci, 2018). Jedan od glavnih izazova za zemlje koje proizvode luk širom sveta je održavanje proizvodnje luka uz suočavanje sa efektima klimatskih promena. Kina, najveći proizvođač luka (proizvedeno 23,9 metričkih tona u 2020. godini), suočena je sa opadanjem površina zbog vremenskih uslova. Luk postaje sve skuplji za lokalne kineske uzgajivače, što je rezultiralo blagim povećanjem cena u odnosu na prethodne četvorogodišnje najniže vrednosti. Holandija se smatra jednim od najbrže rastućih proizvođača luka na svetu, sa povećanjem od 11% u 2020. godini (Hanci, 2018). Od ukupne globalne proizvodnje od 93.226.400 tona proizvedenog luka, Kina je najveći proizvođač na svetu sa 24.040.509 tona obima proizvodnje godišnje, a sledi Indija sa 21.415.425 tona godišnje proizvodnje (FAOSTAT, 2021).

Kada su u pitanju Evropska unija i Republika Srbija, povrće se u zemljama EU gaji na samo 2% površine, dok je ovaj udeo nešto veći u Srbiji (2,4%). Prema autorima (Kljajić et.al, 2023), crni luk se u periodu 2012 - 2020. godine u Republici Srbiji gajio na prosečno 4.465 ha sa prosečnim prinosom od 8,3 t/ha, te je ukupan prosečni prinos crnog luka u posmatranom periodu iznosio 37.060 tona.

Što se tiče trenda potrošnje, podaci pokazuju da je potrošnja luka u globalnom porastu, sa rastućim trendovima u potražnji, jer je luk neophodna hrana na svim kontinentima, sa različitim načinima upotrebe u pripremi hrane (Griffiths et al., 2002).

Srbija se nalazi na 137. mestu u grupi od 156 zemalja po potrošnji luka po glavi stanovnika. Istorijski gledano, potrošnja luka po glavi stanovnika u Srbiji dostigla je najviši nivo od 17,3 kg u 2010. godini. Potrošnja je u 2015. godini iznosila oko 2,7 kg, 2016. oko 4 kg, 2017. oko 0,7 kg a najniži nivo od 0,550 kg u 2018. godini (FAOSTAT, 2021).

Istraživanja u svetu su pokazala da ostaci crnog luka mogu imati biološku vrednost. Jurgiel-Malecka et al. (2015) navode da hemijski sastav crnog luka varira u zavisnosti od sorte. Ispitivali su bele sorte Albion i Alibaba, žute sorte Grabowska i Majka i crvene sorte Scarlet i Wenta i ustanovili da je ukupan sadržaj makroelemenata oko 45 g/kg a mikroelemenata oko 665 mg/kg suve materije. Dominiraju azot, kalijum, sumpor i magnezijum. Sadržaj redukovanih šećera iznosio je oko 170 g/kg a ukupnih šećera oko 500 g/kg suve materije. Međutim, Pellejero et al. (2015) navode visok sadržaj ukupnog ugljenika u ostacima crnog luka (oko 350 g/kg), nizak sadržaj ukupnog azota (7 g/kg) i C/N odnos od 52:1. Isti autori konstatuju da se ostaci crnog luka mogu koristiti za kompostiranje u smeši sa ostacima lucerke i goveđim stajnjakom. Chorolque et al. (2022) su ustanovili da se prilikom kompostiranja ostataka crnog luka uvećava brojnost patogenih gljiva tokom prvih 28 dana kompostiranja a zatim dolazi do drastičnog smanjenja njihovog broja. Posebno je značajno smanjenje populacije patogenih gljiva roda *Fusarium* sp. Primena komposta i kompostnog čaja proizvedenih od ostataka crnog luka i goveđeg stajnjaka značajno je uticala na neke karakteristike zemljišta, kao što su pH vrednost, elektrokonduktivitet, sadržaj nutrijenata i enzimska aktivnost zemljišta, kao i na karakteristike lukovica crnog luka (Orden et al., 2021).

5.10. Mrkva (Šargarepa)

Mrkva je korenasto povrće, što znači da je nastala od divljih formi koje rastu kao korov. Njena primena i upotreba u ishrani je široka i sve više se širi kao korisno i zdravo povrće. Konzumira se u svežem (kao salata), kuvanom (dodatak jelima), sušenom obliku ili u vidu soka. Dobro podnosi skladištenje, tako da se može naći tokom cele godine. Pretežno se uzgaja u severnim i zapadnim krajevima naše zemlje (Popović, 1981).

Mrkva pripada porodici Apiaceae, vrsti *Daucus carota* L., dvogodišnja je biljka što znači da cveta po pravilu u drugoj godini proizvodnje. Gaji se zbog ukusnog zadebljanog korena žute, narandžaste, crvene ili ljubičaste boje. Bogata je ugljenim hidratima, beta karotenom, dijetnim vlaknima (celuloza, hemiceluloza, pektin, lignin) i ima malu energetske vrednost (Lazić, 2011). Takođe, ima srazmerno veliki procenat šećera (4 - 12%), vitamina i mineralnih materija. Pored velikog sadržaja karotena (vitamina A), ima i značajne količine vitamina B. Svi sastojci mrkve su lako svarljivi (Popović, 1981).

Kora je najkvalitetniji deo mrkve koji sadrži najviše hranljivih materija, više jabučne i limunske kiseline ali i manje nitrata od srednjeg dela (srčike). Kvalitetnijom mrkvom se smatra da je ona koja ima istu boju kore i srčike, a više kore nego srčike. Značajne količine nitrata mrkva nakuplja u glavi korena i u srčiki. Karotenoidi i antocijani daju boju korenu, dok glava korena zelenu boju dobija od hlorofila (Lazić, 2011).

Mrkva se uzgaja više od 1000 godina i jedno je od najpopularnijih povrća širom sveta. Trenutno se uglavnom uzgaja u Evropi i Aziji (FAOSTAT, 2022). U 2020. godini najveći proizvođači mrkve u Evropi bili su Ujedinjeno Kraljevstvo (799.715 tona) i Poljska (689.100 tona). U Aziji, Indonezija (675.760 tona) i Japan (601.016 tona) su rangirani kao glavni proizvođači (FAOSTAT, 2022). Ovo povrće ima prosečan sadržaj vode od 69,06% - 75,3%, u zavisnosti od specifične sorte. Prosečne količine proteina, ugljenih hidrata i vlakana su sledeće: 8,59%, 7,09% i 7,95% suve materije, respektivno. Sadržaj masti je čak niži od 1,97% do 4,31% suve materije, u zavisnosti od sorte (Cervantes-Paz, 2016; Boad, 2021).

Najveće površine pod mrkvom u zemljama EU imaju Poljska, Francuska i Italija (prosečno preko 62%). Slede Nemačka, Rumunija i Holandija sa međusobno približnim prosečnim površinama. Prosečan prinos za zemlje EU je 45,767 kg/ha, dok je u Srbiji prosečan prinos 7,818 kg/ha, odnosno na nivou od 17% prosečnog prinosa EU. Pri tome je prosečan prinos u Vojvodini za 47% veći u odnosu na prinos u Srbiji u celini.

Prosečna godišnja proizvodnja u EU za period 2000 - 2012 iznosila je 4.673.170 tona a u Srbiji 59.750 tona. Kljajić et al. (2023) navode da se mrkva u periodu 2012 - 2020 u Republici Srbiji gajila na prosečno 2.471 ha sa prosečnim prinosom od 18,8 t/ha, te je ukupan prosečni prinos u posmatranom periodu iznosio 46.455 tona.

Jestivi deo mrkve je poznat po visokom sadržaju nutrijenata (Tian et al., 2024). Osim prisustva ugljenih hidrata, masti i proteina, mrkva je takođe bogata i različitim elementima, kao što su kalcijum, gvožđe, natrijum, magnezijum, bakar, kao i drugim elementima koji su korisni za ljudsko zdravlje (Mandrich et al., 2023). Sharma et al. (2012) navode da sadržaj ugljenih hidrata u jestivom delu mrkve iznosi oko 10 g/100 g sveže mase, dok je sadržaj vlakana 1,2 g i pepela 1,1 g/100 sveže mase. Sadržaj ukupnih šećera može da iznosi i do 11,24 g/100g sveže mase (Hasan - Yusuf et al., 2021); dominira saharoza, dok je sadržaj glukoze i fruktoze znatno manji (Marszałek et al., 2016; Stinco et al., 2019; Agirman et al., 2021; Bonasia et al., 2021). Hasan - Yusuf et al. (2021) i Bonasia et al. (2021) navode da su u jestivom delu mrkve prisutne i organske kiseline, kao

što su jabučna, askorbinska i oksalna, zatim vitamin C, kao i terpenoidna i fenolna jedinjenja. Prosečan sadržaj kalijuma, kalcijuma, fosfora, natrijuma i magnezijuma na 100g suve materije mrkve iznosi: 280 mg, 30 mg, 40 mg, 87 mg, 12,4 mg. Međutim, u svojim istraživanjima, Khalil et al. (2011) ukazuju da je kora od mrkve veoma bogata ukupnim ugljenim hidratima (više od 70%), nešto manje vlaknima (oko 10,5%) i pepelom (oko 10%), dok je zastupljenost proteina i masti veoma niska. Ghinea and Leahu (2020) su potvrdili da se kora od mrkve uspešno može koristiti za kompostiranje. Ovi autori su korišćenjem tri različite smeše otpada od voća i povrća, među kojima i koru od mrkve, uspešno obavili proces kompostiranja. Koncentracije toksičnih elemenata u kompostu bile su ispod granica detekcije. Autori su zaključili da je tokom ovog procesa konstantno dolazilo do smena mikrobni populacija, kao i da postoje statistički značajne korelacije između mikrobni populacija i hemijskih parametara.

5.11. Krompir

Krompir (*Solanum tuberosum* L.) spada u krtolasto povrće, rod *Solanum*, familija Solanaceae. Potiče iz Južne Amerike, odakle je prenet ka ostatku sveta. Veliku primenu nalazi u ishrani, pre svega u kulinarstvu ali i u drugim prehrambenim proizvodima. Značajan je u ishrani zbog svoje visoke energetske vrednosti koja potiče iz ugljenih hidrata (skroba) (Popović, 1981).

Jednogodišnja je biljka koja obrazuje snažan korenov sistem na dubini i do 30 cm. Krompir razvija nadzemna i podzemna stabla (stolone) na kojima se obrazuje krtola. Zadebljano podzemno stablo sa dugim ili plićim okcima se naziva krtolom (Popović, 1981).

Krompir je ekonomski važna osnovna kultura koja preovladava širom sveta sa uspešnom proizvodnjom velikih razmera, potrošnjom i pristupačnošću, sa lakom dostupnošću na otvorenom tržištu. Krtole su bogat izvor minerala (K, P, Mg, Na, Ca, itd.) i vitamina (naročito vitamina C, zatim E, A, H i B vitamina). Prema podacima FAOSTAT (2021), u periodu od 2017. do 2021. godine krompir se gajio u proseku na preko 17,2 miliona ha u svetu, sa prosečnim prinosom od 21,5 t/ha. U svetu se godišnje proizvede preko 370 miliona tona krompira, od čega se preko 50% proizvodi u Aziji. Najveći svetski proizvođači krompira su Kina, a slede Indija, Ruska Federacija, Ukrajina i SAD. U Tabeli 11 dati su podaci o ukupnoj proizvodnji krompira u Srbiji.

Tabela 11. Ukupna proizvodnja krompira u Republici Srbiji (2015 - 2018)

Godina	Količina (t)
2015	639.410
2016	714.350
2017	589.241

Izvor: Statistički godišnjak Republike Srbije (2018)

Prema autorima (Kljajić et. al., 2023), krompir se u periodu 2012 - 2020 u Republici Srbiji gajio na prosečno 40.779 ha sa prosečnim prinosom od 16,3 t/ha, te je ukupan prosečni prinos krompira u posmatranom periodu iznosio 664.698 tona.

Prosečna potrošnja krompira po glavi stanovnika godišnje u svetu za period 2017 - 2021 iznosila je 33,3 kg. Evropa troši najviše krompira po stanovniku godišnje (76 kg), Severna Amerika 53,2 kg dok je najmanja potrošnja krompira od 14,6 kg po stanovniku godišnje u Africi (Varga i Đurović, 2023). U regionu, najviše krompira troše stanovnici BiH, u proseku 87 kg po stanovniku godišnje. U Srbiji je prosek 35 kilograma, a stanovnici Crne Gore najmanje konzumiraju krompir u regionu, samo 27 kilograma.

S porastom proizvodnje i potrošnje krompira, svake godine raste i količina krompirove ljuske kao jednog od najvećih agroindustrijskih otpadnih proizvoda. Prema „Organizaciji za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija“, predviđa se da bi oko 8.000 kilotona otpada od kore krompira moglo da se generiše 2030. godine (Khanal et al., 2024). Krompirov otpad je organski zaostali otpad s visokim sadržajem fenola, dobar izvor antioksidanasa, vitamina i minerala i može se sigurno preraditi u veliki broj proizvoda koji su značajni za ljude, životinje i životnu sredinu.

Prosečan sadržaj kalijuma, kalcijuma, fosfora, natrijuma i magnezijuma na 100g suve materije krompira iznosi: 450 mg, 8 mg, 55 mg, 3 mg, 25,6 mg. Kora od krompira sadrži 25% skroba, 30% ostalih polisaharida, 18% proteina, 1% lipida i 6% pepela i može se pretvoriti u vrlo kvalitetno biođubrivo (Khanal et al., 2024). Na taj način bi se smanjili negativni uticaji na životnu sredinu, poboljšala ishrana zemljišta, smanjila potreba za sintetičkim mineralnim đubrivima i direktno povećala proizvodnja hrane. Ova biođubriva su veoma kvalitetna upravo zbog velikog sadržaja proteina i ugljenih hidrata, koje bakterije mogu razgraditi, kako bi povećale sadržaj azota u organskom đubrivu. Ghinea and Leahu (2020) su uspešno obavili proces kompostiranja gde su korišćene različite smeše otpada voća i povrća, kojima je dodata kora od krompira. Soares et al. (2016a) su ispitivali kompostiranje različitih mešavina kore krompira, pokošene trave, ljuske pirinča i jaja. Autori su utvrdili da je dobijen kompost dobrog kvaliteta u svim ispitivanim tretmanima, kao i da je u mešavinama gde je dodata pokošena trava bilo potrebno duže vreme za sazrevanje komposta. Dobijeni komposti imali su pH vrednost oko 9,0, germinacioni indeks veći od 50%, nizak odnos NH_4/NO_3 i koncentraciju toksičnih elemenata ispod nivoa detekcije.

5.12. Potencijal kompostiranja ovčijeg i kokošijeg stajnjaka

Upravljanje otpadom je globalni problem, u kome se koriste vredni resursi i pretvaraju u nove proizvode kroz procese reparacije i ponovne upotrebe (Chi et al., 2020). Organski otpad se stvara u velikim količinama i može izazvati kontaminaciju i probleme u životnoj sredini ukoliko izostane rapidna kontrola (Zhang et al., 2017). Više od 50% organskog otpada se može reciklirati ili ponovo upotrebiti i na taj način transformisati u korisne proizvode (Westerman and Bicudo, 2005).

Jedan od proizvoda koji nastaje pri stočarskoj proizvodnji i koji se uspešno može koristiti u biljnoj proizvodnji je stajnjak. Stajnjak čine tečni i čvrsti ekskrementi životinja gajenih na farmama, najčešće sa prostirkom od žetvenih ostataka. Stajnjak je definisan Pravilnikom o načinu razvrstavanja i postupanja sa sporednim proizvodima životinjskog porekla (Sl. glasnik RS 31/2011, 97/2013 i 15/2015), prema kome je svrstan u materijal kategorije 2 (član 7), na osnovu rizika za javno zdravlje i zdravlje životinja, a njegovo upravljanje i distribucija na zemljište, omogućeno je u neprerađenom stanju jedino u slučaju da ne postoji mogućnost širenja opasnih zaraznih bolesti. Stajnjak predstavlja značajan izvor hranljivih materija u biljnoj proizvodnji (Višković i sar., 2022), ali prevashodna uloga ovog organskog đubriva jeste poboljšanje osobina i režima zemljišta (toplotnog i vazdušnog pre svega), kao i strukture i aerisanosti zemljišta.

Prema podacima RSZ Srbije za 2018. godinu, ukupna količina čvrstog stajnjaka je približno 20,4 miliona tona (Višković i sar., 2022). Najveća je zastupljenost govedeg čvrstog stajnjaka (približno 60%) dok živina doprinosi sa 7% (oko 1.428.000) a ovce sa 6% (oko 1.224.000 t).

Stočarska proizvodnja u Evropi praćena je stvaranjem količine od oko 1.400 miliona tona đubriva godišnje (Loyon, 2017). Upravo je stočarska proizvodnja odgovorna za veliki broj ekoloških problema, jer ovaj sektor koristi veliki broj prirodnih resursa i ima veliki uticaj na kvalitet vazduha, klimu, kvalitet zemljišta, biodiverzitet i kvalitet voda, kroz modifikacije procesa kruženja azota, fosfora i ugljenika (Goldan et al., 2023).

Sektor stočarske proizvodnje treba da odgovori globalnoj potražnji za hranom, ali u određenim uslovima, on može da izazove narušavanje kvaliteta životne sredine i klimatske promene (Zhang et al., 2017). Na globalnom nivou, oko 65 milijardi kokošaka, 1,5 milijarda svinja, 1 milijarda koza i ovaca, i oko 330 miliona goveda i bikova se uzgaja u cilju proizvodnje mesa; za proizvodnju mleka, koristi se oko 234 miliona goveda, dok je živinarska proizvodnja praćena proizvodnjom oko 7,6 milijardi jaja (Tullo et al., 2019).

Organski otpad, posebno otpad iz stočarske proizvodnje može se, u cilju očuvanja što veće količine hranljivih elemenata, tretirati na različite načine, čime se povećava potencijal ovog otpada za primenu u poljoprivrednim zemljištima, uz smanjenje uticaja na životnu sredinu. U zavisnosti od primenjene tehnologije, tretman organskog otpada može da poveća agronomsku, ekonomsku i ekološku vrednost dobijenog proizvoda.

Organska đubriva su važan izvor hranljivih elemenata za održivu poljoprivrednu proizvodnju i, u kombinaciji sa zemljišnim mikroorganizmima i faunom, mogu značajno da doprinesu poboljšanju strukture zemljišta i stvaranju povoljnih uslova za porast biljaka (Abbott et al., 2018).

Mnogi literaturni izvori ukazuju na mogućnost kompostiranja životinjskih đubriva. Optimalni uslovi za kompostiranje životinjskih đubriva zavise od mnogih faktora, kao što su tip đubriva ili klimatski uslovi. Veliki broj istraživanja obavljen je sa ciljem definisanja idealnih uslova

za kompostiranje životinjskih đubriva, uzimajući u obzir temperaturu, procenat vlažnosti, aeraciju, odnos C/N itd.

Zbog visokog sadržaja organskih materija i esencijalnih hranljivih elemenata, kao što su ugljenik, azot i fosfor, koji su neophodni za rast biljaka i nadoknadu minerala usvojenih od strane korenovog sistema, životinjska đubriva se često korišćena kao prirodni oplemenjivači zemljišta (Goss et al., 2013). Međutim, direktna primena životinjskih đubriva može imati posledice po ekosistem, usled emisije neprijatnih mirisa, kontaminacije zemljišta i voda i potencijalnog hemijskog i mikrobiološkog zagađenja hrane, koji su izazvani prisustvom hormona i rezidua antibiotika (Ezzariai et al., 2018; Drozd et al., 2020). Muhammad et al. (2020) smatraju da intenzivna aplikacija životinjskih đubriva dovodi do akumulacije toksičnih supstanci u zemljištu i biljkama. Na mnogim lokacijama koje su đubrene kokošijim i kravljim stajnjakom detektovane su visoke koncentracije Mn, Pb i Cr. Pri đubrenju životinjskim stajnjakom, visoke koncentracije Mn, Cd, Cr i Pb su detektovane u pšenici i pirinču. Zbog toga je neophodno primeniti adekvatne metode tretmana životinjskih đubriva i izbeći kontaminaciju zemljišta, voda i vazduha (Drozd et al., 2020; Zhou et al., 2020).

Generisanje velikih količina čvrstog komunalnog i životinjskog otpada uslovalo je porast interesa za razvoj principa cirkularne ekonomije, koji se zasniva na što dužoj upotrebi produkata, materijala i resursa, odnosno produžavanju njihove upotrebne vrednosti (Paes et al., 2019; Tsai et al., 2020). Kompostiranje se uklapa u princip cirkularne ekonomije, jer omogućava efikasno korišćenje organskog otpada iz stočarske proizvodnje, pri čemu ne dolazi do gubitka otpada već njegove transformacije u produkt bogat hranljivim elementima za ishranu biljaka. Kompostiranje omogućava obnavljanje vrednih supstanci iz organskog otpada i njihovu reintrodukciju u poljoprivrednu proizvodnju, rezultirajući smanjenjem količine otpada i redukcijom kontaminacije životne sredine. Kompostiranje je izvanredan primer efikasne prakse cirkularne ekonomije, jer omogućava korišćenje organskih resursa i minimiziranje otpada (Hadzi-Nikolova et al., 2021; Kuipers et al., 2022).

6. MATERIJAL I METODE

Istraživanja su rađena u laboratorijama Katedre za tehnologiju ratarskih proizvoda i Katedre za ekološku mikrobiologiju Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu; laboratoriji Instituta za zemljište, Beograd; laboratoriji Naučnog instituta za veterinarstvo Srbije, Odeljenja za hemiju i biohemiju i ispitivanje lekova, Beograd.

Na slici 1. je prikazan dijagram toka koji obuhvata pripremu i proces kompostiranja kao i analizu finalnog proizvoda koji su sprovedeni tokom ovog istraživanja i koji su bili cilj ove disertacije.



Slika 1. Dijagram toka istraživanja

6.1. Materijal

Za potrebe ove disertacije, kao materijal korišćene su sledeće vrste organskog otpada:

1. Listovi duvana tipa Virdžinija (proizvodno područje Šabac, preuzeti od kompanije Alliance One Tobacco-Šabac), koji su klasifikovani kao otpad u toku procesa industrijske obrade (Slika 2).



Slika 2. Duvan tipa Virdžinija

2. Otpad iz domaćinstva (mrkva, krompir, luk nepoznatog porekla, poreklom iz maloprodajnih objekata široke potrošnje),
3. Ekskrementi životinja (kokošaka i ovaca) pomešani sa slamom (ovčiji i kokošiji stajnjak), preuzeti od samostalnog poljoprivrednog proizvođača iz okoline Bajine Bašte,
4. Populacija bakterija koje razgrađuju nikotin (izvršena je njihova izolacija i selekcija i formiranje mikrobnog konzorcijuma).

Istraživanje je obavljeno kroz dve grupe eksperimenata, u različitim godinama:

6.1.1. Kompostiranje duvanskog otpada sa ovčijim i kokošijim stajnjakom

Eksperiment je izveden u nekontrolisanim (prirodnim) uslovima na lokaciji Bajina Bašta. Formirane su dve eksperimentalne gomile po sledećoj šemi: 1. 50% duvanskog otpada + 50% ovčiji stajnjak, 2. 50% duvanskog otpada + 50% kokošiji stajnjak (Tabela 12). Komparacija je izvršena sa referentnim uzorkom R (100% duvanskog otpada). Eksperiment je izvršen u prirodnim uslovima, na otvorenom, u trajanju od tri meseca (mart - maj 2015. godine). Aeracija je obezbeđena ručnim prevrtanjem gomila a vlažnost je održavana konstantnom prekrivanjem gomila slojem lišća i povremenim prskanjem vodom po površini. Podaci za srednje mesečne vrednosti temperature i relativne vlažnosti vazduha preuzeti su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Analiza sadržaja nikotina obavljena je na početku ogleda i sukcesivno nakon 15, 30, 45, 60, 75 i 90 dana. Metoda za određivanje sadržaja nikotina prikazana je u poglavlju 6.2.4.

Tabela 12. Procentualni sastav kompostnih gomila

Uzorak	Duvanski otpad (%)	Ovčiji stajnjak (%)	Kokošiji stajnjak (%)
R	100	/	/
1	50	50	/
2	50	/	50

Pre i posle eksperimenta, izvršeno je merenje ukupne mase kompostne gomile u tretmanima gde su dodavani stajnjaci. Masa kompostnih gomila izražena je u kg. Na kraju ogleda, izvršene su i analize sadržaja elemenata u kompostu (poglavlje 6.2.5.).

6.1.2. Kompostiranje duvanskog otpada sa biljnim (organskim) otpadom iz domaćinstva

Istraživanje je sprovedeno od maja 2017., do juna 2017. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Za potrebe ovog istraživanja formirane su tri identične kompostne gomile (slika 3), koje su se sastojale od 55% duvanskog otpada i 45% biljnog otpada (Tabela 13). Ovim gomilama su dodate nikotofilne bakterije (B). Jedna smeša je kompostirana u kontrolisanim (K), druga u polukontrolisanim (PK) i treća u nekontrolisanim (NK) uslovima.

Formirane su još dve kompostne gomile bez nikotofilnih bakterija; četvrta gomila (na identičan način kao i prethodne gomile) i peta (referentna), koja se sastojala samo od duvanskog otpada; kompostiranje ovih gomila je izvršeno u polukontrolisanim uslovima.

Tabela 13. Procentualni sastav kompostnih gomila

Uzorak	Duvanski otpad (%)	Biljni otpad* (%)	Konzorcijum nikotin-degradirajućih bakterija	Eksperimentalni uslovi
KB	55	45	+	Kontrolisani (K)
PKB	55	45	+	Polukontrolisani (PK)
NKB	55	45	+	Nekontrolisani (NK)
PK	55	45	-	Polukontrolisani (PK)
R	100	/	-	Polukontrolisani (PK)

* crni luk, mrkva i krompir (po 15%)

Analize sadržaja nikotina izvršene su na početku ogleda, a zatim posle prve, druge, treće i četvrte nedelje. Na kraju ogleda, izvršene su analize sadržaja elemenata u kompostu (poglavlje 6.2.5.), kao i određivanje razlike u masi kompostnih gomila. Masa kompostnih gomila na početku i kraju eksperimenta izražena je u kg.



Slika 3. Kompostiranje duvanskog otpada sa biljnim (organskim) otpadom iz domaćinstva

6.2. Metode

Eksperimenti su obavljani u više faza:

1. Izolacija i molekularna identifikacija nikotofilnih bakterija
2. Priprema eksperimentalnih kompostnih gomila
3. Praćenje parametara procesa kompostiranja
4. Analize sadržaja nikotina u eksperimentalnim kompostnim gomilama
5. Analize sadržaja elemenata u eksperimentalnim kompostnim gomilama
6. Osnovne hemijske karakteristike komposta
7. Statistička analiza podataka

6.2.1. Izolacija i molekularna identifikacija nikotofilnih bakterija

Izolacija i selekcija populacija bakterija koje razgrađuju nikotin i formiranje mikrobnog konzorcijuma obavljani su na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu u laboratoriji Katedre za ekološku mikrobiologiju. Izolacija nikotofilnih bakterija iz duvanskog otpada izvršena je korišćenjem modifikacije Talaie et al. (2010) metode, gde je dodat nikotin (99%, Merck, Nemačka) (4%, v/v) kao jedini izvor ugljenika i energije. Morfološka svojstva bakterijskih izolata ispitivana su pomoću svetlosnog mikroskopa (Leica DMLS, Nemačka) nakon inkubacije na hranljivom agaru (Torlak, Srbija) na temperaturi od 30°C u inkubatoru Binder (Nemačka - slika 4).



Slika 4. Inkubator Binder (Nemačka)

Identifikacija nikotofilnih bakterijskih izolata izvršena je analizom sekvence 16S rDNK. Sojevi bakterija su podvrgnuti analizama sekvence gena 16S rDNK korišćenjem univerzalnog prajmera 27 F 5'-GAGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' (Gurtler i Stanisich, 1996) i 1523R 5'AGGAGGTGATCCAGCCG-3'7 prajmera (1523R 5'AGGAGGTGATCCAGCCG-3'9). 40 ml PCR smeše je sadržalo kao šablon 2 ml ekstrahovane DNK, 0,5 mM MgCl₂, 0,3 mM dNTP, 0,75 mM svakog prajmera, 0,375 U KAPATaq polimeraze (Kapa Biosistems, UK). Termički ciklus je izveden korišćenjem termosajklera (Kyratrec, Australija - slika 5) programiranog za početni korak održavanja 5 minuta na 95°C, nakon čega su usledila 33 ciklusa od 30 s na 95°C, 30 s na 50°C, 120 s na 72°C, i prekomerno produženje do poslednjeg ciklusa za 10 min na 72°C.



Slika 5. Termosajkler Kyratrec (Australija)

PCR proizvodi su dobijeni 1,0% agaroznom gel elektroforezom sa niskom tačkom topljenja i poslani na sekvencioniranje u Macrogen Sekuencing Service (Holandija). Sekvence izolata ID3; ID4; ID5 i ID6 su deponovane u bazu podataka NCBI GenBank pod pristupnim brojevima MH588275; MH588276; MH588277 i MH588278, respektivno.

6.2.2. Priprema eksperimentalnih uzoraka

Jedna od karakteristika duvanskog otpada je niska vlažnost, pa je u prvoj fazi eksperimenta izvršeno vlaženje, usitnjavanje i mešanje duvanskog i drugog biodegradibilnog otpada.

Bakterije koje razgrađuju nikotin dodavane su uzorcima KB, PKB i NKB svakih sedam dana u količini od 75ml (4% v/v). Cilj je bio da se ubrza proces biorazgradnje nikotina. Tokom eksperimenta, uzorcima KB, PKB i PK dodavano je 500 ml vode svakih sedam dana i uzorci su mešani kako bi se voda ravnomerno raspodelila; uzorcima NKB i R nije dodavana voda.

6.2.3. Praćenje parametara procesa kompostiranja

Eksperimentalni uzorci su podvrgnuti različitim uslovima: kontrolisanim (K) - u inkubatoru (Sutjeska, Srbija) sa konstantnom temperaturom i vlažnošću, polukontrolisanim (PK) - laboratorijskim uslovima (konstantna temperatura i promenljiva vlažnost) i nekontrolisanim (NK) - spoljašnji uslovi (spoljna promenljiva temperatura i vlažnost). Podaci za spoljašnje uslove preuzeti su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije.

Tokom eksperimenta u svim uzorcima koji su bili izloženi različitim uslovima, svakodnevno su merena temperatura i sadržaj vlage (termometar K-TIP 5115; mikroprocesorski merač vlage, model br. RS7825PS, CE ISO-2178). Praćene su i temperatura i relativna vlažnost eksperimentalne prostorije (Kestrel 4000, Nielsen-Kellerman, SAD). Rezultati su predstavljeni kao nedeljna srednja vrednost.

6.2.4. Analiza sadržaja nikotina HPLC metodom

Sadržaj nikotina u eksperimentalnim uzorcima je analiziran metodom tečne hromatografije visokih performansi (HPLC, Waters Breeze, USA), (Saunders and Blume, 1981):

Waters 2487 HPLC Detektor sa dvostrukom apsorpcijom, opseg merenja (0.0001-4.0000) AUFS,

Opseg talasne dužine (190-700) nm;

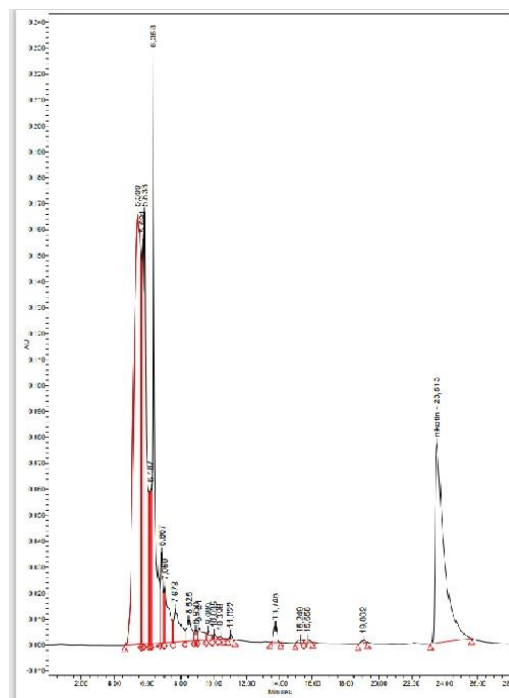
Waters 1525 Binary HPLC pumpa, opseg protoka (0.00-10.00) ml / min;

Waters 717⁺ HPLC autosampler, opseg ubrizgavanja (0.1- 2000) µl)

Postupak uključuje vodenu ekstrakciju mlevenog lista nakon čega sledi odvajanje alkaloida na reverznoj fazi C18 kolona sa mobilnom fazom koja se sastojala od zakišljenog od 40% metanola (0,2% fosforne kiseline) puferovane na pH 7,25 sa trietilaminom. Ova procedura omogućuje kvantitativnu analizu 4 "glavna" alkaloida u duvanu i može biti delimično automatizovana tako da obrađuje veći broj uzoraka. Sadržaj nikotina u kompostnim gomilama izražen je u mg/kg suve mase.



Slika 6. HPCL sistem sa UV-VIS detektorom



Slika 7. Hromatogram

Princip rada HPLC-a je forsiranje prolaska analizirane supstance (ili smeše) kroz kolonu (cev punjena materijalom sitnih čestica, a time i velike površine), pumpanjem tečnosti (mobilna faza) pod visokim pritiskom kroz kolonu. Unosi se mala zapremina uzorka u tok mobilne faze i na osnovu specifičnih hemijskih i fizičkih interakcija, dolazi do različitog zadržavanja komponenata smeše. Vreme zadržavanja zavisi od prirode supstance koja se analizira, stacionarne faze i sastava mobilne faze. Vreme za koje se supstanca eluiira (dođe do kraja kolone) naziva se retenciono vreme i karakteristično je za određenu supstancu, što se može videti na hromatogramu (slika 7). Korišćenje visokog pritiska povećava linearnu brzinu i daje komponentama manje vremena za zadržavanje, što poboljšava rezoluciju hromatograma. Koriste se uobičajeni rastvarači, čisti ili u bilo kojoj kombinaciji (npr. voda, metanol, organski rastvarači...). Voda može sadržavati i neki pufer, u cilju poboljšanja razdvajanja. Moguće je koristiti i gradijentno eluiranje, što podrazumeva promenu sastava mobilne faze u toku eluiranja (Saunders and Blume, 1981).

6.2.5. Analiza sadržaja elemenata atomskom apsorpcionom spektrometrijom (AAS)

Atomski apsorpcioni spektrometar "Analyst 300, Perkin-Elmer" sa HCL lampama i MHS 15 Mercury/Hydride sistemom (slika 8), mernog opsega ($-0.500-3.000 \text{ \AA}$), opsega talasne dužine (185-860 nm) korišćen je za određivanje elemenata i sadržaja toksičnih elemenata. Svi eksperimenti su izvedeni u tri ponavljanja. Radni parametri su postavljeni prema preporuci proizvođača. Elementi su određivani korišćenjem vazduh-acetilen plamena.

Tumačenje dobijenih rezultata o sadržaju oligoelemenata i toksičnih elemenata izvršeno je na osnovu graničnih vrednosti objavljenih u:

1. ECOFI (2014)
2. Canadian Council of Ministers of the Environment (2005)
3. Estrada De Luis and Gomez Palacios (2013)
4. Brinton (2000): 4a Austria; 4b Belgium, 4c France, 4d Spain
5. Official Journal of the European Community (OJ, 1998)



Slika 8. Atomski apsorpcioni spektrometar "Analyst 300"

Svi reagensi koji su korišćeni u prikazanom radu bili su analitičke čistoće, osim ako nije drugačije naznačeno. Za sva razblaženja korišćena je dvosturko dejonizovana voda. Azotna kiselina (HNO_3 , Sigma Aldrich, USA) i vodonik-peroksid (H_2O_2 , Sigma Aldrich, USA) su bili super čistog kvaliteta. Sva plastika i staklo je očišćeno potapanjem u razblaženi azotne kiseline (1:9) i isprani su destilovanom vodom pre upotrebe. Standardni rastvori za kalibraciju su dobijeni razblaženjem osnovnog rastvora od 1000 mg l^{-1} .

Tačnost analitičke tehnike je proverena analizom sertifikovanog referentnog materijala.

Nakon optimizacije uslova digestije, oko 0,2 g je digestovano sa 6 ml koncentrovane HNO_3 i 2 ml koncentrovane H_2O_2 u mikrotalasnom digestivnom sistemu ("Ethos 1, Milestone", slika 9), sa temperaturnim opsegom ($25\text{-}300^\circ\text{C}$) i kapacitetom digestivne kivete 100 ml (Soylak et al., 2007).



Slika 9. Mikrotalasni digestion sistem „Ethos 1”

6.2.6. Osnovne hemijske karakteristike komposta

pH vrednost u KCl je merena potenciometrijski primenom digitalnog pHmetra (ph 700, Eutech Instruments, Singapur). Sadržaj organske materije je izračunat na osnovu sadržaja organskog ugljenika, koji je dobijen dihromatnom metodom i pomnožen sa van Bemmelen-ovim faktorom 1,72 (Van Bemmelen, 1980). Odnos C/N je dobijen računskim putem. Elektrokonduktivitet je određen mešanjem komposta i vode u odnosu 1:2,5 i pomoću Eutech Handheld meter kit (Thermoscientific, UK).

6.2.7. Statistička analiza

Za statističku analizu podataka korišćen je program SPSS version 23.0 (IBM Corp. released, 2015). Pošto su podaci dobijeni iz normlane distribucije, razlike između grupa analizirane su jednofaktorskom analizom varijanse (One-Way ANOVA), a u slučaju značajnih razlika, post hoc test (Turkey HSD test) korišćen je za dodatna poređenja između grupa. Statistička značajnost postavljena je na nivo $p < 0,05$.

7. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom delu doktorske disertacije su prikazani dobijeni rezultati primenom prethodno opisanih metoda i zatim urađene analize dobijenih rezultata koje su se odnosile na brzinu degradacije nikotina, sadržaj nikotina u finalnom proizvodu, sadržaj makro- i mikroelemenata i toksičnih elemenata u finalnom proizvodu.

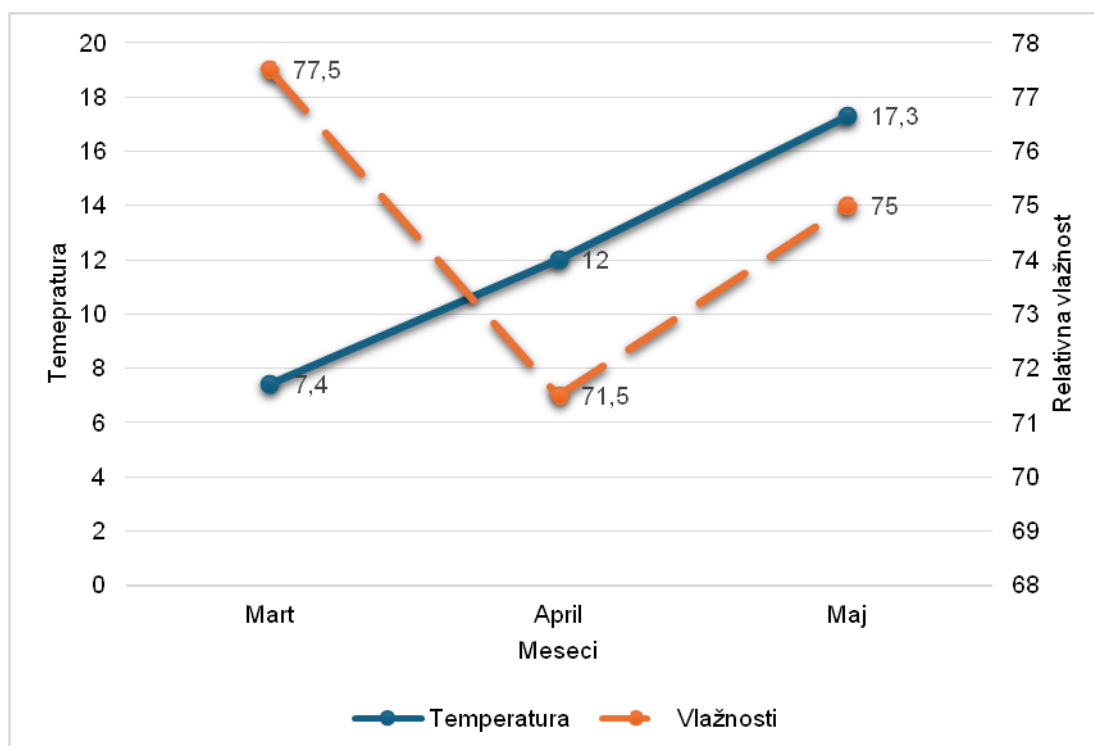
7.1. Kompostiranje duvanskog otpada sa ovčijim i kokošijim stajnjakom u prirodnim (nekontrolisanim) uslovima

Kompostiranje se može smatrati alternativnim sistemom upravljanja čvrstim otpadom i koristi se za recikliranje različitih vrsta organskog otpada (Abdul Kadir et al., 2016). Ovim procesom može se kontrolisati količina otpadnih materijala (Shymala and Belagali, 2012). Performanse procesa kompostiranja u velikoj meri zavise i od vrste organskog materijala, jer je ovaj proces pogodan samo za biorazgradive materijale (Ahmad et al., 2007). Zbog toga se i kompostiranje stajnjaka može smatrati načinom za rešavanje problema velikih količina ovog đubriva, posebno u uslovima velike stočarske proizvodnje (Radivojević i sar., 2005). Kompostiranjem životinjskih đubriva različitog porekla se postiže redukcija otpadne biomase, koja se pri tome transformiše u stabilan proizvod sa aspekta hemijskog kvaliteta. Međutim, Wortmann and Shapiro (2012) ukazuju da kompostiranje ovakvih materijala dovodi do gubitaka esencijalnih makroelemenata (azota, fosfora i kalijuma) i preporučuju direktnu primenu ovakvog đubriva. Sa druge strane, potencijalno prisustvo patogenih mikroorganizama i semena korova u životinjskim đubrivima, kao i nehomogenost mase, potvrđuju neophodnost kompostiranja đubriva.

Mnogi istraživači su se bavili kompostiranjem različitih organskih materijala, kao što su otpad nastao orezivanjem okućnica i vrtova, zeleni komunalni otpad, otpad iz stočnih farmi i stajnjak (Arriaga et al., 2017; Fillingham et al., 2017; Jiang et al., 2011; Xia et al., 2017; Zeng et al., 2018). U ovim istraživanjima primenjene su različite kombinacije kompostnih gomila i različite metode kompostiranja, usled čega su karakteristike procesa kompostiranja i finalni kvalitet komposta bili različiti. Preusch et al. (2002) ukazuju da kokošiji stajnjak ima visok sadržaj azota i nisku vlažnost, što stimuliše aktivnost mikroorganizama i njihovu sposobnost degradacije različitog čvrstog organskog otpada i proces kompostiranja. Sa druge strane, Bernal et al. (2009) navode da ovčiji stajnjak, kao čvrst organski otpad, može da bude pogodna sirovina za kompostiranje zbog povoljnog odnosa C/N i sadržaja organskog ugljenika. de Mendonça Costa et al. (2015) ukazuju da kompostiranje ovčijeg stajnjaka bez drugih tipova organskog otpada ne daje dobre rezultate zbog dugog vremena stabilizacije i niske nutritivne vrednosti komposta. Isti autori smatraju da je koncept kompostiranja ovčijeg stajnjaka sa drugim organskim otpadom znatno efikasniji, jer poboljšava karakteristike otpadnih proizvoda i ubrzava njihovu stabilizaciju.

U ovom ogledu, kompostiranje je obavljeno u nekontrolisanim uslovima, na otvorenom. Aeracija je obezbeđena povremenim ručnim prevrtanjem, a vlažnost je održavana konstantnom. Kompostne gomile su bile prekrivene lišćem a povremeno je obavljeno vlaženje kompostne gomile prskanjem po površini gomile. Proces kompostiranja je završen nakon tri meseca (90 dana), kada je temperatura komposta dostigla istu vrednost kao i spoljna temperatura.

S obzirom da je kompostiranje vršeno u prirodnim uslovima, na grafiku 2 su prikazani podaci za prosečnu mesečnu temperaturu i relativnu vlažnost vazduha po mesecima tokom kojih je obavljen eksperiment, a prema podacima Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZS).



Grafik 2. Prosečna temperatura (°C) i relativna vlažnost okoline (%) po mesecima

Eksperiment je trajao 90 dana, i po podacima RHMZS može se videti da je srednja mesečna temperatura bila u konstantnom porastu, dok je relativna vlažnost vazduha neznatno varirala u intervalu od 71,5 do 77,5%. Vrednosti ispitivanih klimatskih parametara su povoljne za aktivnost prirodnih mikrobnih populacija u kompostnim gomilama i omogućavaju dobijanje kvalitetnog finalnog proizvoda - komposta.

Takođe treba napomenuti da na prirodni proces kompostiranja utiče i količina padavina. U Tabeli 14 su prikazani podaci vezani za broj kišnih dana po mesecima. Iz tabele se može videti da je tokom eksperimenta veliki broj dana bio kišovit, pogotovo u maju mesecu. Međutim, količina padavina tokom procesa kompostiranja nije bila velika i nije ugrozila proces kompostiranja. Velika vlaga u kompostnim gomilama može da utiče na redukciju poroznosti kompostne gomile, inhibiciju protoka kiseonika, stvaranje anaerobnih zona, usporavanje razgradnje organske mase i povećanje emisije neprijatnih mirisa (Wei et al., 2014). Visoka vlažnost može da utiče i na oslobađanje vode u vidu ličata, u kojima se nalaze visoke koncentracije azota i fosfora, čime se oni gube iz finalnog proizvoda. Takođe, u ličatu se mogu naći toksični elementi, amonijačni azot i razna organska

jedinjenja, koja mogu uticati na pogoršanje kvaliteta životne sredine i izazvati sekundarno zagađenje (Pirsaheb et al., 2020).

Tabela 14. Broj kišnih dana u Bajinoj Bašti po mesecima (izvor: RHMZS)

Mesec	Broj kišnih dana
Mart	16
April	18
Maj	22

Rezultati prikazani u Tabeli 15 ukazuju na konstantno opadanje sadržaja nikotina tokom eksperimenta u kompostnim gomilama.

Tabela 15. Sadržaj nikotina (mg/kg) u ispitivanim uzorcima

Uzorak	Vreme inkubacije (dani)						
	početak	15	30	45	60	75	90
R	17.363,0	14.346,0	10.872,0	9.076,0	6.212,0	5.360,0	5.132,0
1	5.790,0	4.420,0	3.124,0	2.314,0	612,0	<10	<10
2	5.812,0	4.108,0	3.002,0	2.300,0	487,0	<10	<10

R - referentni uzorak, čist duvanski otpad (100%)

1 - duvanski otpad + ovčiji stajnjak (50:50%)

2 - duvanski otpad + kokošiji stajnjak (50:50%)

Početni sadržaj nikotina u duvanskom otpadu iznosio je 17.363 mg/kg. Adediran et al. (2004) su detektovali sadržaj nikotina od 12.180 mg/kg, dok su Civilini et al. (1997) u Italiji registrovali koncentraciju nikotina od oko 18.000 mg/kg, što je u skladu sa rezultatima iz Tabele 15. Sadržaj nikotina u duvanu gajenom u Indiji se kretao između 12.000 i 27.000 mg/kg (Anonymous, 2005). Nguyen et al. (2022) su zabeležili sadržaj nikotina u duvanskom otpadu od oko 6.000 mg/kg.

Pri samom mešanju duvanskog otpada sa drugim organskim otpadom, sadržaj nikotina se smanjio za 66,6% kod prve kompostne gomile, odnosno za 66,5% kod druge. Ovaj procenat smanjenja je čak i veći u odnosu na literaturne podatke (Adediran et al., 2004). U eksperimentu koji je obavljen u Južnoj Africi ispitivano je smanjenje sadržaja nikotina tokom kompostiranja duvanskog čvrstog otpada, mešanjem sa drugim organskim otpadom, pri čemu je samim razređivanjem mase sadržaj nikotina smanjen sa 12.180 mg/kg na 4.872 mg/kg (Adediran et al., 2004), što je iznosilo 60% smanjenja.

U eksperimentu koji su obavili istraživači sa Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu na istom uzorku duvanskog otpada, ali mešanjem sa drugim vrstama organskog otpada biljnog porekla (otpadni listovi kupusa, suvo lišće listopadnog drveća i zemlja), početni sadržaj nikotina je postupkom mešanja smanjen za 43% do 50% u početnim kompostnim gomilama (Mandić et al., 2016).

Kao što je prikazano u Tabeli 16, promena u sadržaju nikotina u svim tretmanima je bila primetna tokom procesa kompostiranja, pokazujući konstantno opadajući trend. Trend promene je u skladu sa rezultatima dobijenim u prethodnim studijama (Di et al., 2022; Zhu et al., 2024). Stepenn razgradnje nikotina zavisio je od vremena inkubacije i tipa kompostne smeše (Tabela 16).

Tabela 16. Procentualno smanjenje koncentracije nikotina u ispitivanim smešama

Uzorak	Vreme inkubacije (dani)						
	početak	15	30	45	60	75	90
	Procenat smanjenja sadržaja nikotina (%)						
R	100	17,4	37,4	47,7	64,2	69,1	70,4
1	100	23,7	46,0	60,0	89,4	>99,8	>99,8
2	100	29,3	48,3	60,4	92,6	>99,8	>99,8

R - referentni uzorak, čist duvanski otpad (100%)

1 - duvanski otpad + ovčiji stajnjak (50:50%)

2 - duvanski otpad + kokošiji stajnjak (50:50%)

Dobijeni rezultati iz Tabele 16 potvrđuju da se sadržaj nikotina u duvanskom otpadu smanjivao tokom inkubacije i bez tretmana. Delisle and Greer (2004) navode da mnogi kontaminanti u životnoj sredini podležu različitim prirodnim procesima bez učešća čoveka i dovode do redukcije količine, toksičnosti, mobilnosti, zapremine ili koncentracije polutanta u određenoj sredini. Ovi prirodni procesi obuhvataju biodegradaciju, disperziju, razblaživanje, sorpciju, volatilizaciju, hemijsku ili biološku stabilizaciju, transformaciju ili destrukciju polutanata. Međutim, smanjenje koncentracije nikotina u ovom tretmanu je veoma sporo; prirodna degradacija je najintenzivnija u periodu između 30. i 60. dana inkubacije i drastično se smanjuje nakon ovog perioda, tako da je na kraju inkubacionog perioda stepen degradacije nikotina iznosio oko 70%. Nijedno uzorkovanje čistog duvanskog otpada (uzorak R) tokom perioda inkubacije nije rezultiralo smanjenjem koncentracije nikotina ispod graničnih vrednosti koje je propisala Evropska Unija od 500 mg/kg (Civilini et al., 1997), što ukazuje da ovakav otpad ne može imati biološku vrednost. Rezultati iz ove tabele ukazuju i da dodavanje stajnjaka duvanskom otpadu utiče na povećanje stepena redukcije nikotina u kompostnoj gomili. Procenat smanjenja nikotina tokom inkubacionog perioda je izraženiji u tretmanu sa kokošijim stajnjakom u odnosu na ovčije.

Za razliku od referentnog uzorka (čist duvanski otpad), u uzorcima ovog otpada sa dodatkom ovčijeg i kokošijeg stajnjaka, sadržaj nikotina je nakon 75 dana procesa kompostiranja bio ispod granice detekcije (<10 mg/kg), ali je dinamika razgradnje nikotina neznatno varirala u različitim vremenskim intervalima. Sadržaj nikotina u tretmanu gde je dodat kokošiji stajnjak je nakon 60 dana kompostiranja iznosio 487 mg/kg i time je ispunjen standard o graničnoj vrednosti nikotina od maksimalno 500 mg/kg. Dakle, dodavanje kokošijeg stajnjaka duvanskom otpadu ubrzalo je stepen degradacije nikotina i ispunjenje standarda o sadržaju nikotina za svrstavanje duvanskog otpada u kategoriju neopasnog otpada. Na osnovu parametara okolnog vazduha prikazanih na grafiku 2. može se zaključiti da je dinamika razlaganja nikotina zavisila od temperature i relativne vlažnosti vazduha. Razgradnja nikotina povećavala se sa porastom temperature i relativne vlažnosti vazduha.

I drugi autori ukazuju na značaj dodavanja kokošijeg stajnjaka duvanskom otpadu u formiranju stabilnog proizvoda komposta. Adediran et al. (2004) smatraju da povećanje temperature tokom kompostiranja utiče na stimulaciju mikrobne aktivnosti i bržu degradaciju čvrstog organskog otpada.

Takođe, isti autori su u svojim istraživanjima dobili kompost alkalne reakcije, što ukazuje na njegovu stabilnost. Stepenn redukciije nikotina u smeši duvanskog otpada i kokošijeg stajnjaka iznosila je 97,3%, što je u skladu sa rezultatima prikazanim u Tabeli 16. Nguyen et al. (2022) su ustanovili da je dodavanje kokošijeg stajnjaka duvanskom otpadu uticalo na formiranje komposta sa najvećim sadržajem organske materije i najvećom koncentracijom azota i fosfora. Isti autori su utvrdili smanjenje sadržaja nikotina sa 6.000 mg/kg na oko 200 mg/kg, ali uz dodatak mikrobnih inokulanata koji su ubrzali proces kompostiranja i degradaciju nikotina. Ovu rezultati ukazuju da je dodavanje stajnjaka duvanskom otpadu i kompostiranje uticalo na smanjenje sadržaja nikotina do prihvatljivih koncentracija za kompost.

Nakon 90 dana, a na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da su procesi kompostiranja i smanjenje sadržaja nikotina uspešno završeni. Na kraju eksperimenta, dobijena je homogena i uniformna masa crne boje u oba tretmana sa dodatkom stajnjaka a sadržaj nikotina je smanjen na ispod 10 mg/kg u oba eksperimentalna tretmana, što je znatno ispod vrednosti propisane direktivom EU. U istraživanju autora iz Srbije (Mandić et al., 2016) proces je, pod delimično kontrolisanim uslovima, takođe trajao tri meseca.

U kompostnim gomilama gde su kompostirani duvanski otpad i organska đubriva, pored smanjenja nikotina, utvrđen je i gubitak mase (Tabela 17).

Tabela 17. Gubitak mase u toku procesa kompostiranja

Kompostna gomila	Početna masa (kg)	Krajnja masa (kg)	Gubitak (%)
1*	10	3,30	67
2*	10	3,50	65

1 - duvanski otpad + ovčiji stajnjak

2 - duvanski otpad + kokošiji stajnjak

* Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 između oba uzorka

Kod kompostne gomile broj 1 gubitak mase je 67%, dok je kod gomile broj 2 gubitak 65%. Izvešena je statistička analiza podataka i dobijeni rezultati su pokazali da postoji statistički značajna razlika između uzoraka ($p < 0,05$). U ranijim istraživanjima procesa kompostiranja, kod čistog duvanskog otpada skoro da nije ni zabeležen gubitak mase, jer je iznosio svega 6,87% (Mandić, 2015). Međutim, Hwang et al. (2020) ukazuju da se kompostiranjem redukuje zapremina stajnjaka kao rezultat biohemijskih mineralizacionih procesa organskih jedinjenja. Ajmal et al. (2020) su ispitivali proces kompostiranja različitog poljoprivrednog otpada, kao što su kokošiji stajnjak, otpad od povrća i pirinča u kontrolisanim uslovima i ustanovili da je stepenn redukciije biomase iznosio 78%. Kompostiranjem pšenične slame, Verma et al. (2014) su ustanovili da se procenat smanjenja biomase, u zavisnosti od metode kompostiranja, kretao u intervalu od 40,2% do 50,01%, što je manje u odnosu na rezultate iz Tabele 17. Ovi autori ukazuju na pozitivnu korelaciju između smanjenja biomase kompostne gomile i stepena mineralizacije organskih jedinjenja. S obzirom da je na kraju procesa kompostiranja dobijen homogen kompost uniformnih karakteristika i crne boje, smatra se da je stepenn njegove zrelosti veoma visok. Zrelost komposta uglavnom podrazumeva stepenn dekompozicije organskih jedinjenja (Gomez-Brandon et al., 2008) tokom aktivne faze kompostiranja i odsustvo patogenih mikroorganizama i semena korova (Wu et al., 2000). Obe karakteristike su veoma značajne za kvalitet i komercijalni potencijal finalnog proizvoda.

Međutim, ukoliko kompost nije dovoljno sazreo ili je nestabilan, on nije pogodan za korišćenje. Primena nezrelog ili nestabilnog komposta može dovesti do oduzimanja kiseonika biljkama, do mobilizacije dostupnih toksičnih elemenata, pojave patogenih bakterija, parazita, akumulacije soli i jonova i ugrožavanja klijavosti semena i rasta rasada (Wang et al., 2020).

7.1.1. Procena hemijskog kvaliteta komposta proizvedenog od duvanskog otpada i ovčijeg i kokošijeg stajnjaka

Kompostiranje čvstog organskog otpada predstavlja važan deo u upravljanju otpadom jer dobijeni proizvod predstavlja kvalitetno organsko đubrivo koje povoljno utiče na fizička, hemijska i biološka svojstva zemljišta. Međutim, primena i kvalitet dobijenog komposta moraju biti kontrolisani, jer početni materijal može sadržavati i toksične elemente i druge hemijske faktore rizika za biljnu proizvodnju.

U Tabeli 18 prikazan je sadržaj ispitivanih elemenata u kompostnim gomilama, na kraju procesa.

Tabela 18. Sadržaj ispitivanih elemenata u kompostnim gomilama

Parametar	n	R X± SD	1 X± SD	2 X± SD
Sadržaj azota, %*	3	1,84±0,15	2,26±0,10	1,62±0,11
Sadržaj kalijuma %*	3	1,80±0,17	2,23±0,11	2,78±0,14
Sadržaj kalcijuma, %*	3	3,37±0,20	4,95±0,17	5,11±0,21
Sadržaj fosfora, %**	3	0,19±0,04	0,47±0,04	0,72±0,04
Sadržaj magnezijuma, %*	3	0,197±0,001	0,57±0,01	0,47±0,01
Sadržaj pepela, %*	3	41,16±0,3	34,85±0,6	54,03±0,75
Sadržaj kadmijuma, mg/kg*	3	3,575±0,023	2,184±0,05	1,867±0,08
Sadržaj olova, mg/kg**	3	7,800±0,266	5,533±0,30	6,489±0,40
Sadržaj arsena, mg/kg*	3	7,760±0,388	2,260±0,30	5,144±0,25
Sadržaj žive, mg/kg	3	<0,020	< 0,020	< 0,020
Sadržaj bakra, mg/kg	3	33,813±0,02	21,66±0,08	40,99±0,20
Sadržaj cinka, mg/kg*	3	49,650±0,32	104,86±0,5	202,74±1,05
Sadržaj gvožđa, mg/kg**	3	873,980±0,9	2 420,8±8,20	3 648,4±9,1
Sadržaj mangana, g/kg	3	301,302±0,9	481,12±3,42	526,50±3,85

R - referentni uzorak, čist duvanski otpad (100%)

1 - duvanski otpad + ovčiji stajnjak (50:50%)

2 - duvanski otpad + kokošiji stajnjak (50:50%)

Statistička zavisnost praćena je samo između finalnih proizvoda

** Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 između svih uzoraka

* Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 između minimalna dva uzorka

Ukupni sadržaj hranljivih materija, azota, fosfora i kalcijuma je važan indikator za procenu kvaliteta komposta i obično se koristi za procenu zrelosti i kvaliteta komposta (Mahongnao et al., 2023). U proseku, kompost sadrži 0,35% N; 0,20% P; 0,25% K i 3,7% Ca (Radivojević et al., 1998). U odnosu na navedene vrednosti, sve eksperimentalne kompostne gomile uglavnom imaju veći sadržaj pomenutih elemenata. Dobijeni rezultati ukazuju na statističku značajnost razlika u pogledu sadržaja većine ispitivanih elemenata u kompostnim gomilama (izuzev bakra, žive i mangana).

Azot je esencijalni element za rast i razvoj biljaka i uključen je u mnoge važne funkcije, kao što su proces fotosinteze, aktivnosti fitohormona i proizvodnja biljne biomase. Azot ima značajnu ulogu u poboljšanju rasta korena, što na kraju može poboljšati unos hranljivih materija, ravnotežu hranljivih materija i rast i razvoj biljke (Mahongnao et al., 2023). Nedostaci N, ali i K, P i Ca mogu imati mnoge štetne efekte na rast i razvoj biljaka, kao što su oštećenje rasta sadnica, hloroza, smanjena produkcija biljne biomase, odloženo sazrevanje i razvoj ploda. Sadržaj azota u duvanskom otpadu iznosio je 1,84%. Posle dodavanja ovčijeg stajnjaka i procesa kompostiranja, sadržaj azota je povećan na 2,26%, dok je dodavanje kokošijeg stajnjaka uticalo na smanjenje sadržaja ovog elementa (1,62%). Međutim, dodavanje kokošijeg stajnjaka i kompostiranje uticali su na statistički značajan porast sadržaja Ca za oko 34%, dok je sadržaj fosfora uvećan za oko 4 puta u odnosu na referentni uzorak (Tabela 18). Kalcijum je značajan za fiziološke procese u ćelijama. Deluje kao aktivator enzima i smanjuje toksičnost drugih metalnih jona. Fosfor pomaže razviće korenovog sistema biljaka, učestvuje u stvaranju hlorofila, iako ne ulazi u njegov sastav i ubrzava zrenje lišća (Radojičić, 2016).

I magnezijum (Mg) je važan element za biljke jer je sastavni deo hlorofila i ima važnu ulogu u sintezi, aktivnosti i metabolizmu enzima u semenu (Che et al., 2018). Sadržaj Mg je statistički značajno povećan mešanjem duvanskog otpada sa ovčijim (2,89 puta) i kokošijim stajnjakom (2,39 puta). Ovi rezultati pokazuju da bi dodavanje životinjskih ekstremiteta u kompostne gomile moglo povećati stopu razgradnje organskog otpada, uz zadržavanje efekata ukupnog azota, fosfora, kalcijuma i magnezijuma. Dodavanjem ovčijeg stajnjaka, sadržaj pepela je smanjen, dok je dodavanjem kokošijeg stajnjaka njegov sadržaj povećan.

Prema kriterijumima koji su predloženi od strane OJ (1998), sadržaj azota bi trebalo da bude do 2%. Ovaj kriterijum ispunjavaju komposti iz tretmana R i 2. Castro and Gomez (2010) smatraju da sadržaj N treba da bude 1,5% a fosfora 0,2%. Po ovim kriterijumima, samo uzorak R blago odstupa od preporučenog sadržaja fosfora, dok kompost dobijen mešanjem duvanskog otpada i organskih đubriva zadovoljava pomenuti kriterijum.

Prema biološkoj funkciji koju imaju metali se dele na esencijalne i neesencijalne.

U grupu esencijalnih metala ubrajaju se Cu, Fe, Zn, Mn, Mo, Ni. Neophodni su za život, pa svako smanjenje njihovog unošenja ili potpuni izostanak može da dovede do ozbiljnih poremećaja u funkcionisanju živih organizama, pa čak do smrti. Suprotno tome, kada se njihova koncentracija u organizmu poveća mogu delovati i toksično. S obzirom da su u organizmu prisutni samo u malim koncentracijama nazivaju se i mikroelementima.

U grupu neesencijalnih metala ubrajaju se elementi koji nisu biogeni i koji deluju isključivo toksično (Pb, Cd, Al, Hg). Arsen, kao metaloid, takođe deluje toksično.

Rezultati iz Tabele 18 ukazuju da se sadržaj esencijalnih metala uglavnom uvećao dodavanjem organskih đubriva u odnosu na referentni uzorak, dok je sadržaj toksičnih elemenata smanjen. Dodavanjem kokošijeg stajnjaka, sadržaj bakra (Cu) je povećan za 17,51% a cinka (Zn) čak četiri puta u odnosu na vrednost u kompostnoj gomili sa referentnim uzorkom. Inače, Cu i Zn se dodaju komercijalnoj hrani za živinu kako bi se podstakla otpornost na bolesti i poboljšao rast

kostiju i tkiva (Olukosi et al., 2018). Visoke koncentracije ovih aditiva mogu se naći u stajnjaku zbog njihove intenzivne i neregulirane primene, posebno usled slabe apsorpcije ovih elemenata kod pilića (Bao and Choct, 2009). Povećane varijacije u koncentraciji metala mogu se pripisati i smanjenju težine komposta, što je uzrokovano mikrobnom transformacijom organske materije u ovom periodu (Kang et al., 2011). Sadržaj gvožđa i mangana je takođe povećan dodavanjem organskih đubriva u odnosu na referentni uzorak. U ishrani kokošaka, mangan zauzima značajno mesto i ima ulogu u regulaciji enzimske aktivnosti, razvoju kostiju i metabolizmu nutrijenata (Tufarelli and Laudadio, 2017), dok Zhang et al. (2020) ukazuju na potrebe za esencijalnim metalima, među kojima su i Fe i Mn, u ishrani jagnjadi.

Evropski konzorcijum industrije organskih đubriva (ECOFI, 2014), u maju 2014. godine, predložio je kriterijume za definisanje bezbednosti organskih đubriva (Tabela 19).

Tabela 19. Maksimalno dozvoljene vrednosti sadržaja toksičnih elemenata u kompostu

Parametar	1	2	3	4a	4b	4c	4d
Cd (mg/kg)	3	3	3	4	5	8	40
Pb (mg/kg)	120	150	200	500	150	120	1200
As (mg/kg)	-	13	-	-	-	-	-
Cu (mg/kg)	200	400	500	400	100	-	1750
Zn (mg/kg)	600	700	800	1000	1000	-	4000
Hg (mg/kg)	2	0,8	3	4	5	8	25

Legenda:

1 ECOFI (2014)

2 Canadian Council of Ministers of the Environment (2005)

3 Estrada De Luis and Gomez Palacios (2013)

4 Brinton (2000): 4a Austria; 4b Belgium, 4c France, 4d Spain

Rezultati u Tabeli 19 ukazuju da je samo sadržaj kadmijuma (Cd) u kompostnoj gomili referentnog uzorka bio nešto iznad dozvoljenih granica kriterijuma ECOFI i Kanadskog ministarstva životne sredine (za 0,575 mg/kg ili 16%). Dodavanje organskih đubriva duvanskom otpadu uticalo je na smanjenje sadržaja kadmijuma u kompostu; dodavanje ovčijeg stajnjaka rezultiralo je smanjenjem sadržaja ovog elementa za oko 39% a kokošijeg stajnjaka za oko 48%. Dobijeni rezultati jasno ukazuju da je prisustvo kadmijuma u finalnom proizvodu rezultat prisustva ovog elementa u duvanskom otpadu. Biljka duvana korenovim sistemom apsorbuje jone metala i različita jedinjenja iz zemljišta i translokacijom iz korena ka listovima (Richter et al., 2017). Mnogobrojni faktori utiču na apsorpciju metala od strane biljaka duvana: prirodna koncentracija metala u zemljištu, upotreba oplemenjivača, kao što su fosforna đubriva, životinjski otpad i/ili otpadni mulj, i pH vrednost zemljišta (Adamu et al., 1989; Bache et al., 1985; Mulchi et al., 1987). Biljka duvana sadrži veliki broj biopristupačnih toksičnih elemenata, kao što su barijum, kadmijum, olovo, nikl, uran itd. (Fresquez et al., 2013; Pappas et al., 2015). Rodgman and Perfetti (2013) navode da je u duvanskom dimu identifikovano 73 metala. Keller et al. (2005) navode da je koncentracija kadmijuma u listu duvana između <0,5 i 5 mg/kg. Međutim, Melkamu et al. (2022) su ustanovili da je sadržaj kadmijuma u listovima duvana oko 0,01 mg/kg.

Dobijeni rezultati potvrđuju da se organski materijal, ovčiji i kokošiji stajnjak, može uspešno koristiti za proces kompostiranja duvanskog otpada, prvenstveno u cilju smanjenja sadržaja nikotina a i za poboljšanje sadržaja esencijalnih makro- i mikro-elemenata.

Slične rezultate su dobili i turski naučnici u svom eksperimentu (Okur et al., 2008). Kompostiranjem duvanskog otpada i stajskog đubriva dobijen je značajno veći sadržaj organskog

ugljenika, ukupnog azota i ostalih makrohraniva, što je pozitivno uticalo na poboljšanje hemijskih i bioloških parametara kvaliteta zemljišta, kao i prinos useva.

Značaj ovog dela eksperimenta je u činjenici da se proces biorazgradnje može odvijati u prirodnim uslovima. Bez obzira na duže trajanje procesa, on ne zahteva velika ekonomska ulaganja. Takođe, ovaj eksperiment je dokazao da se proces kompostiranja može odvijati na lokaciji na kojoj se odlaze otpad, što može dovesti do uštede na troškovima transporta. Kompostiranje se može vršiti na otvorenom i na mestu generisanja otpada, čime se smanjuju troškovi energije i transporta. U ovim istraživanjima, proces kompostiranja je završen za 90 dana. Nguyen et al. (2022) su obavili proces kompostiranja u periodu od jula do septembra 2019. godine, što je u skladu sa rezultatima ove doktorske disertacije. Saithep et al. (2009) su dodavanjem kravljeg stajnjaka i mikrobnog inokulanta duvanskom otpadu dobili kompost za vreme od 50 dana, ali je stepen redukcije nikotina bio znatno niži u odnosu na rezultate ove doktorske disertacije.

7.1.2. Osnovna hemijska svojstva komposta dobijenog mešanjem duvanskog otpada i stajnjaka

Rezultati hemijskih analiza prikazani u Tabeli 20 ukazuju da su dobijeni komposti alkalne reakcije sredine. Bøen et al. (2006) navode da je optimalna pH vrednost komposta između 6,0 i 9,5, pri čemu su niže vrednosti karakteristične za kompost dobijen od biljnih ostataka a veće vrednosti za kompost nastao mešanjem sa stajnjakom, što je u skladu sa dobijenim rezultatima. Niže vrednosti reakcije sredine ukazuju na nastanak nezrelog komposta, ali bi se on mogao primeniti za gajenje biljaka koje podnose niže pH vrednosti (npr. borovnica).

Tabela 20. Rezultati osnovnih hemijskih analiza komposta dobijenog mešanjem duvanskog otpada i stajnjaka

Uzorak	pH u KCl	Organska materija (%)	Odnos C/N	EC (mS/cm)
1	8,88	20,71	5,3:1	7,65
2	8,85	36,19	13,0:1	12,04

1 - duvanski otpad + ovčiji stajnjak (50:50%)

2 - duvanski otpad + kokošiji stajnjak (50:50%)

EC - elektrokonduktivitet

Kompost dobijen od kokošijeg stajnjaka imao je visok sadržaj organske materije (36,19%), dok je ovaj sadržaj bio znatno niži u kompostu koji je dobijen mešanjem duvanskog otpada sa ovčijim stajnjakom (20,71%). Kokošiji stajnjak ima veliku količinu organske materije (Sharma et al., 2022), što je uticalo i na dobijanje komposta sa navedenom karakteristikom. Odnos C/N je bio izraženiji u kompostu dobijenom mešanjem duvanskog otpada i kokošijeg stajnjaka (13,0:1). Mondini et al. (1996) su ispitivali C/N odnos tokom kompostiranja kokošijeg stajnjaka i ustanovili da se ovaj parametar između 4. i 65. dana kompostiranja kreće u intervalu od 13,6 do 16,7, pri čemu su niže vrednosti dobijene u poslednjim fazama procesa kompostiranja. Dodavanje kokošijeg stajnjaka duvanskom otpadu uslovalo je veći elektrokonduktivitet (12,04) u odnosu na dodavanje ovčijeg stajnjaka (7,65).

Adediran et al. (2004) su ispitivali navedeni parametar kod različitih vrsta otpada i stajnjaka i ustanovili da je EC bio najveći u duvanskom otpadu, ostacima kupusa i kokošijem stajnjaku. Kompostirani duvanski otpad se odlikuje veoma visokim vrednostima EC. Cercioglu et al. (2012) su u svojim istraživanjima koristili kompostirani duvanski otpad koji je imao vrednost EC od 40 dS/m. Sa druge strane, ovčiji stajnjak je imao veće vrednosti EC u odnosu na goveđi ili stajnjak nastao mešanjem ovčijeg i goveđeg stajnjaka (Su et al., 2024).

7.2. Kompostiranje duvanskog otpada sa biljnim (organskim) otpadom iz domaćinstva

7.2.1. Morfološka i molekularna karakterizacija nikotofilnih bakterija

Iz duvanskog otpada su metodom obogaćenja na mineralnoj tečnoj podlozi uz dodatak 4% nikotina izolovana četiri bakterijska izolata. Izolati su označeni oznakama ID3, ID4, ID5 i ID6. Svi izolati pripadali su gram-pozitivnim štapićima koji formiraju spore, sa malim kremastim kolonijama na hranljivom agaru. Izolati ID3, ID4 i ID5 imali su blago zaobljene krajeve. Izolati ID3 i ID5 su se odlikovali pojedinačnim štapićima, dok je izolat ID4 uglavnom formirao štapiće u parovima a retko u lancima. Izolat ID6 formirao je štapiće većih dimenzija u odnosu na ostale izolate, koji su bili raspoređeni u lancima.

Dobijene sekvence 16S rDNK izolata ID3, ID4, ID5 i ID6 analizirane su primenom BLAST-a. Sekvenca izolata ID3, ID4, ID5 i ID6 sastojala se od 1385, 1245, 1405 i 1387 nukleotida, respektivno. Poređenje sekvence izolata ID3 sa sekvencama u bazi podataka pokazalo je 100% sličnosti sa parcijalnom sekvencom vrste *Brevibacillus* sp. (GenBank Acc. No. KKS170837.1), dok je sekvenca izolata ID4 pokazala maksimalnu sličnost sa nekoliko sojeva *Brevibacillus* sp. (GenBank Acc. Nos. KKS170837.1; KF151189.1; JKS897910.1 itd.) i *Brevibacillus laterosporus* (GenBank Acc. Nos. KI949476.1; KT363756.1; KJ476900). S druge strane, sekvenca izolata ID5 pokazala je 99% sličnosti sa sojevima bakterija *Brevibacillus* sp. (GenBank Acc. Nos. JKS897910.1; KKS170837.1; KU500374.1 itd.) i *Brevibacillus laterosporus* (GenBank Acc. Nos. KT363754.1; KM091710.1; KJ398346.1 itd.), dok je sekvenca izolata ID6 pokazala 99% sličnosti sa parcijalnom sekvencom *Bacillus licheniformis* soja LTV7 (GenBank Acc. No. KM289130.1). U nekoliko duvanskih proizvoda, Di Giacomo et al. (2017) i Rubinstein and Pedersen (2002) otkrili su prisustvo *Brevibacillus* sp. i *Bacillus licheniformis*, respektivno. Chattopadhyay et al. (2023) su detektovali prisustvo bakterija iz rodova *Bacillus* i *Brevibacillus* u cigaretama i cigarilosima. Han et al. (2021) su izolovali bakteriju *Bacillus amyloliquefaciens* iz duvanskog otpada koja je imala sposobnost produkcije 2,3-butanediola. Listovi duvana sadrže veliki broj mikroorganizama (Zhou et al., 2020), među kojima su najbrojnije vrste rodova *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Sphingomonas*, *Pantoea* i *Methylobacterium* (Huang et al., 2010; Zhou et al., 2020). Ove bakterije imaju sposobnost razgradnje makromolekula organske materije u listovima duvana (Liu et al., 2021). Rubinstein and Pedersen (2002) su detektovali *B. licheniformis* u duvanu za žvakanje.

Predstavnici rodova *Bacillus* i *Brevibacillus* pripadaju kolu Firmicutes. Predstavnici ovog kola, na osnovu istraživanja koja su obavili Zhu et al. (2024), odgovorni su za degradaciju velikog broja ugljovodonika. Njihovi ekstracelularni enzimi ne učestvuju samo u degradaciji lignina, celuloze i hemiceluloze (Kim et al., 2008), već i u hidrolizi šećera, proteina i lipida (Manios, 2004).

Najveći broj predstavnika ovog kola su gram-pozitivne bakterije i stvaraju endospore koje pomažu u preživljavanju nepovoljnih uslova. Vlyssides et al. (2008) smatraju da su to osnovni razlozi dominacije predstavnika kola Firmucutes u odnosu na predstavnike drugih kola u procesu kompostiranja.

Sposobnost biorazgradnje različitih organskih jedinjenja pomoću bakterija rodova *Brevibacillus* sp. i *Bacillus licheniformis* je dobro dokumentovana. Bakterijski sojevi koji pripadaju rodu *Brevibacillus* sp. igraju važnu ulogu u biorazgradnji organskih zagađivača, a to su fenol (Yang and Lee, 2007), malation (Singh et al., 2012), fenantren (Reddi et al., 2010), itd. Sa druge strane, *B. licheniformis* se odlikuje sposobnošću degradacije sirove nafte (Khanpour-Alikelayeh et al., 2020), transformacije mikroplastike (Kučić Grgić et al., 2021), prečišćavanja otpadnih voda opterećenih organskim zagađenjem (Ayao and Yusuf-Salihi, 2022) i efluenta iz tekstilne industrije (Ajao and Awe, 2018), što potvrđuje potencijal ove bakterije u degradaciji širokog spektra organskih jedinjenja.

7.2.2. Razgradnja nikotina tokom kompostiranja duvanskog i organskog otpada iz domaćinstva

Duvanski otpad se uglavnom odlikuje fitotoksičnošću zbog visokih koncentracija alkaloida (Adediran et al., 2003). Ukoliko se obavlja neadekvatno upravljanje ovim otpadom, može doći do pogoršanja kvaliteta životne sredine (Mumba and Phiri, 2008). Kompostiranje ovog otpada zajedno sa drugim organskim otpadom dovodi do smanjenja sadržaja alkaloida i konverzije duvanskog otpada u korisne proizvode (Adediran et al., 2004; Okur et al., 2008; Sezai and Ali, 2016). Značaj bezbedne reciklaže duvanskog otpada je ispitana u mnogim istraživanjima procesa kompostiranja (Piotrowska-Cyplick et al., 2009; Briški et al., 2012; Kučić and Briški, 2017).

Tokom eksperimenta došlo je do konstantnog smanjenja sadržaja nikotina u svim ispitivanima tretmanima. Smanjenje sadržaja nikotina zavisilo je od sastava početne kompostne gomile, prisustva nikotofilnih bakterija i vremena uzorkovanja (Tabela 21).

Tabela 21. Sadržaj nikotina (mg/kg) u ispitivanim uzorcima mešavine duvanskog i organskog otpada iz domaćinstva

Uzorak	Prvi dan $\bar{x} \pm SD$	Prva nedelja $\bar{x} \pm SD$	Druga nedelja $\bar{x} \pm SD$	Treća nedelja $\bar{x} \pm SD$	Četvrta nedelja $\bar{x} \pm SD$
KB	9790,6 $\pm$ 881,2	5687,4 $\pm$ 597,2	2089,8 $\pm$ 209,0	34,0 $\pm$ 4,0	< 10,0
PKB	9790,6 $\pm$ 881,2	5987,0 $\pm$ 628,6	2548,8 $\pm$ 267,6	41,6 $\pm$ 4,4	< 10,0
NKB	9790,6 $\pm$ 881,2	6102,8 $\pm$ 610,3	2970,3 $\pm$ 326,7	45,7 $\pm$ 5,1	< 10,0
PK	9790,6 $\pm$ 881,2	6784,5 $\pm$ 746,3	3384,6 $\pm$ 270,8	648,8 $\pm$ 61,6	376,2 $\pm$ 40,5
R	17363,0 $\pm$ 1389,0	15882,6 $\pm$ 1588,3	13234,2 $\pm$ 1588,1	10515,3 $\pm$ 946,4	8812,6 $\pm$ 881,3

KB - uzorak sa bakterijama u kontrolisanim uslovima

PKB - uzorak sa bakterijama u polukontrolisanim uslovima

NKB - uzorak sa bakterijama u nekontrolisanim uslovima

PK - uzorak bez bakterija u polukontrolisanim uslovima

R - referentni uzorak u polukontrolisanim uslovima (100% duvanski otpad bez bakterija)

Na početku eksperimenta, nivo nikotina u duvanskom otpadu iznosio je 17.363 mg/kg, dok je nakon mešanja sa otpadom iz domaćinstva smanjen na 9.790,6 mg/kg (za oko 43,6%). Sadržaj nikotina je već nakon prve nedelje drastično smanjen u svim tretmanima gde su dodate nikotofilne bakterije, dok je smanjenje bilo slabije izraženo u tretmanu bez prisustva ovih bakterija (PK). Ovakav rezultat je bio očekivan, imajući u vidu temperaturne promene u kompostnim gomilama (grafik 4a), kao i promene u sadržaju vlage u gomilama (grafik 4b). Najmanje smanjenje sadržaja nikotina zabeleženo je u referentnom uzorku. Dalje smanjenje sadržaja nikotina nastavljeno je i u drugoj nedelji eksperimenta, posebno u tretmanima sa dodatim nikotofilnim bakterijama, dok je u tretmanu PK i R ovo smanjenje bilo slabije izraženo. Sadržaj nikotina u tretmanima KB, PKB i NKB je posle treće nedelje bio veoma nizak, odnosno ispod graničnih vrednosti koje je propisala EU od 500 mg/kg. U tretmanu PK je posle treće nedelje zabeleženo dalje smanjenje sadržaja nikotina ali je sadržaj bio veći od navedene granične vrednosti. U četvrtoj nedelji, sadržaj nikotina u ovom tretmanu je smanjen ispod navedene granične vrednosti. U tretmanu R, sadržaj nikotina se i dalje smanjivao, ali je na kraju inkubacionog perioda sadržaj i dalje bio veoma visok (8.812,6 mg/kg).

Sadržaj nikotina je bio različit između ispitivanih tretmana. Rezultati pokazuju da se sadržaj nikotina u tretmanu KB smanjivao najbrže i dostigao najnižu vrednost (34,0 mg/kg) nakon treće nedelje procesa kompostiranja. U tretmanu PKB razgradnja nikotina je bila brža u odnosu na tretman NKB. Na kraju treće nedelje eksperimenta u tretmanu PKB sadržaj nikotina bio je za 22,35%, u tretmanu NKB za 34,41% i u tretmanu PK za oko 19 puta veći nego u tretmanu KB.

Ovaj rezultat otvara nove ideje i za proširenje istraživanja za poboljšanje kompostiranja u nekontrolisanim uslovima životne sredine na mestima nastajanja otpada. Štaviše, dodavanje bakterija spada u ekonomski prikladniju, primenljiviju (Sharma et al., 2022) i održiviju metodu za uklanjanje različitih kontaminanata (Kohli, 2013) u poređenju sa konvencionalnim tehnikama. Takođe, i dodavanje vode u određenim intervalima bi rezultiralo povećanjem vlage u gomili, što bi ubrzalo proces razgradnje nikotina.

Nakon četiri nedelje eksperimentalnog perioda, u sva tri tretmana gde su dodate nikotofilne bakterije, sadržaj nikotina je bio manji od 10 mg/kg. U tretmanu PK, gde ove bakterije nisu dodate, sadržaj nikotina od 376,2 mg/kg je takođe bio prihvatljiv, ali nakon 4 nedelje perioda inkubacije. Sadržaj nikotina je opadao nešto sporije u referentnom uzorku (R), postigavši smanjenje od 49% posle 28 dana u odnosu na početnu koncentraciju. Shodno tome, u ranijim istraživanjima je ustanovljeno da se dužina vremena potrebnog za kompostiranje, zbog visoke koncentracije nikotina (Zhao et al., 2017) i velikih zahteva za prostorom (Kučić and Briški, 2017), može smatrati nedostatkom procesa kompostiranja čistog duvanskog otpada.

Procenat razgradnje nikotina u odnosu na početnu koncentraciju po tretmanima prikazan je u Tabeli 22.

Rezultati iz Tabele 22 ukazuju da je stepen degradacije nikotina u tretmanima gde su dodate nikotofilne bakterije bio najveći posle prve nedelje procesa kompostiranja i kretao se u intervalu od 37,7% do 41,9%. Između prve i druge nedelje, procenat smanjenja nikotina je bio manji u odnosu na prvi ispitivani period i kretao se od 32 (tretman NKB) do 36,8% (tretman KB). Između druge i treće nedelje, smanjenje sadržaja nikotina je bilo još manje: od 21% u tretmanu KB do 29,8% u tretmanu NKB. Sa druge strane, u tretmanu PK, gde nikotofilne bakterije nisu dodate, najveće procentualno smanjenje sadržaja nikotina bilo je između prve i druge nedelje inkubacije (34,7%). Iz grafika 4a i 4b jasno se vide promene temperature i vlažnosti u kompostnim gomilama, što je od velike važnosti za pravilan tok procesa kompostiranja. Li et al. (2024) ukazuju da je temperatura jedan od najvažnijih faktora za mikrobni rast i enzimsku aktivnost. Veća mikrobna

biomasa rezultiraće manjim sadržajem nikotina. Međutim, optimalni uslovi za degradaciju nikotina variraju u zavisnosti od primenjenih nikotofilnih bakterija.

Tabela 22. Razgradnja nikotina (%) u ispitivanim tretmanima

Uzorak	Prvi dan	Prva nedelja	Druga nedelja	Treća nedelja	Četvrta nedelja
KB	100	41,9	78,7	99,7	>99,9
PKB	100	38,8	74,0	99,6	>99,9
NKB	100	37,7	69,7	99,5	>99,9
PK	100	30,7	65,4	93,4	96,2
R	100	8,5	23,8	39,4	49,2

KB - uzorak sa bakterijama u kontrolisanim uslovima

PKB - uzorak sa bakterijama u polukontrolisanim uslovima

NKB - uzorak sa bakterijama u nekontrolisanim uslovima

PK - uzorak bez bakterija u polukontrolisanim uslovima

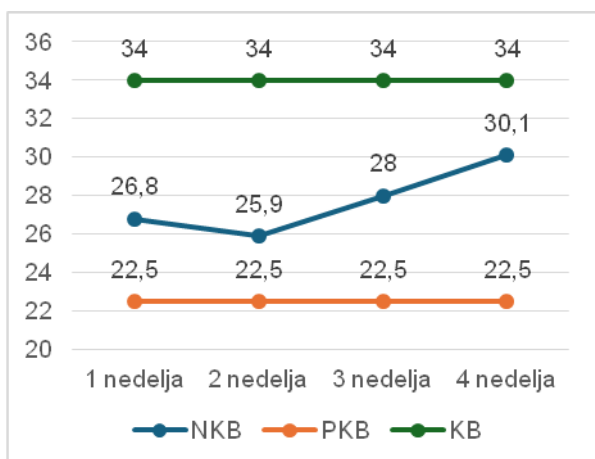
R - referentni uzorak u polukontrolisanim uslovima (100% duvanski otpad bez bakterija)

Dobijeni rezultati nedvosmisleno ukazuju da je proces razgradnje nikotina ubrzan dodavanjem bakterija, što su potvrdili i drugi autori (Ruan et al., 2005; Zittel et al., 2020). Prema istraživanju Briški et al. (2012), nakon devetnaest dana kompostiranja duvanskog otpada u zatvorenim toplotno izolovanim kolonskim reaktorima, sadržaj nikotina je smanjen za 89,9%.

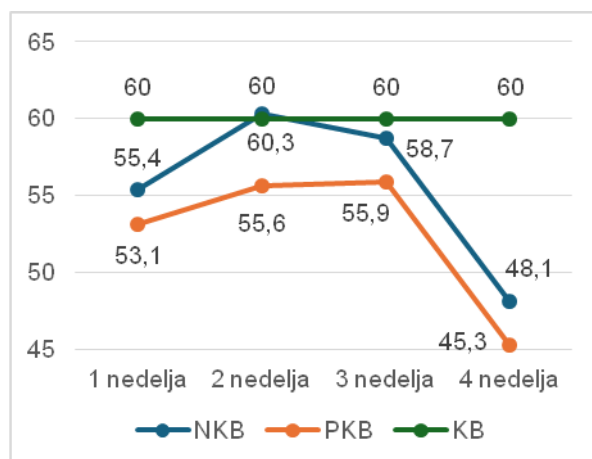
Chen et al. (2013) su otkrili da je stopa razgradnje nikotina u fermentisanom duvanskom materijalu korišćenjem *Brevibacillus brevis* MK21 iznosila 26,3%. Prema našim saznanjima, ovo je prvi izveštaj o razgradnji nikotina u prisustvu bakterija roda *Brevibacillus* sp. tokom procesa kompostiranja.

7.2.3. Uticaj parametara procesa na brzinu razgradnje nikotina i proces kompostiranja

Na graficima 3 i 4 su prikazane srednje vrednosti ispitivanih parametara procesa. Tokom eksperimenta, dinamika razgradnje nikotina zavisila je od sadržaja vlage i temperature u kompostnim gomilama. Temperatura je jedan od glavnih parametara koji se koristi za praćenje procesa kompostiranja, jer je njena varijacija u pozitivnoj korelaciji sa degradacijom organske materije i mikrobnom aktivnošću (Meng et al., 2019). Kod tretmana u kontrolisanim i polukontrolisanim uslovima detektovane su mezofilna, termofilna i faza hlađenja tokom procesa kompostiranja (grafik 4).



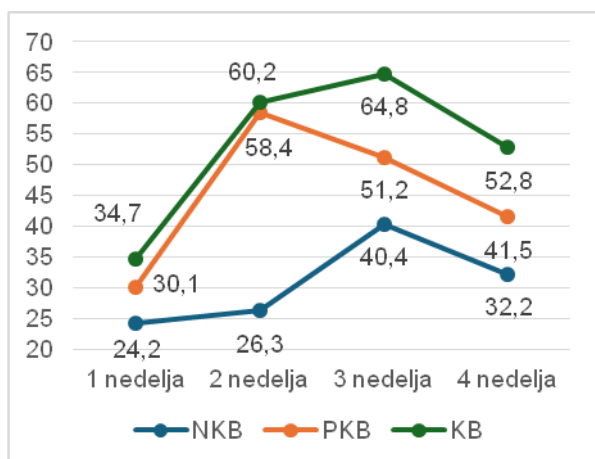
a



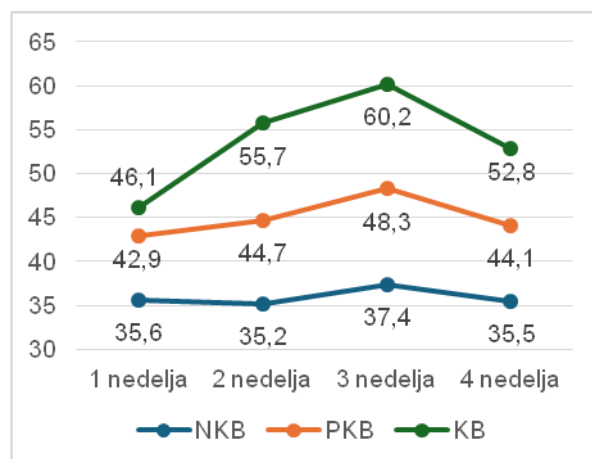
b

Grafik 3. Prosečna ambijentalna temperatura u °C (a) i relativna vlažnost u % (b) po nedeljama (%)

Ambijentalna temperatura se nije mnogo menjala tokom oglada. U kontrolisanim, odnosno polukontrolisanim uslovima, temperatura je tokom oglada bila 34°C, odnosno 22,5°C, dok je u nekontrolisanim uslovima temperatura varirala između 25,9°C i 30,1°C (grafik 4a). Ambijentalna relativna vlažnost vazduha je u kontrolisanim uslovima održavana na 60%, dok je u polukontrolisanim, odnosno nekontrolisanim uslovima relativna vlažnost bila između 45,3% i 55,6%, odnosno između 48,1% i 60,3% (grafik 4b).



a



b

Grafik 4. Prosečna temperatura u °C (a) i vlažnost (b) u % u kompostnim gomilama po nedeljama

Promene temperature i vlažnosti tokom kompostiranja zabeležene su u kompostnim gomilama (grafik 4). Promene su zavisile od uslova kompostiranja i degradacije nikotina. U kontrolisanim uslovima, postignuta je najveća temperatura kompostne gomile; vrednosti za vlažnost kompostne gomile takođe su najviše u ovim uslovima, u kojima je i degradacija nikotina i transformacija organske materije bila najbrža. Termofilna faza je postignuta između prve i druge

nedelje kompostiranja a krajem treće nedelje temperatura je dostigla maksimalnu vrednost od 64,8°C, nakon čega je temperatura opadala do kraja procesa. U polukontrolisanim uslovima, termofilna faza je takođe registrovana između prve i druge nedelje, ali je odmah posle druge nedelje primetan konstantan pad temperature do kraja procesa kompostiranja. U nekontrolisanim uslovima, maksimalna temperatura je postignuta na kraju treće nedelje (40,4°C). U odnosu na maksimalne temperature u kontrolisanim i polukontrolisanim uslovima, ova temperatura nije visoka, zbog čega su razgradnja nikotina i transformacija organske materije usporeni.

Vlažnost kompostnih gomila odlikovala se manjim oscilacijama (grafik 4b). U kontrolisanim uslovima, vlažnost gomile se kretala u intervalu od 46,1% (posle prve nedelje kompostiranja) i 60,2% (posle treće nedelje). U polukontrolisanim i nekontrolisanim uslovima, oscilacije su bile slabije izražene; od 42,9% do 48,3% u polukontrolisanim i od 35,2% do 37,4% u nekontrolisanim uslovima.

Posle 4 nedelje, dobijeni su uniformni, homogeni proizvodi ujednačne tamne boje u svim tretmanima, osim referentnog uzorka (R). Iako neki autori sugerišu da je kompostiranje poljoprivrednog otpada relativno kratak proces (Hema Nalini et al. 2016), očigledno je da je prisustvo nikotina u duvanskom otpadu usporilo proces kompostiranja, što su ranije potvrdili Zhao et al. (2017). S druge strane, bioaugmentacija, odnosno dodavanje specifičnih mikroorganizama određenom supstratu u cilju uklanjanja polutanata, može biti korisna strategija za ubrzavanje procesa kompostiranja (Biyada et al., 2022), stimulisanje razgradnje organskih materijala i polutanata i poboljšanje karakteristika komposta (Sun et al. 2017) i njegove zrelosti (Jia et al., 2021), što je u skladu sa ovim istraživanjem. Višestepena primena mikrobnog inokulanta produžila je termofilnu fazu, što u skladu sa rezultatima Xi et al. (2015). Biyada et al. (2022) su ustanovili da bioaugmentacija pozitivno utiče na povećanje temperature. Kao što se može videti iz grafika 4a, nakon dodavanja bakterijskog inokuluma, zabeleženo je povećanje temperature u kompostnoj gomili u poređenju sa temperaturom okoline.

Soobhany et al. (2017) su dokazali da temperatura utiče na svojstva komposta i proces dezinfekcije. U ovom istraživanju zabeleženo je postepeno povećanje temperature kod svih tretmana; u KB i NKB, najviša temperatura je primećena nakon 3 nedelje procesa kompostiranja. Ahmed et al. (2019) pokazali su da se najviša temperatura tokom kompostiranja duvanskog otpada beleži nakon 23 dana. Nakon maksimalnih vrednosti primećen je pad temperature kompostiranja. Tiquia (2005) je naveo da se promena temperature smatra vrednim parametrom kvaliteta komposta. Najniža maksimalna temperatura tokom kompostiranja dobijena je u NKB.

Sadržaj vlage je ključni parametar mikrobne aktivnosti i razgradnje organske materije (Ayilara et al., 2020). Optimalna vlaga može stvoriti pogodne uslove za funkcionisanje mikrobnih inokulanata (Liu et al., 2020). Odgovarajući procenat sadržaja vlage za efikasno razlaganje organske materije procenjen je između 40% i 65% (Ahmed et al., 2019). Ipak, nekoliko organskih supstrata imaju različite procenat vlage, Gudeta et al. (2021) su registrovali nizak sadržaj vlage u duvanskom otpadu. U ovom istraživanju sadržaj vode je bio u granicama od 35,2% do 60,2%, što je pogodno za mikrobnu aktivnost. Tokom faze hlađenja (između 3. i 4. nedelje), uočeno je smanjenje sadržaja vlage. Larney and Blackshow (2003) su otkrili da je smanjenje sadržaja vlage u kompostnoj gomili povezano sa stvaranjem toplote i isparavanjem vode tokom termofilnog perioda kompostiranja.

Dobijeni rezultati ukazuju na to da su temperatura i sadržaj vlage u uzorcima važni faktori koji utiču na dinamiku razgradnje nikotina. Sa njihovim povećanjem povećavala se i brzina razgradnje nikotina (Mandić et al., 2016; Pan et al., 2018; Zittel et al., 2020). U uzorku koji je bio izložen kontrolisanim uslovima, brzina razgradnje nikotina je bila u konstantnom porastu. Uzorci koji su testirani u polukontrolisanim uslovima pokazali su najbržu stopu razgradnje nikotina u prvoj

i drugoj nedelji eksperimenta (Tabela 22). Pošto je temperatura u okolini bila konstantna, može se sugerisati da je relativna vlažnost vazduha doprinela ovom porastu brzine degradacije nikotina. Najveća vrednost vlažnosti kompostne gomile je izmerena u trećoj nedelji, a zatim je počela da opada istim intenzitetom kao i uzorak NKB. Ovaj uzorak (NKB) se odlikovao najvećom vlažnošću u trećoj nedelji, što je verovatno posledica zajedničkog uticaja temperature okoline i relativne vlažnosti vazduha.

Uporedo sa smanjenjem sadržaja nikotina u uzorcima, uglavnom se statistički značajno smanjivala se i masa kompostnih gomila (Tabela 23). U svim eksperimentalnim uzorcima dobijeni mešanjem duvanskog otpada sa otpadom iz domaćinstva masa je redukovana za oko 60%; uzorak KB je imao nešto veći gubitak (66,4%) u poređenju sa ostalim uzorcima. Yue et al. (2008) su takođe ustanovili da u kontrolisanim uslovima dolazi do najvećeg smanjenja mase. Proces kompostiranja u kontrolisanom stanju karakteriše bolji učinak u poređenju sa nekontrolisanim i prirodnim (Caceres et al., 2018), što je potvrđeno u ovom istraživanju.

Uzorak PK, bez bakterija koje razgrađuju nikotin, pokazao je najmanji gubitak mase od 54,8%. Briški et al. (2003) navode da je nakon 16 dana eksperimenta došlo do smanjenja zapremine i mase čvrstog otpada za oko 50% u zatvorenim toplotno izolovanim kolonskim reaktorima. Kompostiranje različitih organskih materijala rezultiralo je smanjenjem mase između 36,8% i 80,4% (Andrade et al., 2018), što je u skladu sa rezultatima ove doktorske disertacije. Ayilara et al. (2020) su pokazali da kompostiranje značajno smanjuje količinu otpada.

Tabela 23. Promena mase eksperimentalnih gomila po nedeljama (preračunato na 1 kg)

Uzorak	Prvi dan	Prva nedelja	Druga nedelja	Treća nedelja	Četvrta nedelja	Gubitak (%)
KB*	1	0,807	0,702	0,603	0,336	66,4
PKB*	1	0,854	0,758	0,610	0,356	64,4
NKB	1	0,875	0,774	0,650	0,384	61,6
PK**	1	0,892	0,784	0,674	0,452	54,8

KB - uzorak sa bakterijama u kontrolisanim uslovima

PKB - uzorak sa bakterijama u polukontrolisanim uslovima

NKB - uzorak sa bakterijama u nekontrolisanim uslovima

PK - uzorak bez bakterija u polukontrolisanim uslovima

* Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 sa jednim uzorkom

**Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 između dva uzorka

Rezultati statističke analize pokazali su da postoji značajna razlika ($p < 0,05$) između uzorka bez bakterija u polukontrolisanim uzorcima (PK) sa uzorcima KB i PKB. Takođe, rezultati analize su pokazali da nema značajne statističke razlike između uzoraka sa bakterijama u različitim uslovima kompostiranja.

7.2.4. Procena hemijskog kvaliteta komposta proizvedenog od duvanskog i biljnog otpada sa dodatkom bakterija

Prilikom kreiranja potencijalnih standarda kvaliteta komposta uglavnom je pažnja posvećena sadržaju azota i fosfora, kao i prisustvu toksičnih elemenata. Za primenu proizvoda za kompostiranje, glavno ograničenje je upravo zagađenje toksičnim elementima (Chen et al., 2020). Kako bi se definisala prihvatljivost i kvalitet konačnog proizvoda, određen je esencijalnih i toksičnih elemenata u uzorcima komposta proizvedenog u različitim uslovima. Rezultati su prikazani u Tabeli 24.

Tabela 24. Srednje vrednosti (x) sadržaja ispitivanih elemenata u finalnim proizvodima

Parametar	n	Uzorak KB x ± SD	Uzorak PKB x ± SD	Uzorak NKB x ± SD
Cd (mg/kg) *	3	3,12 ± 0,22	3,57 ± 0,23	3,76 ± 0,26
Pb (mg/kg)	3	4,39 ± 0,37	4,82 ± 0,68	4,4 ± 0,35
As (mg/kg) *	3	0,86 ± 0,11	0,64 ± 0,03	0,79 ± 0,1
Cu (mg/kg) **	3	20,4 ± 1,22	18,18 ± 0,01	23,75 ± 0,71
Zn (mg/kg) **	3	45,83 ± 2,29	41,56 ± 0,35	34,5 ± 1,55
Fe (mg/kg) *	3	3,42 ± 1,88	3,45 ± 2,3	2,04 ± 1,12
Mn (mg/kg)	3	158,3 ± 9,97	141,12 ± 8,55	142,8 ± 8,6
Mg (%) *	3	0,45 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,39 ± 0,01
Hg (mg/kg)	3	<0,02	<0,02	<0,02
N (%)	3	1,65 ± 0,15	1,67 ± 0,21	1,43 ± 0,19
Ca (%)	3	4,15 ± 0,2	4,27 ± 0,27	4,43 ± 0,21
K (%) **	3	2,32 ± 0,03	2,8 ± 0,03	2,2 ± 0,03
P (%)	3	0,2 ± 0,04	0,24 ± 0,05	0,22 ± 0,04

Statistička zavisnost praćena je samo između finalnih proizvoda

** Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 između svih mešovityh uzoraka

* Razlika srednje vrednosti je značajna na nivou od 0,05 između minimalna dva mešovita uzorka

Sadržaj azota u kompostu se kretao od 1,43% do 1,67%, dok je sadržaj fosfora bio od 0,2% do 0,24%. Sadržaj kalijuma je iznosio od 2,2% do 2,8%. Delibacak and Ongun (2016) su u svojim istraživanjima koristili kompostirani duvanski otpad, gde je sadržaj azota iznosio 2,18% , a fosfora 0,49%. Isti autori su za đubrenje koristili i kompostiranu smešu duvanskog otpada i stajnjaka, gde je sadržaj azota bio 2,35% a fosfora 0,58%. U istraživanjima koja su obavili Zittel et al. (2020), gde je izvršeno kompostiranje smeše otpada od cigareta i industrijskog mulja, sadržaj NPK se kretao između 8,31% i 12,43%, što je znatno više u odnosu na rezultate prikazane u Tabeli 24. Pravilnik o uslovima za razvrstavanje i utvrđivanje kvaliteta sredstava za ishranu bilja, odstupanjima sadržaja hranljivih materija i minimalnim i maksimalnim vrednostima dozvoljenog odstupanja sadržaja hranljivih materija i o sadržini deklaracije i načinu obeležavanja sredstava za ishranu bilja („Službeni glasnik RS”, broj 30/17; 31/18) se ne može primeniti kao validan dokument za svrstavanje dobijenog komposta u kategoriju „organski oplemenjivač bijni kompost“, jer je proizveden od otpadnih proizvoda a prema navedenom Pravilniku pomenuta kategorija nastaje „isključivo od lišća, trave i orezivanjem biljnih delova, pod kontrolisanim uslovima“. Ipak, prema ovom Pravilniku, ukupan sadržaj azota, fosfora i kalijuma bi trebalo da bude veći od 1%. Rezultati iz Tabele 24 ukazuju da su sadržaji azota i kalijuma viši od graničnih vrednosti ovog Pravilnika, ali ne i sadržaj fosfora. Prema kriterijumima koji su predloženi od strane OJ (1998), dobijeni komposti ispunjavaju standard prema sadržaju ukupnog azota, koji bi trebalo da bude niži od 2%.

Ogundare and Lajide (2013) su izvršili kompostiranje otpada od voća i povrća uz dodatak različitih materijala i ustanovili da samo nezreli kompost ima nizak sadržaj ukupnog azota (1,28% do 1,62% u zavisnosti od veličine čestica) a da dodavanje različitih materijala utiče na povećanje sadržaja ukupnog azota (2,00% do 9,80%). Autori ukazuju da je sadržaj azota niži od njegovog sadržaja u mineralnim đubrivima, što je razumljivo, jer prilikom kompostiranja dolazi do smanjenja sadržaja elemenata i povećanja stepena transformacije organske materije. Međutim, Zorpas et al. (2003) smatraju da tokom procesa kompostiranja može doći do razređivanja ili koncentrisanja sadržaja elemenata, kao rezultat ispiranja razgrađene organske materije ili gubitka biomase kompostne gomile.

Sa aspekta poljoprivredne proizvodnje, postignut je prihvatljiv sadržaj osnovnih makrohraniva (azot, fosfor, kalijum, kalcijum) u oglednim uzorcima. Sadržaj azota, kalcijuma i magnezijuma bio je približno na istom nivou u svim uzorcima, iako je statistička značajnost razlika zabeležena samo u sadržaju magnezijuma. Radivojević i sar. (1998) ukazuju da kompost sadrži 0,25% K. Međutim, sva tri finalna komposta (Tabela 24) imaju statistički značajno veći sadržaj kalijuma. Castro and Gomez (2010) smatraju da kompost treba da ispunji minimalne zahteve u pogledu sadržaja NPK i to 1,5% N, 0,2% P i 1,0% K da bi mogao da bude korišćen za biljnu proizvodnju. Prema ovim vrednostima, kompost dobijen u kontrolisanim i polukontrolisanim uslovima može da se koristi za biljnu proizvodnju. Kompost u tretmanu NKB ispunjava navedene kriterijume u pogledu sadržaja P i K, dok je sadržaj azota niži za oko 5% u odnosu na preporučenu vrednost. Najveći sadržaj N, P i K je konstatovan u polukontrolisanim uslovima u odnosu na ostale uslove kompostiranja. Osim u sadržaju azota i kalcijuma, statistički značajne razlike nisu zabeležene ni u sadržaju žive, mangana, olova i fosfora.

Prema kriterijumima koje je predložio Brinton (2000) svi uzorci komposta su dobrog kvaliteta, jer su koncentracije većine analiziranih elemenata znatno niže od graničnih vrednosti ovog standarda. Izuzetak čini samo kadmijum, čija se koncentracija kretala u intervalu od 3,12 mg/kg do 3,76 mg/kg a dozvoljena vrednost prema ovom standardu je između 4 i 40 mg/kg. I prema ostalim korišćenim standardima (ECOFI, 2014 ; Canadian Council of Ministers of the Environment, 2005; Estrada De Luis and Gomez Palacios, 2013) sadržaj većine toksičnih elemenata je znatno niži u finalnim proizvodima u odnosu na granične vrednosti ovih standarda, osim kadmijuma. Svi navedeni standardi predviđaju maksimalno dozvoljenu koncentraciju kadmijuma od 3 mg/kg. Ovo ukazuje da je dobijeni kompost nedozvoljavajućeg kvaliteta, posebno u tretmanima PKB (odstupanje od standarda je 19%) i NKB (odstupanje oko 25%), dok kompost dobijen u tretmanu KB veoma malo odstupa (4%) od navedenih standarda u pogledu sadržaja kadmijuma.

Veći sadržaj Cd u finalnim proizvodima bi se mogao objasniti činjenicom da je biljka duvana poznata i kao hiperakumulator Cd iz zemljišta. Dosadašnja istraživanja ukazuju da se kadmijum može akumulirati u korenu i stablu duvana (Rosen et al., 2012; Liu et al., 2016), što implicira da je određena koncentracija kadmijuma već postojala u samom duvanskom otpadu. Pored toga, zemljišta koja imaju visok sadržaj gline, a koja su karakteristična za gajenje duvana tipa Virdžinija, imaju i visok potencijal akumulacije kadmijuma (Yu et al., 2017; Yang et al., 2019).

Pored duvana, za visok sadržaj Cd u finalnim proizvodima, mogući izvor je i mrkva, čiji je otpad dodat kompostnim gomilama. Mrkva ima sposobnost akumulacije Cd iz zemljišta u velikoj meri (Petrović-Gegić et al., 2007; Yang et al., 2009). Međutim, akumulacija toksičnih elemenata u kompostu može biti i rezultat drugih faktora. Kupper et al. (2014) su ispitivali uticaj tretmana, sastava, porekla, veličine čestica, sadržaja nečistoća ulaznih materijala, sezone prikupljanja ulaznih materijala i stepena degradacije organske materije na sadržaj toksičnih elemenata u uzorcima komposta, organskih i mineralnih đubriva i digestata. Autori su zaključili da ne postoji korelacija između navedenih faktora i sadržaja toksičnih elemenata, što ukazuje da je prisustvo toksičnih elemenata u kompostu povezano sa drugim faktorima, kao što su druge nečistoće koje sadrže

toksične elemente, pojedinačne doze ulaznih sirovina koje su kontaminirane toksičnim elementima ili neke „mikrozone“ ulaznih sirovina u kojima se nalaze toksični elementi. Ovu tvrdnju potvrđuje i statistička značajnost dobijenih rezultata (Tabela 23), gde se jasno vide razlike u sadržaju toksičnih elemenata pri različitim uslovima kompostiranja. Fleischer et al. (1974) ukazuju da je Cd često vezan za minerale u kojima je prisutan Zn. Kupper et al. (2014) su utvrdili klastere između oligoelemenata i toksičnih elemenata, između kojih postoje pozitivne korelacije. U jednom od klastera nalaze se Cd, Cu, Pb i Zn. Klasteri mogu biti posledica delovanja različitih faktora na ostatke materijala koji dospevaju u životnu sredinu, ili su rezultat prerade na postrojenjima i transporta materijala. Isti autori su proračunali da bi primena komposta i digestata dovela do povećanja sadržaja toksičnih elemenata u zemljištu, ali u znatno manjoj meri u odnosu na organska i mineralna đubriva. Osim toga, primena komposta i digestata u kojima su prisutni toksični elementi ne mora obavezno rezultirati akumulacijom toksičnih elemenata u zemljištu. Kompost je organsko đubrivo koje indukuje porast pH vrednosti zemljišta, ili ima ulogu sorbenta (Anastopoulos and Kyzas 2015; Soares et al., 2016b), za koji se mogu vezati toksični elementi procesom imobilizacije, tako da se zemljište može suprotstaviti efektima primene ovakvog komposta (Kumpiene et al., 2008; Smolders et al., 2012). Wang et al. (2022) su potvrdili da primena organskih đubriva smanjuje sadržaj kadmijuma u zemljištu, što navodi na zaključak da bi mešanjem organskih đubriva i komposta moglo doći do redukcije kadmijuma i time smanjiti njegov potencijalno štetni efekat na zemljište.

7.2.5. Osnovna hemijska svojstva komposta dobijenog mešanjem duvanskog otpada i otpada iz domaćinstva

Tabela 25. Rezultati osnovnih hemijskih analiza komposta dobijenog mešanjem duvanskog i otpada iz domaćinstva

Uzorak	pH u KCl	Organska materija (%)	Odnos C/N	EC (mS/cm)
KB	8,32	31,16	11,0:1	10,18
PKB	8,33	28,70	10,1:1	8,86
NKB	8,02	20,21	8,4:1	8,03

KB - uzorak sa bakterijama u kontrolisanim uslovima

PKB - uzorak sa bakterijama u polukontrolisanim uslovima

NKB - uzorak sa bakterijama u nekontrolisanim uslovima

EC - elektrokonduktivitet

Rezultati hemijskih analiza prikazani u Tabeli 25 ukazuju da su u svim tretmanima nastali komposti alkalne reakcije sredine, pri čemu je pH vrednost najniža u tretmanu NKB. Kompostiranje duvanskog otpada, u zavisnosti od tehnologije kompostiranja, uticalo je na smanjenje početne pH vrednosti duvanskog otpada sa 11,78, odnosno 10,97, na 7,78, odnosno 7,80 (Saithep et al., 2009). Pri kompostiranju mešavine duvanskog, otpada od paradajza i pirinča i goveđeg stajnjaka, Xie et al. (2024) su konstatovali smanjenje početne pH vrednosti u kompostnim gomilama do finalnih vrednosti koje su se kretale u rasponu od 7,8 do 8,2. Sadržaj organske materije i C/N odnos bili su znatno viši u tretmanima KB i PKB u odnosu na NKB. C/N odnos je parametar zrelosti komposta (Chen et al., 2021). Veće vrednosti ovog parametra u tretmanima KB i PKB ukazuju na bržu mikrobnu degradaciju azotnih jedinjenja u kompostnim gomilama, što je povezano sa povoljnijim uslovima za aktivnost mikroorganizama.

Goyal et al. (2005) ukazuju da je kompost prihvatljive zrelosti ukoliko je C/N odnos niži od 20, što je u skladu sa rezultatima ovih istraživanja. Potencijalna primena ovakvog komposta u biljnoj proizvodnji ne bi proizvela rizike u vezi sa imobilizacijom azota ili fosfora (Kayikcioglu and Okur, 2011).

Elektrokonduktivitet je usko povezan sa sadržajem organske materije, što je potvrđeno u ovim istraživanjima; ovaj parametar se može koristiti u cilju procene obezbeđenosti komposta hranljivim elementima (Wang et al., 2021). Najveća vrednost EC konstatovana je u tretmanu KB a najmanja u tretmanu NKB. Xie et al. (2024) ukazuju da su vrednosti EC povezane i sa stepenom mikrobne degradacije organske materije, pri čemu nastaje veliki broj jedinjenja male molekulske mase.

8. ZAKLJUČAK

Istraživanja sprovedena u ovoj doktorskoj disertaciji odnose se na utvrđivanje mogućnosti kompostiranja i odabira najpovoljnijeg načina kompostiranja otpadnih listova duvana u cilju dobijanja proizvoda koji bi imao upotrebnu vrednost u poljoprivredi i koji bi bio ekonomski i ekološki prihvatljiv.

Na osnovu obavljenih istraživanja i dobijenih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

Moguća je upotreba duvanskog otpada za proces kompostiranja i njegovo mešanje sa drugim vrstama organskog otpada.

Sadržaj nikotina u korišćenom duvanskom otpadu bio je veoma visok. Mešanjem ovog otpada sa drugim vrstama dostupnog organskog otpada, početni sadržaj nikotina u kompostnim gomilama je znatno smanjen, od 43,6% do 66,6% u zavisnosti od vrste i porekla organskog otpada. Najmanje smanjenje sadržaja nikotina registrovano je pri mešanju duvanskog otpada sa ostacima iz domaćinstva (oko 43,6%) a najveće pri mešanju sa ovčijim stajnjakom (66,6%).

Sadržaj nikotina smanjivao se konstantno tokom procesa kompostiranja i zavisio je od početnog sastava mešoviti kompostnih gomila, prisustva nikotofilnih bakterija i vremena uzorkovanja. U finalnim proizvodima kod svih mešoviti kompostnih gomila sadržaj nikotina bio je manji od 10 mg/kg, što svrstava dobijene proizvode u neopasne i netoksične. Ovi proizvodi se potencijalno mogu koristiti u poljoprivredi.

Sadržaj nikotina u finalnim proizvodima nastalih kompostiranjem referentnog uzorka od duvanskog otpada je bio znatno veći od propisane granice (500 mg/kg), što onemogućuje korišćenje ove vrste komposta.

Parametri procesa, temperatura i vlaga u kompostnim gomilama, kao i temperatura i vlaga okoline, imali su uticaj na brzinu redukcije nikotina i proces kompostiranja. Razgradnja nikotina povećavala se sa porastom temperature i vlažnosti.

Analizom sadržaja makro- i mikroelemenata i poređenjem sa referentnim vrednostima, može se zaključiti da je dobijeni kompost dobrog kvaliteta. Sadržaj N, P i K bio je najveći u tretmanu gde je kompost proizveden u polukontrolisanim uslovima.

Prema sadržaju makro- i mikroelemenata, svi komposti uglavnom ispunjavaju standarde kvaliteta koji su korišćeni u ovim istraživanjima. Mala odstupanja od korišćenih standarda uglavnom su vezana za manji sadržaj azota, ali dobijene vrednosti ne pokazuju statističku značajnost razlika u odnosu na druge vrste komposta.

Većina uzoraka komposta uglavnom pokazuje nizak sadržaj toksičnih elemenata. Dodavanje organskih đubriva duvanskom otpadu uticalo je na statistički značajno smanjenje koncentracije svi toksičnih elemenata, dok je sadržaj mikroelemenata uglavnom povećan. Prema kriterijumu ECOFI (2014), svi uzorci komposta zadovoljavaju standarde kvaliteta na osnovu sadržaja toksičnih

elemenata. Međutim, prema ostalim korišćenim standardima, sadržaj kadmijuma je veći u referentnom uzorku, dok je njegov sadržaj u mešavinama duvanskog otpada i organskih đubriva prihvatljiv.

Tokom procesa kompostiranja smanjivala se i masa kompostne mešavine. Na kraju procesa kompostiranja, masa komposta je statistički značajno smanjena za više od 60%, što je značajno za redukciju duvanskog otpada i smanjenje opterećenja na deponijama gde se ovaj otpad odlaze.

Kompost najboljih karakteristika dobijen je mešanjem duvanskog otpada i ovčijeg i kokošijeg stajnjaka; sadržaj nikotina bio je ispod propisane granice, sadržaj makro- i mikroelemenata i toksičnih elemenata bio je prihvatljiv, tako da je primena ovakvog komposta prihvatljiva za biljnu proizvodnju.

Kod finalnog proizvoda nastalog mešanjem duvanskog otpada i ovčijeg stajnjaka masa je statistički značajno redukovana za 67%, a pri mešanju sa kokošijim stajnjakom za 65%.

Iz duvanskog otpada izolovana su četiri bakterijska izolata koja su bila tolerantna prema finalnoj koncentraciji nikotina od 4% u tečnoj mineralnoj podlozi. Tri izolata su nakon morfološke i molekularne identifikacije okarakterisana kao vrste iz roda *Brevibacillus* sp. a jedan izolat pokazuje najveću sličnost sa vrstom *Bacillus licheniformis*.

Mešanjem duvanskog i otpada iz domaćinstva, u većini tretmana je dobijen kompost dobrog kvaliteta. Jedini element koji odstupa od graničnih vrednosti većine korišćenih standarda je kadmijum, što je najverovatnije posledica njegove akumulacije u biljnim delovima koji su korišćeni kao sirovina za kompostiranje.

U ogledu gde je duvanski otpad mešan sa otpadom iz domaćinstva, najveće smanjenje mase posle procesa kompostiranja zabeleženo je u tretmanu KB (pri kontrolisanim uslovima i u prisustvu nikotofilnih bakterija), dok je najmanji gubitak mase bio u tretmanu PK (pri polukontrolisanim uslovima bez dodatka nikotofilnih bakterija).

Smanjenje mase je direktno zavisilo i od dodavanja mikrobnih populacija (nikotofilnih bakterija) kompostnim gomilama. Dodavanje ovih bakterija ubrzalo je proces degradacije nikotina, kao i transformaciju organske materije u kompostnim gomilama i dobijanje komposta.

U svim tretmanima dobijen je kompost sa visokim sadržajem organske materije i neutralnom do blago alkalnom i lakalnom reakcijom. Najveći sadržaj organske materije bio je u tretmanu sa kokošijim stajnjakom a najmanji pri dodavanju ovčijeg stajnjaka, kao i tretmanu sa nikotofilnim bakterijama u nekontrolisanim uslovima. pH vrednost bila je veća u tretmanima gde je dodat stajnjak u odnosu na dodavanje otpada iz domaćinstva. Vrednosti odnosa C/N i elektrokonduktiviteta omogućavaju primenu dobijenih komposta u biljnoj proizvodnji.

Ovo istraživanje potvrđuje da bioaugmentacija u kombinaciji sa kompostiranjem predstavlja efikasan alat za redukciju organskog opterećenja na deponijama, zaštitu prirode od opasnog otpada koji sadrži nikotin. S obzirom na to da duvanski otpad čini značajan deo ukupnog agroindustrijskog i komunalnog otpada u Srbiji, neophodno je i dalje ispitivati mogućnosti njegovog korišćenja.

Značajan zaključak ovog eksperimenta je da se proces biorazgradnje može odvijati u prirodnim uslovima. Bez obzira na duže trajanje procesa, on ne zahteva velika ekonomska ulaganja. Takođe, ovo istraživanje je dokazalo da se proces kompostiranja može odvijati na lokaciji gde se odlaze otpad, što može dovesti do uštede na troškovima transporta. Dalja istraživanja trebalo bi usmeriti na unapređenje kompostiranja u nekontrolisanim uslovima, jer je to najjednostavnije i najjeftinije rešenje za upravljanje duvanskim otpadom, kao i na uticaj različitih vrsta komunalnog otpada na proces kompostiranja i potencijalnim primenama u bioremedijaciji zemljišta.

9. LITERATURA

- Abdul Kadir, A., Azhari, N.W., Jamaludin, S.N. (2016): An overview of organic waste in composting. MATEC Web of Conferences (47): 05025 (6 pages). <https://doi.org/10.1051/matecconf/20164705025>
- Abbott, L.K., Macdonald, L.M., Wong, M.T.F., Webb, M.J., Jenkins, S.N., Farrell, M. (2018): Potential roles of biological amendments for profitable grain production – a review. Agriculture Ecosystem and Environment 256: 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.021>
- Abu-Bakar, Ibrahim, N. (2013): Indigenous microorganisms production and the effect on composting process. AIP Conference Proceedings 1571: 283; doi: 10.1063/1.4858669.
- Adamu, C.A., Bell, P.F., Mulchi, C., Chaney, R. (1989): Residual metal concentrations in soils and leaf accumulations in tobacco a decade following farmland application of municipal sludge. Environmental Pollution 56 (2): 113-126. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90170-X](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90170-X)
- Adediran, J.A., De Baets, N., Mnkeni, P.N.S., Kiekens, L., Muyima, N.Y.O., Thys, A. (2003): Organic waste materials for soil fertility improvement in the Border region of the Eastern Cape, South Africa. Biological Agriculture and Horticulture 20 (4): 283-300. <https://doi.org/10.1080/01448765.2003.9754974>
- Adediran, J.A., Mnkeni, P.N.S., Mafu, N.C., Muyima, N.Y.O. (2004): Changes in chemical properties and temperature during the composting of tobacco waste with other organic materials, and effects of resulting composts on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and spinach (*Spinacea oleracea* L.). Biological Agriculture and Horticulture 22 (2): 101-119. <https://doi.org/10.1080/01448765.2004.9754994>
- Agirman, B., Settanni, L., Erten, H. (2021): Effect of different mineral salt mixtures and dough extraction procedure on the physical, chemical and microbiological composition of Şalgam: A black carrot fermented beverage. Food Chemistry 344: 128618. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128618>
- Ahmad, R., Jilani, G., Arshad, M., Zahir, Z.A., Khalid, A. (2007): Bioconversion of organic wastes for their recycling in agriculture: An overview of perspectives and prospects. Annals of Microbiology 57 (4): 471-479. <https://doi.org/10.1007/BF03175343>
- Ahmed, H.E., Ali, M.E.M., Ammar, N.S., Ibrahim, H.S. (2019): Cultivation of canola (*Brassica napus* L.) using composted agro-industrial waste. Egyptian Journal of Chemistry 62 (9): 1637-1647. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2019.7256.1592>
- Ajao, A., Awe, S. (2018): Bioremediation of wastewaters from local textile industries. Natural and Applied Sciences Journal 1 (2), 16-25. <https://doi.org/10.38061/idunas.498825>

- Ajao, A., Yusuf-Saliu, B. (2022): Evaluation of improved bioremediation strategy for the treatment of abattoir wastewater using *Bacillus licheniformis* ZUL012. *Journal of Applied Science and Environmental Management* 26 (6): 1081-1086.
- Ajmal, M., Aiping, S., Awais, M., Ullah, M.S., Saeed, R., Uddin, S., Ahmad, I., Zhou, B., Zihao, X. (2020): Optimization of pilot-scale in-vessel composting process for various agricultural wastes on elevated temperature by using Taguchi technique and compost quality assessment. *Process Safety and Environmental Protection* 140: 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.001>
- Amicarelli, V., Lagioia, G., Bux, C. (2021): Global Warming Potential of Food Waste through the Life Cycle Assessment: An Analytical Review. *Environmental Impact Assessment Review* 91: 106677. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106677>
- Anastopoulos, I., Kyzas, G.Z. (2015): Composts as biosorbents for decontamination of various pollutants: a review. *Water, Air and Soil Pollution* 226 (3): 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2345-2>
- Andrade, F.C., Dal Bosco, T.C., Michels, R.N., Brigano, C., dos Santos, E.L. (2018): Treatment of organic solid waste generated at agricultural research corporation via composting under natural and controlled conditions. *Acta Scientia Technologica* 40 (1): e29643. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.29643>
- Androsov, T.V., Pyzhova, L.V., Ovchinnikova, i dr. (2006): Moskva: Izdavački centar Akademija - 96 st.
- Anonymous (2005): Nicotine and its derivatives from tobacco waste: A tobacco industry view. <http://www.tifac.org.in/offer/tlbo/rep/TMS158>
- Armstrong, D.W., Wang, X., Ercal, N. (1998): Enantiomeric composition of nicotine in smokeless tobacco, medicinal products, and commercial reagents. *Chirality* 10 (7): 587-591. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-636X\(1998\)10:7<587:AID-CHIR6>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-636X(1998)10:7<587:AID-CHIR6>3.0.CO;2-%23)
- Arriaga, H., Viguria, M., Lopez, D.M., Merino, P. (2017): Ammonia and greenhouse gases losses from mechanically turned cattle manure windrows: a regional composting network. *Journal of Environmental Management* 203 (1): 557-563. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.006>
- Ayilara, M.S., Olanrewaju, O.S., Babalola, O.O., Odeyemi, O. (2020): Waste management through composting: challenges and potentials. *Sustainability* 12 (11): 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Bache, C.A., Lisk, D.J., Doss, G.J., Hoffmann, D., Adams, J.D. (1985): Cadmium and nickel in mainstream particulates of cigarettes containing tobacco grown on a low-cadmium soil-sludge mixture. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 16 (3-4): 547-552. <https://doi.org/10.1080/15287398509530762>
- Banožić, M., Babić, J., Jokić, S. (2020): Recent advances in extraction of bioactive compounds from tobacco industrial waste - a review. *Industrial Crops and Products* 144: 112009. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112009>
- Bao, Y., Choct, M. (2009): Trace mineral nutrition for broiler chickens and prospects of application of organically complexed trace minerals: a review. *Animal Production Science* 49 (2): 269-282. <https://doi.org/10.1071/EA08204>

- Beffa, T., Blanc, M., Marilley, L., Fischer, J.L., Lyon, P.F., Aragno, M. (1996): Taxonomic and Metabolic Microbial Diversity During Composting. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (eds) *The Science of Composting*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1569-5_16
- Benowitz, N.L., Jacob, P.3rd. (1984): Daily intake of nicotine during cigarette smoking. *Clinical Pharmacology and Therapeutics* 35 (4): 499-504. <https://doi.org/10.1038/clpt.1984.67>
- Benowitz, N.L., Jacob, P.3rd., Denaro, C., Jenkins, R. (1991): Stable isotope studies of nicotine kinetics and bioavailability. *Clinical Pharmacology & Therapeutics* 49 (3): 270-277. <https://doi.org/10.1038/clpt.1991.28>
- Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., Moral, R. (2009): Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity. *Bioresource Technology* 100 (22): 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Biyada, S., Imtara, H., Elkarrach, K., Laidi, O., Saleh, A., Al Kamaly, O., Merzouki, M. (2022): Bio-augmentation as an emerging strategy to improve the textile compost quality using identified autochthonous strains. *Applied Sciences* 12 (6): 3160. <https://doi.org/10.3390/app12063160>
- Boad, N.O., Badu, M., Kortei, N.K., Saah, S.A., Annor, B., Mensah, M.B., Okyere, H., Fiebor, A. (2021): Nutritional composition and antioxidant properties of three varieties of carrot (*Daucus carota*) *Scientific African*, 12: e00801. doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00801.
- Bonasia, A., Conversa, G., Lazzizera, C., Gambacorta, G., Elia, A. (2021): MorphoBiometrical, Nutritional and Phytochemical Characterization of Carrot Landraces from Puglia Region (Southern Italy). *Sustainability* 13 (7): 3940. <https://doi.org/10.3390/su13073940>
- Bøen, A., Hammeraas, B., Magnusson, C. and Aasen, R. (2006): Fate of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* during composting. *Compost Sci. Util.* 14, 142-146.
- Brčić Karačonji, I. (2005): Facts about nicotine toxicity. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju* 56 (4): 363-371. PMID: 16370520
- Brinton, F.W. (2000): *Compost quality standards and guidelines*, New York State Association of Recyclers (NYSAR). Woods End Research Laboratory, Inc.
- Briški, F., Gomzi, Z., Horgas, N., Vuković Domanovac, M. (2003): Aerobic composting of tobacco solid waste. *Acta Chimica Slovenica* 50 (4): 715-729.
- Briški, F., Kopčić, N., Čosić, I., Kučić, D., Vuković, M. (2012): Biodegradation of tobacco waste by composting: Genetic identification of nicotine-degrading bacteria and kinetic analysis of transformations in leachate. *Chemical Papers* 66 (12): 1103-1110. <https://doi.org/10.2478/s11696-012-0234-3>
- Buntić, A.V., Milić, M.D., Stajković-Srbinović, O.S., Rasulić, N.V., Delić, D.I., Mihajlovski, K.R. (2019): Cellulase production by *Sinorhizobium meliloti* strain 224 using waste tobacco as substrate, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (10): 5881-5890, <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02230-9>.
- Caceres, R., Malinska, K., Marfà, O.J.W.M. (2018): Nitrification within composting: a review. *Frontiers in Microbiology* 72: 119-137. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.049>

- Canadian Council of Ministers of the Environment (2005): Guidelines for Compost Quality, Winnipeg, Canada.
- Castro, H.E., Gomez, M.I. (2010): Fertilidad de suelos y fertilizantes. In: Burbano, H. and F.Silva, M. (Eds.). Ciencia del Suelo. Principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá: pp. 217-303.
- Cervantes-Paz, B., Victoria-Campos, C.I., Ornelas-Paz, J.D.J. (2016): Absorption of Carotenoids and Mechanisms Involved in Their Health-Related Properties. *Subcell. Biochem.* 79: 415-454. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39126-7_16.
- Chandak S. P., (2010): Trends in Solid Waste Management: Issues, Challenges and Opportunities, International Consultative Meeting on Expanding Waste Management Services in Developing Countries, Tokyo, Japan.
- Chattopadhyay, S., Ramachandran, P., Malayil, L., Mongodin, E.F., Sapkota, A.R. (2023): Conventional tobacco products harbor unique and heterogenous microbiomes. *Environmental Research* 220: 115205. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115205>.
- Che, J., Yamaji, N., Ma, J.F. (2018) : Efficient and flexible uptake system for mineral elements in plants. *New Phytologist* 219 (2): 513-517. <https://doi.org/10.1111/nph.15140>
- Chen, C., Li, X., Yang, J., Gong, X., Li, B., Zhang, K.Q. (2008): Isolation of nicotine-degrading bacterium *Pseudomonas* sp. Nic22, and its potential application in tobacco processing. *International Biodeterioration and Biodegradation* 62 (3): 226-231. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.01.012>
- Chen, D., Xu, J., Ma, Z., Guo, Z., An, D. (2013): Isolation and screening of a new *Brevibacillus brevis* strain MK21 with high nicotine degradation effect. *Acta Tabacaria Sin* 19 (1): 60-64. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-5708.2013.01.01>
- Chen, X., Zhao, Y., Zhang, C., Zhang, D., Yao, C., Meng, Q., Zhao, R., Wei, Z. (2020): Speciation, toxicity mechanism and remediation ways of heavy metals during composting: a novel theoretical microbial remediation method is proposed. *Journal of Environmental Management* 272: 111109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111109>
- Chen, Z., Fu, Q., Cao, Y., Wen, Q., Wu, Y. (2021): Effects of lime amendment on the organic substances changes, antibiotics removal, and heavy metals speciation transformation during swine manure composting. *Chemosphere* 262: 128342. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128342
- Chen, B., Sun, L., Zeng, G., Shen, Z., Wang, K., Yin, L., Xu, F., Wang, P., Ding, Y., Nie, Q., Wu, Q., Zhang, Z., Xia, J., Lin, J., Luo, Y., Cai, J., Krausz, K.W., Zheng, R., Xue, Y., Zheng, M.H., Li, Y., Yu, C., Gonzalez, F.J., Jiang, C. (2022): Gut bacteria alleviate smoking-related NASH by degrading gut nicotine. *Nature* 610 (7932): 562-568. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05299-4>
- Chi, B., Lu, W., Ye, M., Bao, Z., Zhang, X. (2020): Construction waste minimization in green building: A comparative analysis of LEED-NC 2009 certified projects in the US and China. *Journal of Cleaner Production* 2020: 120749.
- Chorolque, A., Pellejero, G., Sosa, M., Palacios, J., Aschkar, G.M., García - Delgado, C., Ballesta, J. (2022): Biological control of soil - borne phytopathogenic fungi through onion waste composting: implications for circular economy perspective. *International Journal of*

- Environmental Science and Technology 19 (7): 6411–6420. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03561-2>
- Civilini, M., Domenis, C., Sebastianutto, N., de Bertoldi, M. (1997): Nicotine decontamination of tobacco agro-industrial waste and its degradation by micro-organisms. *Waste Management and Research* 15 (4), 349-358. <https://doi.org/10.1006/wmre.1997.0091>
- Connolly, G.N., Alpert, H.R., Wayne, G.F., Koh, H. (2007): Trends in nicotine yield in smoke and its relationship with design characteristics among popular U.S. cigarette brands, 1997–2005. *Tobacco Control* 16 (5): e5. <https://doi.org/10.1136/tc.2006.019695>
- Cunha-Queda, A. C., Ribeiro, H. M., Ramos, A., Cabral, F. (2007): Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology*, 98(17): 3213-3220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.006>
- De Bertoldi M., Vallini G., Pera A. (1983): The biology of composting: A review, *Waste Management & Research* 1 (2): 157-176. [https://doi.org/10.1016/0734-242X\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242X(83)90055-1)
- De Mendonça Costa, S.S., Cestonaro, T., Antônio de Mendonça Costa, L., Antonio Teofilo Rozatti, M., José Carneiro, L., Ceri Pereira, D., Eisten Francisconi Lorin, H. (2015): Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. *Journal of Cleaner Production* 86: 9-14,
- Delibacak, S., Ongun, A.R. (2016): Influence of composted tobacco waste and farmyard manure applications on the yield and nutrient composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Eurasian Journal of Soil Science* 5 (2): 132-138. <http://dx.doi.org/10.18393/ejss.2016.2.132-138>
- Delisle, S., Greer, C.W. (2004): Remediation of Organic Pollutants Through Natural Attenuation. In: Singh, A., Ward, O.P. (eds) *Applied Bioremediation and Phytoremediation*. Soil Biology, vol 1: pp 159-186. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-057940_8
- Dewangan, S.K., Shrivastava, S.K., Kumari, L., Minj, P., Kumari, J., Sahu, R. (2023): The effects of soil pH on soil health and environmental sustainability: a review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 10 (6): d611-d616.
- Di, H., Wang, R., Ren, X., Deng, J., Deng, X., Bu, G. (2022): Co-composting of fresh tobacco leaves and soil: an exploration on the utilization of fresh tobacco waste in farmland *Environmental Science and Pollution Research* 29 (6): 8191-8204. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16189-z>
- Di Giacomo, M., Paolino, M., Silvestro, D., Vigliotta, G., Imperi, F., Visca, P., Alifano, P., Parente, D. (2017): Microbial community structure and dynamics of dark fire-cured tobacco fermentation. *Applied and Environmental Microbiology* 73(3): 825-837. <https://doi.org/10.1128/AEM.02378-06>
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, Document 32009L0028, <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
- Drozd, D., Wystalska, K., Malińska, K., Grosser, A., Grobelak, A., Kacprzak, M. (2020): Management of poultry manure in Poland – Current state and future perspectives. *Journal of Environmental Management* 264: 110327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327>

- Duffus, J. (2002): Heavy metals - a meaning less term? (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry 74 (5): 793-807. [10.1351/pac200274050793](https://doi.org/10.1351/pac200274050793)
- Đurović, V., Varga, I. (2023): Trendovi proizvodnje i konzumacije krumpira u svijetu. Glasnik Zaštite Bilja, 46 (6): 62-70. <https://doi.org/10.31727/gzb.46.6.6>
- Eberhardt, H.J. (2015). The biological degradation of nicotine by nicotinophilic microorganisms. Beitrage zur Tabakforschung International 16 (3): 119-129. <https://doi.org/10.2478/cttr-2013-0638>
- ECOFI (2014): Responses and proposals for quality and safety criteria for organic fertilizers, organic soil improvers and organo-mineral fertilizers, V8, 27 May 2014.
- El-Haggar, S.M., Hamoda, M.F., Elbieh, M.A. (1998): Composting of vegetable waste in sub-tropical climates. International Journal of Environment and Pollution 9 (4): 411-420. <https://doi.org/10.1504/IJEP.1998.028254>
- Estrada De Luis, B.I., Gomez Palacios, M.J. (2013): European Union (EU) end of waste regulation: requirements for input materials and compost quality for sludge and other biodegradable wastes. Journal of Residuals Science and Technology 10 (3): 139-146.
- European Union (2023): Eu Voluntary Review on the Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development 2023; European Union: Maastricht, The Netherlands, 2023; ISBN 978-92-68-04214-4. <https://doi.org/10.2792/937597>
- Ezzariai, A., Hafidi, M., Khadra, A., Aemig, Q., El Fels, L., Barret, M., Merlina, G., Patureau, D., Pinelli, E. (2018): Human and veterinary antibiotics during composting of sludge or manure: Global perspectives on persistence, degradation, and resistance genes. Journal of Hazardous Materials 359: 465-481. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.092>
- FAOSTAT (2021): Food and Agriculture Organisation of the United Nations. World's Top Onion Producing Countries. <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-onion-production>.
- FAOSTAT (2022). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- FAOSTAT (2023): Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://ourworldindata.org> > t
- Fillingham, M.A., Vanderzaag, A.C., Burt, S., Balde, H., Ngwabie, N.M., Smith, W., Hakami, A., Wagner-Riddle, C., Bittman, S., Macdonald, D. (2017): Greenhouse gas and ammonia emissions from production of compost bedding on a dairy farm. Waste Manag 70: 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.013>
- Fleischer, M., Sarofim, A.F., Fassett, D.W., Hammond, P., Shacklette, H.T., Nisbet, I.C., Epstein, S., (1974): Environmental impact of cadmium: a review by the Panel on Hazardous Trace Substances. Environ. Health Perspect. 7, 253–323
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations. FAOSTAT. (2021). World's Top Onion Producing Countries. <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-onion-production>
- Fresquez, M.R., Pappas, R.S., Watson, C.H. (2013): Establishment of toxic metal reference range in tobacco from U.S. cigarettes. Journal of Analytical Toxicology 37 (5): 298-304. <https://doi.org/10.1093/jat/bkt021>

- Fuchs, J. G. (2010): Interactions between beneficial and harmful microorganisms: from the composting process to compost application. In *Microbes at work* (pp. 213-229). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_11
- Gharib, F.A., Moussa L.A., Massoud O.N. (2008): Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agriculture and Biology* 10 (4): 381-387. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:8860789>
- Ghinea, C., Leahu, A. (2020): Monitoring of Fruit and Vegetable Waste Composting Process: Relationship between Microorganisms and Physico-Chemical Parameters. *Processes* 8 (3): 302. <https://doi.org/10.3390/pr8030302>
- Goldan, E., Nedef, V., Barsan, N., Culea, M., Panainte-Lehadus, M., Mosnegutu, E., Tomozei, C., Chitimus, D., Irimia, O. (2023): Assessment of manure compost used as soil amendment — a review. *Processes* 11: 1167. <https://doi.org/10.3390/pr11041167>
- Gomez-Brandon, M., Lazcano, C., Domínguez, J. (2008): The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere* 70 (3): 436-444. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>
- Goss, M.J., Tubeileh, A., Goorahoo, D. (2013): A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in Agronomy* 120: 275-379.
- Goyal, S., Dhull, S.K., Kapoor, K.K. (2005): Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology* 96: 1584-1591. doi: 10.1016/j.biortech.2004.12.012
- Grewal, S., Sreevatsan, S., & Michel Jr, F. C. (2007): Persistence of *Listeria* and *Salmonella* during swine manure treatment. *Compost Science and Utilization*, 15(1): 53-62. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2007.10702311>
- Griffiths, G., Trueman, L., Crowther, T., Thomas, B., Smith, B. (2002): Onions - global benefit to health. *Phytotherapy Research* 16 (7): 603-615. <https://doi.org/10.1002/ptr.1222>
- Gudeta, B., Solomon, K., Myneni, V.R. (2021): Bioinsecticide production from cigarette wastes. *International Journal of Chemical Engineering* 2021 (2): 1-15. <https://doi.org/10.1155/2021/4888946>
- Guo, Y., Zhu, N., Zhu, S., Deng, C. (2007): Molecular phylogenetic diversity of bacteria and its spatial distribution in composts. *Journal of Applied Microbiology*, 103(4): 1344-1354. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03367.x>
- Gürtler, V. Stanisich, V.A., (1996): New approaches to typing and identification of bacteria using the 16S-23S rDNA spacer region. *Microbiology* 142 (1), 3-16. <https://doi.org/10.1099/13500872-142-1-3>
- Gurusamy, R., Natarajan, S. (2013): Current status on biochemistry and molecular biology of microbial degradation of nicotine. *The Scientific World Journal* 2013 (1): 125385. <https://doi.org/10.1155/2013/125385>
- Gutierrez R, Spain S. (1983). Nicotine degradation by bacteria, 2: *Enterobacter cloacae* as nicotine degrader. *Degrader (Spain)* 22: 85-98.
- Hadzi-Nikolova, M., Dimov, G., Mirakovski, D., Zendelska, A., Doneva, N., Zlatkovski, V., Maragkaki, A., Papadaki, A., Sabathianakis, G., Thrassyvoulos, M., Poda, K., Naskova, Lj.,

- Misseris, T., Zapounidis, K., Lazarov, D. (2021): Biowaste management and circular economy: usage of pay as you throw system and autonomous composting units in municipality of probishtip. *Circular Economy and Sustainability* 2 (4): 1283-1300. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00122-0>
- Heinonen-Tanski, H., Mohaibes, M., Karinen, P., & Koivunen, J. (2006): Methods to reduce pathogen microorganisms in manure. *Livestock Science*, 102(3): 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.03.024>
- Hema Nalini, A.V., Pillai, P.R.S., Rao, Y.V.K.S. (2016): Optimization for temperature and time in co-composting municipal solid waste and brewery sludge. *International Journal of Environmental Engineering and Management* 7 (1): 1-23.
- Han, J., Wang, F., Li, Z., Liu, L., Zhang, G., Chen, G., Zhang, H. (2021): Isolation and identification of an osmotolerant *Bacillus amyloliquefaciens* strain T4 for 2, 3-butanediol production with tobacco waste. *Preparative Biochemistry and Biotechnology* 52 (2): 210-217. <https://doi.org/10.1080/10826068.2021.1925912>
- Hanci, F. (2018): A comprehensive overview of onion production: worldwide and Turkey. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 11 (9): 17-27. <https://doi.org/10.9790/2380-1109011727>
- Hasan - Yusuf, E., Tkacz, K., Turkiewicz, I.P., Wojdyło, A., Nowicka, P. (2021): Analysis of chemical compounds' content in different varieties of carrots, including qualification and quantification of sugars, organic acids, minerals, and bioactive compounds by UPLC. *European Food Research and Technology* 247 (12): 3053-3062. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03857-0>
- Haug, T. R. (1993): *Practical Handbook of Compost Engineering*. Hardcover, Lewis Publishers. Boca Raton London New York Washington, D.C. ISBN 0-87371-373-7, CIP 92-33533.
- Hawkins, B.T., Abbruscato, T.J., Egletton, R.D., Brown, R.C., Huber, J.D., Campos, C.R., Davis, T.P. (2004): Nicotine increases in vivo blood-brain barrier permeability and alters cerebral microvascular tight junction protein distribution. *Brain Research* 1027 (1-2): 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2004.08.043>
- Hoffmann, D., Hoffmann, I. (1998): Cigars: health effects and trends. In: *Smoking and tobacco control monograph no. 9*. National Cancer Institute. NIH Pub. No. 98-4302, p. 55-104.
- Huang, J., Yang, J., Duan, Y., Gu, W., Gong, X., Zhe, W., Su, C., Zhang, K.-Q. (2010): Bacterial diversities on unaged and aging flue-cured tobacco leaves estimated by 16S rRNA sequence analysis. *Applied Microbiology and Biotechnology* 88(2): 553-562. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2763-4>
- Huang, C., Shan, L., Chen, Z., He, Z., Li, J., Yang, Y., Shu, M., Pan, F., Jiao, Y., Zhang, F., Linhardt, R.J., Zhong, W. (2021): Differential effects of homologous transcriptional regulators NicR2A, NicR2B1, and NicR2B2 and endogenous ectopic strong promoters on nicotine metabolism in *Pseudomonas* sp. Strain JY-Q. *Applied and Environmental Microbiology* 87 (3): e02457-2520. <https://doi.org/10.1128/AEM.02457-20>
- Hwang, H.Y, Kim, S.H., Kim, M.S., Park, S.J., Lee, C.H. (2020): Co-composting of chicken manure with organic wastes: characterization of gases emissions and compost quality. *Applied Biological Chemistry* 63 (1): 3. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0483-8>.

- IBM Corp. released (2015): IBM SPSS Statistics for windows. Version 23.0, Armonk, NY: IBM Corp.
- Insam, H., de Bertoldi, M. (2007): Microbiology of composting process. In: Diaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. and Stentiford, E., Eds., *Compost Science and Technology, Waste Management Series*, Elsevier Science, Amsterdam, 26.
- ISO 14001:2015 - Environmental management systems - Requirements with guidance for use.
- Jia, X., Qin, X., Tian, X., Zhao, Y., Yang, T., Huang, J. (2021): Inoculating with the microbial agents to start up the aerobic composting of mushroom residue and wood chips at low temperature. *Journal of Environmental and Chemical Engineering* 9(4): 105294. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105294>
- Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G., Guo, R., Zhao, Y. (2011): Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *Journal of Environmental Sciences* 23(10): 1754-1760. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60591-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60591-8)
- Jovičić, N., Petrović, D., Jaćimović, M., Jovičić, G., Gordić, D., Babić M. (2009): Tehno-ekonomska analiza postrojenja za kompostiranje organskog otpada grada Kragujevca. Mašinski fakultet Kragujevac. <http://www.cqm.rs/2009/pdf/4/10.pdf>
- Jun, W., Dingqiang, L., Hui, Z., Ben, J., Jiali, W., Xiuquan, L., Hong, C., Pingkai, O. (2010): Discrimination and classification of tobacco wastes by identification and quantification of polyphenols with LC-MS/MS. *Journal of Serbian Chemical Society*, 75: 875-891. <https://doi.org/10.2298/JSC091109055W>.
- Jurgiel-Malecka, G., Gibczynska, M., Nawrocka-Pezik, M. (2015): Comparison of chemical composition of selected cultivars of white, yellow and red onions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21 (4): 736-741.
- Kang, J., Zhang, Z., Wang, J.J. (2011): Influence of humic substances on bioavailability of Cu and Zn during sewage sludge composting. *Bioresource Technology* 102 (17): 8022-8026. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.060>
- Kasheva, M., Bozukov, H., Kochev, Y. (2021): Chemical and technological characteristics of large leaf tobacco Virginia 0842. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 27 (1): 110-114.
- Katalog otpada (2010). Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja i Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije.
- Kayikcioglu, H.H., Okur, N. (2011): Evolution of enzyme activities during composting of tobacco waste. *Waste Management and Research* 29 (11): 1124-1133. <https://doi.org/10.1177/0734242X10392813>
- Keller, C., Marchetti, M., Rossi, L., Lugon-Moulin, N. (2005): Reduction of cadmium availability to tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants using soil amendments in low cadmium-contaminated agricultural soils: a pot experiment. *Plant and Soil* 276 (1): 69-84. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3101-y>
- Khalil, M.M., Eldahshan, A.D., Eldengawy, R.A., Elabsy, M.A. (2011): The effect of adding carrot peel fibers and vitamin A on iron bioavailability in biscuits. *Journal of Food and Dairy Sciences* 2 (1): 43 - 58. <https://doi.org/10.21608/JFDS.2011.81838>

- Khanal, S., Karimi, K., Majumdar, S., Kumar, V., Verma, R., Bhatia, S.K., Kuca, K., Kumar, D. (2024): Sustainable utilization and valorization of potato waste: state of the art, challenges, and perspectives. *Biomass Conversion Biorefinery* 14 (19): 23335-23360. <https://doi.org/10.1007/S13399-023-04521-1>
- Khanpour-Alikelayeh, E., Partovinia, A., Talebi, A., Kermanian, H. (2020): Investigation of *Bacillus licheniformis* in the biodegradation of Iranian heavy crude oil: A two-stage sequential approach containing factor-screening and optimization, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 205 (5): 111103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111103>
- Kim, J.D., Park, J.S., In, B.H., Kim, D., Namkoong, W. (2008): Evaluation of pilot-scale in-vessel composting for food waste treatment, *Journal of Hazardous Materials* 154 (1-3): 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.023>
- Klamer, M., Baath, E. (1998): Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis. *FEMS Microbiology Ecology*, 27(1): 9-20. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1998.tb00521.x>
- Klammer, S., Knapp, B., Insam, H., Dell'Abate, M. T., & Ros, M. (2008): Bacterial community patterns and thermal analyses of composts of various origins. *Waste Management & Research*, 26(2): 173-187. <https://doi.org/10.1177/0734242X07084113>
- Kljajić, N., Grujić - Vučkovski, B., Simonović, Z. (2023): Vegetable production in the Republic of Serbia - present state and problems. *Ekonomika* 69 (2): P.1/12. <https://doi.org/10.5937/ekonomika2302001K>
- Kohli, R. (2013): Microbial cleaning for removal of surface contamination. *Developments in Surface Contamination and Cleaning*, Chapter 4: 139-161. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7879-3.00004-2>
- Kuipers, A., Galama, P., Leso, L., Bruegemann, K., Klopčič, M. (2022): A composting bedding system for animals as a contribution to the circular economy. *Processes* 10: 518. <https://doi.org/10.3390/pr10030518>
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C. (2008): Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments - a review. *Waste Management* 28 (1): 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.012>
- Kupper, T., Bürge, D., Bachmann, H.J., Güsewell, S., Mayer, J. (2014): Heavy metals in source-separated compost and digestates. *Waste Management* 34 (5): 867-874. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.007>
- Kučić, D., Briški, F. (2017): Emission of gases during composting of solid waste. *Journal of Chemists and Chemical Engineers* 66 (9-10): 467-474. <https://doi.org/10.15255/KUI.2016.050>
- Kučić Grgić, D., Miloloža, M., Lovrinčić, E., Kovačević, A., Cvetnić, M., Očelić Bulatović, V., Prevarić, V., Bule, K., Ukić, Š., Markić, M., Bolanča, T. (2021): Bioremediation of MP-polluted Waters Using Bacteria *Bacillus licheniformis*, *Lysinibacillus massiliensis*, and Mixed Culture of *Bacillus* sp. and *Delftia acidovorans*. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* 35 (2): 205-224. <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2021.1915>

- Lam, J., Schneider, J., Shadbegian, R., Pega, F., Claired, S. St., Novotny, T.E. (2022): Modelling the global economic costs of tobacco product waste. *Bulletin of the World Health Organization*, 100: 620-627. doi: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.22.288344>
- Landgeist.com, 2021. <https://landgeist.com/2021/12/21/potato-consumpt4on-in-europe/> (pristupljeno 03.12.2024.)
- Larney, F.J., Blackshaw, R.E. (2003): Weed seed viability in compost beef cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality* 32 (3): 1105–1113. <https://doi.org/10.2134/jeg2003.1105>
- Lazić, B. (2011). *Organsko povrtarstvo*. Zadužbina Andrejević, Beograd.
- Lee, Y. (2016): Various microorganisms' roles in composting: A review. *APEC Youth Scientist Journal*, 8(1): 11-15.
- Li, H., Li, X., Duan, Y., Zhang, K.Q., Yang, J. (2010): Biotransformation of nicotine by microorganism: the case of *Pseudomonas* spp. *Applied Microbiology and Biotechnology* 86 (1): 11–7. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2427-4>
- Li, J.Z., Yang, D.D., Wei, Z.Y., Huang, J., Chi, Y.Q., Lu, Y.X., Yin, F.W. (2024): Reduction of nicotine content in tobacco through microbial degradation: research progress and potential applications. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts* 17 (1): 144. <https://doi.org/10.1186/s13068-024-02593-3>
- Liu, J., Ma, G., Chen, T., Hou, Y., Yang, S., Zhang, K.Q., Yang, J. (2015). Nicotine-degrading microorganisms and their potential applications. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99 (9): 3775-3785. <https://doi.org/doi: 10.1007/s00253-015-6525-1>
- Liu, H., Wang, H., Ma, Y., Wang, H., Shi, Y. (2016): Role of transpiration and metabolism in translocation and accumulation of cadmium in tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). *Chemosphere* 144: 1960- 1965. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.093>
- Liu, Y., Ma, R., Li, D., Qi, C., Han, L., Chen, M., Fu, F., Yuan, J., Li, G. (2020): Effects of calcium magnesium phosphate fertilizer, biochar and spent mushroom substrate on compost maturity and gaseous emissions during pig manure composting. *Journal of Environmental Management* 267 (37): 110649. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110649>
- Liu, F., Wu, Z., Zhang, X., Xi, G., Zhao, Z., Lai, M., Zhao, M. (2021): Microbial community and metabolic function analysis of cigar tobacco leaves during fermentation. *Microbiology Open* 10 (2): e1171. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1171>
- Loyon, L. (2017): Overview of manure treatment in France. *Waste Management* 61: 516-520. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2016.11.040>.
- Ma, G., Lei, L., Xia, Z., Gong, X., Zhou, W., Yang, J. (2012): Diversity and phylogenetic analyses of nicotine-degrading bacteria isolated from tobacco plantation soils. *African Journal of Microbiology Research* 6 (34): 6392-6398. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.994>
- Mahongnao, S., Sharma, P., Singh, D., Ahamad, A., Kumar, P.V., Kumar, P., Nanda, S. (2023): Formation and characterization of leaf waste into organic compost. *Environmental Science and Pollution Research* 30: 75823-75837. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27768-7>
- Mandić, N. (2015): Uticaj parametara procesa na dinamiku razgradnje nikotina u duvanskom otpadu. Master rad, Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni Fakultet.

- Mandić, N., Malnar, M., Radojičić, V., Pisinov, B. (2016): The possibility of obtaining organic fertilizer from tobacco waste. *Proceedings of the VII International Scientific Agricultural Symposium Agrosym 2016*, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 6-9 October, pp. 2082-2087. ISBN: 978-99976-632-7-6, CIP: 631(082)(0.034.2), COBISS.RS-ID6216984, UDC: 10.7251/AGRENG1607311. <http://www.agrosym.rs.ba>
- Mandrich, L., Esposito, A.V., Costa, S., Caputo, E. (2023): Chemical composition, functional and anticancer properties of carrot. *Molecules* 28 (20): 7161 <https://doi.org/10.3390/molecules28207161>
- Manios, T. (2004): The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete. *Environment International* 29 (8) : 1079-1089. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00119-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00119-3).
- Marjanović, V., Mančić, A., Cvejić, M. (2008): *Kompostiranje, Istraživačko - izdavački* „J., Wozniak, Ł., Skąpska, S. (2016): Kinetic modelling of tissue enzymes inactivation and degradation of pigments and polyphenols in cloudy carrot and celery juices under supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids* 117: 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.07.016>
- Marszałek, K., Krzyzanowska, J., Wozniak, Ł., Skąpska, S. (2016): Kinetic modelling of tissue enzymes inactivation and degradation of pigments and polyphenols in cloudy carrot and celery juices under supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 117: 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.07.016>
- Melkamu, T., Gure, A., Asere, T.G. (2022): Determination of heavy metals in tobacco leaves and their growing soils in Assosa district, Benshangul Gumuz Regional State, Ethiopia. *JOTCSA* 9(2): 495-504.
- Meng, X., Liu, B., Zhang, H., Wu, J., Yuan, X., Zongjun, C. (2019): Co-composting of the biogas residues and spent mushroom substrate: Physicochemical properties and maturity assessment. *Bioresource Technology* 276: 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.097>
- Michel, F. C., Marsh, T. J., & Reddy, C. A. (2002): Bacterial community structure during yard trimmings composting. In *Microbiology of composting* (pp. 25-42). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-08724-4_3
- Mihajlović, V. (2015): Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Moerman, J.W., Potts, G.E. (2011): Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. *Tobacco Control* 20 (Suppl 1): i 30-5. <https://doi.org/10.1136/tc.2010.040196>; This study of butt leachates identified heavy metals in butt leachages that could contaminate the aquatic biome.
- Mondini, C., Chiumenti, R., da Borso, F., Leita, L., De Nobili, M. (1996): Changes durinh processing in the organic matter composted and air-dried poultry manure. *Bioresource Technology* 55:243-249.
- Muginova, G.R. (2009): Zbirka tehnoloških problema i metoda njihovog rešavanja [Tekst]: studije. priručnik / G.R., Muginova, L.V., Ryzhova. - Jekaterinburg: Izdavačka kuća Ruskog državnog obrazovnog zavoda za visoko stručno obrazovanje “Ruski državni profesionalni pedagoški univerzitet”- 115 str.

- Muhammad, J., Khan, S., Lei, M., Khan, M.A., Nawab, J., Rashid, A., Ullah, S., Khisro, S.B. (2020): Application of poultry manure in agriculture fields leads to food plant contamination with potentially toxic elements and causes health risk. *Environmental Technology and Innovation* 19: 100909. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100909>.
- Mulchi, C.L., Bell, P.F., Adamu, C., Chaney, R. (1987): Long term availability of metals in sludge amended acid soils. *Journal of Plant Nutrition* 10 (9): 1149-1161. <https://doi.org/10.1080/01904168709363643>
- Mumba, P.P., Phiri, R. (2008): Environmental impact assessment of tobacco waste disposal. *International Journal of Environmental Research*, 2 (3): 225-230.
- Muvhiiwa, R., Mawere, E., Moyo, L. B., Tshuma, L. (2021): Utilization of cellulose in tobacco (*Nicotiana tobacum*) stalks for nitrocellulose production. *Heliyon* 7 (7): e07598. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07598>
- National Cancer Institute (1998): Cigars: Health Effects and Trends. Tobacco Control Monograph No. 9. Bethesda, MD: U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health, National Cancer Institute. NIH Pub. No. 98-4302, February 1998.
- Nahman, A., De Lange W., Oelofse, S., Godfrey, L. (2012): The cost of household food waste in South Africa. *Waste Management* 32 (11): 2147-2153. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.012>
- Nguyen, B.T., Dinh, D.H., Hoang, N.B., Do, T.T., Milham, P., Hoang, D.T., Cao, S.T. (2022): Composted tobacco waste increases the yield and organoleptic quality of leaf mustard. *Agrosystems, Geosciences and Environment* 5 (3): e20283. <https://doi.org/10.1002/agg2.20283>
- Novotny, T.E., Zhao, F. (1999): Consumption and production waste: another externality of tobacco use. *Tobacco Control* 8 (1): 75-80. <https://doi.org/10.1136/tc.8.1.75>
- Novotny, T.E., Hardin, S.N., Hovda, L.R., Novotny, D.J., McLean, M.K., Khan, S. (2011): Tobacco and cigarette but consumption in humans and animals. *Tobacco Control* 20 (1): 17-20. <https://doi.org/10.1136/tc.2011.043489>
- Novotny, T. E., Slaughter, E. (2014): Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. *Current Environmental Health Reports* 1: 208-216. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0016-x>
- Nutongkaew, T., Duangsuwan, W., Prasertsan, S., & Prasertsan, P. (2014): Effect of inoculum size on production of compost and enzymes from palm oil mill biogas sludge mixed with shredded palm empty fruit bunches and decanter cake. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 36(3): 275-281.
- Ogundare, M., Lajide, L. (2013): Physico-chemical and mineral analysis of composts fortified with NPK fertilizer, ammonium chloride and kaolin. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* 02 (02): 27-33. <https://doi.org/10.4236/jacen.2013.22005>
- OJ (1998): Establishing ecological criteria for the award of the Community Eco-Label to soil improvers. *Official Jnl. European Communities*, L 219/39 Brussels see also: www.europa.eu.int/eur-lex/eu/oj/index.html

- Okur, N., Kayikçioğlu, H., Okur, B., Delibacak, S. (2008): Organic amendment based on tobacco waste compost and farmyard manure: influence on soil biological properties and butter-head lettuce yield. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32 (2): 91-99.
- Olukosi, O.A., van Kuijk, S.J.A., Han, Y. (2018): Copper and zinc sources and levels of zinc inclusion influence growth performance, tissue trace mineral content, and carcass yield of broiler chickens. *Poultry Science* 97(11): 3891-3898. <https://doi.org/10.3382/ps/pey247>
- Orden, L., Ferreiro, N. Satti, P., Navas-Gracia, L.M., Chico-Santamarta, L., Rodríguez, R. (2021): Effects of Onion Residue, Bovine Manure Compost and Compost Tea on Soils and on the Agroecological Production of Onions. *Agriculture* 11 (10): 962. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100962>
- Paes, L.A.B., Bezerra, B.S., Deus, R.M., Jugend, D., Battistelle, R.A.G. (2019): Organic solid waste management in a circular economy perspective e a systematic review and SWOT analysis. *Journal of Clean Products* 239: 118086. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086>.
- Pan, D., Sun, M., Wang, Y., Lv, P., Wu, X., Li, Q.X., Cao, H., Hua, R. (2018): Characterization of nicotine catabolism through a novel pyrrolidine pathway in *Pseudomonas* sp. S-1. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66 (28): 7393–7401. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01868>
- Pappas, R.S., Martone, N., Gonzalez Jimenez, N., Fresquez, M.R., Watson, C. (2015): Determination of toxic metals in little cigar tobacco with ‘Triple Quad’ ICP-MS. *Journal of Analytical Toxicology* 39 (5): 347-352. <https://doi.org/10.1093/jat/bkv016>
- Pellejero, G., Miglierina, A., Aschkar, G., Jiménez-Ballesta, R. (2015): Composting Onion (*Allium cepa*) Wastes with Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Cattle Manure Assessment. *Agricultural Sciences* 6 (04): 445-455. <https://doi.org/10.4236/as.2015.64044>
- Petrović-Gegić, A., Vojinović Miloradov, M., Sabo Cehmajster, J.K., Ileš, F.I. (2007): Absorption of essential and toxic elements in various fruit and vegetable sorts in the flooded area of the Tisa river. *Hemijaska Industrija* 61(5A): 321-325
- Pfaltzgraff, L.A., De Bruyn, M. Cooper, E.C., Budarin, V., Clark, J.H. (2013): Food Waste Biomass: A Resource for High-Value Chemicals. *Green Chemistry* 15 (2): 307-314. <https://doi.org/10.1039/C2GC36978H>
- Pirsaheb, M., Hossaini, H., Nabizadeh, R., Azizi, N. (2020): Zeolite-intermittent cycle moving bed air-lift bioreactor (Zeo-ICMBABR) for composting leachate treatment; simultaneous COD, nitrogen and phosphorous compounds removal. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 18: 933-945. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00517-5>
- Piotrowska-Cyplik, A., Olejnik, A., Cyplik, P., Dach, J., Czarnecki, Z. (2009): The kinetics of nicotine degradation, enzyme activities and genotoxic potential in the characterization of tobacco waste composting. *Bioresource Technology* 100 (21): 5037-5044. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.053>
- Popović, M. (1981). *Povrtarstvo*. Nolit, Beograd.
- Preradović Stevanović, J. (2024): Ambalažni otpad kao resurs reciklažne industrije. budućnost poslovanja: Primena ESG kriterijuma“, Re-set Summit konferencija, Ministarstvo zaštite životne sredine i Privredna komora Srbije, 13.09.2024., Beograd.

- Preusch, P.L., Adler, P.R., Sikora, L.J., Tworkoski, T.J. (2002): Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 31 (6): 2051-2057. <https://doi.org/10.2134/jeg2002.2051>
- Purwono, S., Murachman, B., Wintoko, J., Simanjuntak, B., Sejati, P., Permatasari, N., Lidyawati, D. (2011): The effect of solvent for extraction for removing nicotine on the development of charcoal briquette from waste of tobacco stem. *Journal of Sustainable Energy and Environment* 2 (1): 11-13.
- Raman, G., Mohan, K., Manohar, V., Sakthivel, N. (2014): Biodegradation of nicotine by a novel nicotine-degrading bacterium, *Pseudomonas plecoglossicida* TND35 and its new biotransformation intermediates. *Biodegradation* 25 (1): 95-107. <https://doi.org/10.1007/s10532-013-9643-4>
- Radivojević, D., Hristov, S., Jožef, J. (1998): Tehnološki i higijenski aspekti uklanjanja i upotrebe tečnog stajnjaka. *Savremena poljoprivreda* 48 (2): 229-234.
- Radivojević, D., Raičević, V., Radojević, R., Topisirović, G., Mileusnić, Z., Lalević, B. (2005): Efekti kompostiranja čvrstog goveđeg stajnjaka. *Poljoprivredna tehnika*, 30 (1): 71-76.
- Radojičić, V., Nikolić, M., Ićitović, S. (2008): Some possibilities of tobacco waste utilization, *Proceedings of the Scientific - Professional Conference Ecological Truth 08*, Sokobanja, Serbia, 01 – 04 June, pp 481-484.
- Radojičić, V., Milošević, M., Tomašević, B. (2009): Tobacco waste management in Serbia. *Proceedings of the Scientific - Professional Conference Ecological truth 09*, Kladovo, Serbia, 31.May – 02. June, pp 218-221.
- Radojičić, V., (2011): Kontrola kvaliteta duvana. *Praktikum iz tehnologije obrade duvana*, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Radojičić, V. (2016). *Tehnologija duvana, udžbenik*. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, ISBN 978-86-7834-254-7, CIP 633.71(075.8), COBISS.SR-ID 226917644, Beograd.
- Radojičić, V., Malnar, M., Mandić, N., Dolijanović, Ž. (2017): Mogućnosti korišćenja duvanskog otpada kao biomase. *Zbornik naučnih radova XXXI Savetovanja agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista*, 22-23 Februar, Institut PKB Agroekonomik, Padinska Skela, Beograd, 23 (1-2), pp. 139-154. ISSN 0354-1320, UDC 167.7:63, UDK: 582.951.4; 330.132
- Reddy, M.S., Naresh, B., Leela, T., Prashanthi, M., Madhusudhan, N., Dhanasri G., Devi, P. (2010): Biodegradation of phenanthrene with biosurfactant production by a new strain of *Brevibacillus* sp. *Bioresource Technology* 101 (20): 7980-7983. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.054>
- Reid, J.J., Gribbons, M.F., Haley, D.E. (1944): The fermentation of cigar leaf tobacco as influenced by the addition of yeast. *J Agric Res.* 69: 373-381.
- Richter, P., Faroon, O., Pappas, R.S. (2017): Cadmium and Cadmium/Zinc Ratios and Tobacco-Related Morbidities. *Int J Environ Res Public Health.* 29;14(10): 1154. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101154>.
- Rodgman, A., Perfetti, T.A. (2013): *The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke*. 2nd ed. CRC Press; Boca Raton, FL, USA: 2013. p. 3091. <https://doi.org/10.1201/b13973>

- Rosen, K., Eriksson, J., Vinichuk, M. (2012): Uptake and translocation of ¹⁰⁹Cd and stable Cd within tobacco plants (*Nicotiana glauca*). *Journal of Environmental Radioactivity* 113: 16-20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.008>
- Roy, P., Mohanty, A., Dick, P., Misra, M. (2023): A review on the challenges and choices for food waste valorization: environmental and economic impacts. *ACS Environmental Au* 3 (2): 58-75. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.2c00050>
- Ruan, A., Jin, S., Peng, X., Huang, Z. (2005): Isolation and characterization of *Pseudomonas* sp. strain HF-1, capable of degrading nicotine. *Research in Microbiology* 156 (5-6): 700-706. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2005.02.010>
- Rubinstein, I., Pedersen, G.W. (2002): *Bacillus* species are present in chewing tobacco sold in the United States and evoke plasma exudation from the oral mucosa. *Clinical and Vaccine Immunology* 9 (5): 1057-1060. <https://doi.org/10.1128/cdli.9.5.1057-1060.2002>
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Clercq, D., Coosemans, J., Ryckeboer, J., Insam, H., Swings, J (2003): A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology*, 53(4): 349-410.
- Saithep, N., Dheeranupatana, S., Sumrit, P., Jeerat, S., Boonchalearmkit, S., Wongsanoon, J., Jatisatienr, C. (2009): Composting of tobacco plant waste by manual turning and forced aeration system. *Maejo International Journal of Science and Technology* 3(02): 248-260.
- Saunders, J.A., Blume, D.E. (1981). Quantitation of major tobacco alkaloids by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* 205 (1): 147-154. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)81822-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)81822-1)
- Seberini, A. (2020): Economic, social and environmental world impacts of food waste on society and zero waste as a global approach to their elimination. The 19th International Scientific Conference Globalization and its Socio-Economic Consequences 2019 - Sustainability in the Global-Knowledge Economy, SHS Web Conference 74: 03010. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207403010>
- Sezai, D., Ali, R.O. (2016): Influence of composted tobacco waste and farmyard manure applications on the yield and nutrient composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Eurasian Journal of Soil Science* 5: 132-138.
- Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S., Attri, S. (2012): Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review. *Journal of Food Science and Technology* 49 (1): 22-32. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7>
- Sharma, B., Vaish, B., Srivastava, V., Singh, S., Singh, P., Singh, R.P. (2018): An insight to atmospheric pollution - improper waste management and climate change nexus. In: Oves, M., Zain Khan, M., M.I. Ismail, I. (eds) *Modern Age Environmental Problems and their Remediation* (pp. 23-47). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64501-8_2
- Sharma, P., Bano, A., Pratap Singh, S., Kishore Dubey, N., Chandra, R., Iqbal, H.M.N. (2022): Recent advancements in microbial-assisted remediation strategies for toxic contaminants. *Cleaner Chemical Engineering* 2: 100020. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100020>

- Sharma, R., Kandel S., Khadka, S., Chaudhary, S. (2022): Nutrient contents in different sources of organic manures used in different farms of Bhaktapur district, Nepal. *Journal of Agriculture and Natural Resources* 5 (1): 150-156. <https://doi.org/10.3126/janr.v5i1.50705>
- Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M., Malley, J. (2019) : Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 2019.
- Shukla, L., Senapati, A., Tyagi, S. P., Saxena, A. K. (2014): Economically viable mass production of lignocellulolytic fungal inoculum for rapid degradation of agrowaste. *Current Science*, 2014: 1701-1704. <https://www.jstor.org/stable/24107944>
- Shymala, D.C., Belagali, S.L. (2012): Studies on variations in physico-chemical and biological characteristics at different maturity stages of municipal solid waste compost. *International Journal of Environmental Sciences* 2 (4): 1984-1997. <https://doi.org/10.6088/ijes.00202030082>
- Singh, P.K., Sharma, V., Patil, P.B., Korpole, S. (2012): Identification, purification and characterization of laterosporulin, a novel bacteriocin produced by *Brevibacillus* sp. strain GI-9. *PLOS ONE* 7 (3): e31498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031498>
- Slaughter, E., Gersberg, R., Watanabe, K., Rudolf, J., Novotny, T.E. (2011): Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish, *Atherinops affinis* and *Pimephales promelas*. *Tobacco Control* 20 (Suppl_1): i25-9. <https://doi.org/10.1136/tc.2010.040170>; This key study used an EPA protocol to establish chemical toxicity of butt leachates on fresh water and marine fish.
- Sl. glasnik RS 36/09, 88/10 i 14/16, 95/18 - dr.zakon i 35/23. Zakon o upravljanju otpadom.
- Sl. glasnik RS 135/04, 36/09, 36/09 - dr. zakon, 72/09 - dr. zakon, 43/11 - odluka US, 14/16, 76/18, 95/18 - dr. zakon, 95/18 - dr. zakon i 94/24 - dr. zakon). Zakon o zaštiti životne sredine.
- Sl. glasnik RS 25/96, 26/96, - ispr. i 101/2005 - dr. zakon. Zakon o postupanju sa otpadnim materijalima.
- Sl. glasnik RS 31/11, 97/13 i 15/15. Pravilnik o načinu razvrstavanja i postupanja sa sporednim proizvodima životinjskog porekla, veterinarsko-sanitarnim uslovima za izgradnju objekata za sakupljanje, preradu i uništavanje sporednih proizvoda životinjskog porekla, načinu sprovođenja službene kontrole i samokontrole, kao i uslovima za stočna groblja i jame grobnice.
- Sl. glasnik RS 101/05, 90/07, 95/10, 36/11, 93/12, 108/13 i 95/18. Pravilnik o sadržini i načinu vođenja evidencija od strane proizvođača duvanskih proizvoda, trgovaca na veliko duvanskim proizvodima, trgovaca na malo, uvoznika i izvoznika duvana, obrađenog duvana, prerađenog duvana, odnosno duvanskih proizvoda.
- Sl. glasnik RS 30/17, 31/18. Pravilnik o uslovima za razvrstavanje i utvrđivanje kvaliteta sredstava za ishranu bilja, odstupanjima sadržaja hranljivih materija i minimalnim i maksimalnim vrednostima dozvoljenog odstupanja sadržaja hranljivih materija i o sadržini deklaracije i načinu obeležavanja sredstava za ishranu bilja.

- Smolders, E., Oorts, K., Lombi, E., Schoeters, I., Ma, Y., Zrna, S., McLaughlin, M.J. (2012): The availability of copper in soils historically amended with sewage sludge, manure, and compost. *Journal of Environmental Quality* 41 (2): 506-514. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0317>
- Soares, M.A.R., Quina, M.J., Quinta-Ferreira, R. (2016a): Influence of N-rich material in valorization of industrial eggshell by co-composting, *Environmental Technology* 37 (21): 2773-2785. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1164251>
- Soares, M.A.R., Martoo, S., Quina, M.J., Gando-Ferreira, L.M., Quinta-Ferreira, R. (2016b): Evaluation of eggshell-rich compost as biosorbent for removal of Pb (II) from aqueous solutions. *Water Air and Soil Pollution* 227 (5): 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2843-x>
- Soobhany, N., Mohee, R., Garg, V.K. (2017): Inactivation of bacterial pathogenic load in compost against vermicompost of organic solid waste aiming to achieve sanitation goals: a review. *Waste Management* 64: 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.003>
- Soylak, M., Tuzen, M., Souza, S.A., Korn, M.D.G.A., Ferreira, S.L.C. (2007): Optimization of microwave assisted digestion procedure for the determination of zinc, copper and nickel in tea samples employing flame atomic absorption spectrometry. *Journal of Hazardous Materials* 149 (2): 264-268. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.072>
- Statistički godišnjak Republike Srbije (2018): Republički zavod za statistiku, Beograd. <https://www.stat.gov.rs>
- Stinco, C.M., Szczepanska, J., Marszałek, K., Pinto C.A., Inacio, R.S., Mapelli-Brahm, P., Barba, F.J., Lorenzo, J.M., Saraiva, J.A., Melendez-Martínez, A.J. (2019): Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice. *Food Chemistry* 299: 125112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125112>
- Su, L., Ren, K., Zhang, Y., Zhang, L. (2024): Research on the composting technology of cattle and sheep manure based on intelligent and efficient composting equipment and the evaluation standard of decomposition degree. *Fermentation* 10: 328. <https://doi.org/10.3390/fermentation10070328>
- Su-Xi, W. (2006). Discarded tobacco leaf: low-cost, valuable and natural resource for drug and food. *Food & Machinery*, 22 (6): 151-153.
- Sun, Q., Wu, D., Zhang, Z., Zhao, Y., Xie, X., Wu, J., Lu, Q., Wei, Z. (2017): Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature. *Bioresource Technology* 244 (Part 1): 635-640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.010>
- Swati, A., Hait, S. (2018): Greenhouse Gas Emission during Composting and Vermicomposting of Organic Wastes - A Review. *Clean Soil Air Water* 46 (6): 1700042. <https://doi.org/10.1002/clen.201700042>
- TAIEX (2018): Workshop on the First Processing of Raw Tobacco, 12 - 13. September, Belgrade, Serbia. Reference code: AGR 66987.
- Talaie, A.R., Jafaarzadeh, N., Talaie, M.R., Beheshti, M. (2010): Biodegradation of aromatic compounds in crude oil by isolated microorganisms from environment. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research* 18 (70): 68-80.

- Thorgeirsson, T.E., Geller, F., Sulem, P., Rafnar, T., Wiste, A., Magnusson, K.P., Manolescu, A., Thorleifsson, G., Stefansson, H., Ingason, A., Stacey, S.N., Bergthorsson, J.T., Thorlacius, S., Gudmundsson, J., Jonsson, T., Jakobsdottir, M., Saemundsdottir, J., Olafsdottir, O., Gudmundsson L.J., Bjornsdottir, G., Kristhansson, K., Skuladottir, H., Isaksson, H.J., Gudbjartsson, T., Jones, G.T., Mueller, ., Gottsater, A., Flex, A., Aben K.K.H., de Vegt, F., Mulders, P.F.A., Isla, D., Vidal, M.J., Asin, L., Saez, B., Murillo, L., Blondal, T., Kolbeinsson, H., Stefansson, J.G., Hansdottir, I., Runarsdottir, V., Pola, R., Lindbal, B., van Rij, A.M., Dieplinger, B., Haltmayer, M., Mayordomo, J.I., Kiemeney, L.A., Matthiasson, S.E., Oskarsson, H., Tyrfingsson, T., Gudbjartsson, D.F., Gulcher, J.R., Jonsson, S., Thorsteinsdottir, U., Kong, A., Stefansson, K. (2008): A variant associated with nicotine dependence, lung cancer and peripheral arterial disease. *Nature* 452 (7187): 638-642. <https://doi.org/10.1038/nature06846>
- Tian, Z., Dong, T., Wang, S., Sun, J., Chen, H., Zhang, N., Wang, S. (2024): A comprehensive review on botany, chemical composition and the impacts of heat processing and dehydration on the aroma formation of fresh carrot. *Food Chemistry X22* (9): 101201. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101201>
- Tiquia, S.M. (2005): Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology* 99 (4): 816-828. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02673.x>
- Tsai, F.M., Bui, T.D., Tseng, M.L., Wu, K.J., Chiu, A.S. (2020): A performance assessment approach for integrated solid waste management using a sustainable balanced scorecard approach. *Journal of Cleaner Production* 251: 119740. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119740>
- Tullo, E., Finzi, A., Guarino, M. (2019): Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment* 650 (2): 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Tufarelli, V., Laudadio, V. (2017): Manganese and its role in poultry nutrition: an overview. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 5(6): 749-754. [http://dx.doi.org/10.18006/2017.5\(6\).749.754](http://dx.doi.org/10.18006/2017.5(6).749.754)
- U.S. Environmental Protection Agency - EPA (2024). <https://www.epa>. Last updated on December 26, 2024
- Van Bemmelen, J. (1890): Über die bestimmung des wassers, des humms, des schwefels, der in den colloidalen silikaten gebundenen kieselsäure, des mangans U. S. W. im ackerboden. *Die Landwirthschaftlichen Vers.-Stationen* 37: 279-290.
- Verma, R., Badole, W.P., Deewan, P., Meena, V.S. (2014): Carbon and weight loss during composting of wheat straw by different methods *Annals of Biology* 30 (2): 354-357.
- Višković, M., Đatkov, Đ., Nesterović, A., Martinov, M., Cvetković, S. (2022): Stajnjak u Srbiji – količine i emisije gasova s efektom staklene bašte. *Journal of Agricultural Sciences* 67 (1): 29-46. <https://doi.org/10.2298/JAS2201029V>
- Vlada Republike Srbije (2010): Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019. Službeni glasnik RS 29/10.
- Vlyssides, A.G., Barampouti, E.M.P., Mai, S.T. (2008): Physical characteristics of olive stone wooden residues: possible bulking material for composting process. *Biodegradation* 19 (2): 209-214. <https://doi.org/10.1007/s10532-007-9127-5>

- Wang, S., Xu, P., Tang, H., Meng, J., Liu, X.L., Huang, J., Chen, H., Du, Y., Blankespoor, H.D. (2004): Biodegradation and detoxification of nicotine in tobacco solid waste by a *Pseudomonas* sp. *Biotechnology Letters* 26 (19): 1493-1496. <https://doi.org/10.1023/B:BILE.0000044450.16235.65>
- Wang, S., Liu, Z., Xu, P. (2009): Biodegradation of nicotine by a newly isolated *Agrobacterium* sp. strain S33. *Journal of Applied Microbiology* 107 (3): 838-847. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04259.x>
- Wang, G., Kong, Y., Liu, Y., Li, D., Zhang, X., Yuan, J., Li, G. (2020): Evolution of phytotoxicity during the active phase of co-composting of chicken manure, tobacco powder and mushroom substrate. *Waste Management* 114 (22): 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.034>
- Wang, M., Liu, Y., Wang, S., Wang, K., and Zhang, Y. (2021): Development of a compound microbial agent beneficial to the composting of Chinese medicinal herbal residues. *Bioresource Technology* 330: 124948. doi: 10.1016/j.biortech.2021.124948
- Wang, L., Liu, S., Li, J., Li, S. (2022): Effects of several organic fertilizers on heavy metal passivation in Cd-contaminated gray-purple soil. *Frontiers in Environmental Sciences* 10: 895646. doi: 10.3389/fenvs.2022.895646
- Wei, L., Shutao, W., Jin, Z., Tong, X. (2014): Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. *Bioresource Technology* 154 (5): 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.022>
- Westerman, P.W., Bicudo, J.R. (2005): Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresource Technology* 96 (2): 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.011>
- Wichuk, K. M., McCartney, D. (2007): A review of the effectiveness of current time-temperature regulations on pathogen inactivation during composting. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(5): 573-586. <https://doi.org/10.1139/S07-011>
- Wortmann, C.S., Shapiro, C.A. (2012). *Composting Manure and Other Organic Materials*. NebGuide, University of Nebraska, Lincoln, G1315.
- Wu, L., Ma, L.Q., Martinez, G.A. (2000) : Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality* 29 (2): 424-429. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900020008x>
- Xi, B., He, X., Dang, Q., Yang, T., Li, M., Wang, X., Li, D., Tang, J. (2015): Effect of multi-stage inoculation on the bacterial and fungal community structure during organic municipal solid wastes composting. *Bioresource Technology* 196: 399-405. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.069>
- Xia, Z.B., Shannon, K.B., Kyaw, T.P.U., Burger, M., Horwarth, W.R. (2017): Greenhouse gas emissions from green waste composting window. *Waste Management* 59: 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.004>
- Xie, X., Wang, Y., Wei, Z., Zhang, Y., Zhang, C., Zhang, S., Yang, H., Zhang, X., Zhao, Y. (2021): Continuous insulation strategy of organic waste composting in cold region: Based on cold-adapted consortium. *Bioresource Technology* 335 (16): 125257. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125257>

- Xie, C., Wang, X., Zhang, B., Liu, J., Zhang, P., Shen, G., Yin, X., Kong, D., Yang, J., Yao, H., You, X., Li, Y. (2024): Co-composting of tail vegetable with flue-cured tobacco leaves: analysis of nitrogen transformation and estimation as a seed germination agent for halophyte. *Frontiers in Microbiology* 15: 1433092. doi: 10.3389/fmicb.2024.1433092
- Yang, C.F., Lee, C.M. (2007): Enrichment, isolation, and characterization of phenol-degrading *Pseudomonas resinovorans* strain P-1 and *Brevibacillus* sp. strain P-6. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 59 (3): 206-210. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.09.010>.
- Yang, Y., Zhang, F.S., Li, H.F., Jiang, R.F. (2009): Accumulation of cadmium in the edible parts of six vegetable species grown in Cd-contaminated soils. *Journal of Environmental Management* 90 (2): 1117–1122. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.05.004>
- Yang, Y., Ge, Y., Tu, P., Zeng, H., Zhou, X., Zou, D., Wang, K., Zeng, Q. (2019): Phytoextraction of Cd from a contaminated soil by tobacco and safe use of its metal-enriched biomass. *Journal of Hazardous Materials* 363: 385-393. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.093>
- Yu, Y., Wan, Y., Wang, Q., Li, H. (2017): Effect of humic acid-based amend ments with foliar application of Zn and Se on Cd accumulation in tobacco. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 138: 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.011>
- Yuan, Y., Lu, Z., Wu, N., Huang, L.J., Lu, F., Bie, X. (2005): Isolation and preliminary characterization of a novel nicotine-degrading bacterium, *Ochrobactrum intermedium* DN2. *International Biodeterioration & Biodegradation* 56 (1): 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.04.002>
- Yuan, Y.J., Lu, Z.X., Huang, L.J., Bie, X.M., Lu, F.X., Li, Y. (2006): Optimization of a medium for enhancing nicotine biodegradation by *Ochrobactrum intermedium* DN2. *J Appl Microbiol.* 101 (3): 691–697. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02929.x>
- Yue, B., Chen, T.B., Gao, D., Zheng, G., Liu, B., Lee, D.J. (2008): Pile settle ment and volume reduction measurement during forced-aeration static composting. *Bioresource Technology* 99 (16):7450-7457. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.029>
- Zeng, J., Yin, H., Shen, X., Liu, N., Ge, J., Han, L., Huang, G. (2018): Effect of aeration internal on oxygen consumption and GHG emission during pig manure composting. *Bioresource Technology* 250: 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.010>
- Zhang, J., Loh, K-C., Li, W., Lim, J.W., Dai, Y., Tong, Y.W. (2017): Three-stage anaerobic digester for food waste. *Applied Energy* 194: 287-295. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.116>.
- Zhang, Z., Zhang, G., Chen, J., Wei, B., Lan, B., Du, J. (2018): Diversity of culturable fungi on surface of tobacco leaves during aging. *Tobacco Science & Technology* 51(12): 23-30.
- Zhang, H., Zhang, Y., Peng, A., Nie, H., Wang, F., Elsabagh, M., Loor, J.J., Amini, N. (2020): Determination of the trace minerals requirements for maintenance and growth of 35–50 kg Dorper × Hu crossbred ram lambs. *Italian Journal of Animal Science* 19 (1): 203-212. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1719910>
- Zhao, G.H., Yu, Y.L., Zhou, X.T., Lu, B.Y., Li, Z.M., Feng, Y.J. (2017): Effects of drying pretreatment and particle size adjustment on the composting process of discarded flue-cured

- tobacco leaves. *Waste Management and Research* 35(5): 534-540. <https://doi.org/10.1177/0734242X17690448>
- Zhou, J., Yu, L., Zhang, J., Zhang, X., Xue, Y., Liu, J., Zou, X. (2020): Characterization of the core microbiome in tobacco leaves during aging. *MicrobiologyOpen* 9 (3): e984. <https://doi.org/10.1002/mbo3.984>
- Zhu, X., Yuan, J., Qu, H., Hou, F., Mao, C., Lei, J., Cao, X., Li, L. (2024): Effects of different proportions of fruit tree branches on nicotine content and microbial diversity during composting of tobacco waste. *Journal of Environmental Management* 365: 121568. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121568>
- Zittel, R., Pinto da Silva, C., Domingues, C.E., Hass Seremeta, D.C., da Cunha, K.M., de Campos, S.X. (2020): Availability of nutrients, removal of nicotine, heavy metals and pathogens in compounds obtained from smuggled cigarette tobacco compost associated with industrial sewage sludge. *The Science of the Total Environment* 699: 134377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134377>
- Zorpas, A.A., Arapoglou, D., Karlis, P. (2003): Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. *Waste Management* 23 (1): 27-35. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00042-9)
- Zou, X., Bk, A., Abu-Izneid, T., Aziz, A., Devnath, P., Rauf, A., Mitra, S., Emran, T.B., Mujawah, A.A.H., Lorenzo, J.M., Mubarak, M.S., Wilairatana, P., Suleria, H.A.R. (2021): Current advances of functional phytochemicals in *Nicotiana* plant and related potential value of tobacco processing waste: a review, *Biomedical Pharmacother* 143: 112191. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112191>
- Živković, M., Ivezić, D. (2019): Osnove energetike. Rudarsko - geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd. <https://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006159>

Biografija autora

Mandić Nemanja, master inženjer tehnologije, rođen je 05. septembra 1991. godine u Ivanjici, Republika Srbija. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Ivanjici.

Školske 2010/11. godine upisao je Osnovne akademske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Prehrambena tehnologija, modul Tehnologija ratarskih proizvoda. Osnovne akademske studije završio je u roku. Završni rad pod naslovom „Uporedna analiza sadržaja lignina u listovima i stabljikama duvana tipa Berlej“ odbranio je 08. 10. 2014. godine sa ocenom 10, čime je stekao zvanje „Diplomirani inženjer tehnologije“.

Školske 2014/15. godine upisao je Master akademske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na Odseku za prehrambenu tehnologiju. Master rad pod naslovom „Uticaj parametara procesa na dinamiku razgradnje nikotina u duvanskom otpadu“ odbranio je 24. 09. 2015. godine sa ocenom 10, i stekao zvanje „Master inženjer tehnologije“.

Doktorske akademske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu upisao je školske 2015/16. godine na Odseku za prehrambenu tehnologiju.

Godine 2016. stekao je zvanje Istraživač saradnik na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Samostalno i u saradnji sa drugim autorima do sada ima 8 saopštenja na međunarodnim skupovima (štampani u celini) i objavljen jedan rad u vrhunskom časopisu nacionalnog značaja.

Tokom osnovnih i master akademskih studija, uz podršku profesora sa Katedre za tehnologiju ratarskih proizvoda uspeo je organizovati i realizovati stručne prakse u više firmi i kompanija.

Početkom juna 2016. godine, otputovao je u Kanadu na 4 meseca, radi unapređivanja poznavanja engleskog jezika, sticanja novih radnih i životnih iskustava, kao i upoznavanja drugih kultura.

U januaru 2017. godine počeo je sa stručnom praksom u kompaniji „Puratos“, gde nakon završetka iste, stupa u radni odnos u sektoru za istraživanje, razvoj i primenu, gde je i danas. Njegov rad je usmeren ka inovacijama, uvođenju i poboljšanju proizvoda i procesa. Govori engleski jezik i poseduje znanje rada na računaru.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: **Немања С. Мандић**

Број индекса: **ТХ 15/36**

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Биодградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања“

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора: **Немања С. Мандић**

Број индекса: **ТХ 15/36**

Студијски програм: **Прехрамбена технологија**

Наслов рада: **„Биодградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања“**

Ментор 1: **др Весна Радојичић, редован професор**

Ментор 2: **др Блажо Лалевић, редован професор**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Биодградација отпадних листова дувана у различитим условима компостирања“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.