

# Analiza koncentracije teških metala u različitim vrstama otpada za 2018. godinu

---

Jakop, Elena

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:616461>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository - Polytechnic of Međimurje Undergraduate and Graduate Theses Repository](#)



MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Tea Kovačić

**ANALIZA GOSPODARENJA OTPADOM ZA VRIJEME  
COVID-19 PANDEMIJE**

ZAVRŠNI RAD

Čakovec, 2023.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Tea Kovačić

**ANALIZA GOSPODARENJA OTPADOM ZA VRIJEME  
COVID-19 PANDEMIJE**

**ANALYSIS OF WASTE MANAGEMENT DURING THE  
COVID-19 PANDEMIC**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Goran Sabol, mag. ing. geoinž., v. pred.

Čakovec, 2023.

## **Naziv rada: ANALIZA GOSPODARENJA OTPADOM ZA VRIJEME COVID-19 PANDEMIJE**

Pandemija COVID-19 jedna je od najvećih pandemija u povijesti planeta Zemlje. Budući da se zbog modernog načina života proširila na skoro cijeli svijet, pretvorila se u jedan od najvećih izazova za cjelokupno gospodarstvo. Kako je taj problem zahvatio sve gospodarske grane, tako je i gospodarenje otpadom doživjelo velike promjene. Cilj predmetnog rada je izvršiti analizu gospodarenja otpadom tijekom spomenute pandemije te pružiti primjere načina na koje su se zemlje u različitim dijelovima svijeta nosile s navedenom aktivnošću. Kako bi se države što bolje prilagodile novonastaloj situaciji, na snagu je stupio niz mjera koje će se ovim radom obuhvatiti i objasniti. Isto tako, usporedit će se gospodarenje otpadom prije i tijekom pandemije te će se pobliže analizirati kako se gospodarenje otpadom promijenilo nakon pandemije.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	7
2. GOSPODARENJE OTPADOM .....	9
3. PANDEMIJA COVID-19 .....	12
4. UPRAVLJANJE OTPADOM ZA VRIJEME COVID-19 PANDEMIJE.....	15
4.1. Upravljanje otpadom za vrijeme COVID-19 pandemije u Hrvatskoj .....	20
5. KLJUČNE NAUČENE LEKCIJE I MOGUĆNOSTI.....	23
5.1. Sustavi gospodarenja zdravstvenim otpadom.....	24
5.2. Integrirano i decentralizirano gospodarenje otpadom .....	26
5.3. Količina i kvaliteta otpada, sustavno razmišljanje i novi alati .....	28
5.4. Dizajn proizvoda i okvir kružnog gospodarstva .....	29
5.5. Implikacije za politiku, protokole i smjernice .....	31
6. PREPORUKE MEĐUNARODNE ORGANIZACIJE ZA KRUTI OTPAD (ISWA).....	32
6.1. Osiguranje kontinuiteta usluga .....	32
6.2. Prilagodba usluga recikliranja .....	34
6.3. Osiguranje sigurnog prikupljanja, odlaganja i obrade medicinskog otpada.....	36
7. ZAKLJUČAK.....	38
LITERATURA .....	40
POPIS SLIKA.....	48
POPIS TABLICA .....	48

## SAŽETAK

*Pandemija je globalna epidemija bolesti koja zahvaća veliki broj ljudi diljem svijeta, prelazeći granice pojedinih država i regija. COVID-19 pandemija, uzrokovana virusom SARS-CoV-2, proglašena je 11. ožujka 2020. godine. Velike promjene u načinu života, uzrokovane ograničenjem kretanja, zatvaranjem objekata te propisanim mjerama za zaštitu od zaraze, predstavljale su veliki izazov u svim sektorima, pa tako i u infrastrukturi otpada. Gospodarenje otpadom kompleksan je sustav koji obuhvaća niz aktivnosti usmjerenih prema upravljanju različitim tipovima otpada kako bi se minimalizirali negativni utjecaji na okoliš i ljudsko zdravlje.*

*Ovaj rad naglašava važnost održivog gospodarenja otpadom kao ključnog elementa zaštite okoliša i resursa te kao odgovora na izazove pandemije i budućih globalnih kriza. Neadekvatne prakse gospodarenja otpadom tijekom COVID-19 pandemije pružaju prilike za razvoj sustavne, održive i otporne infrastrukture otpada u budućnosti. Cilj ovog istraživanja je iskoristiti saznanja o COVID-u 19 kako bi se identificirale potencijalne prilike u infrastrukturi za zbrinjavanje otpada nakon pandemije. Proveden je opsežan pregled postojećih studija slučaja u svrhu razumijevanja dinamike stvaranja otpada i strategije gospodarenja otpadom tijekom COVIDA-19. Infektivni medicinski otpad iz zdravstvenih ustanova imao je najveći priljev u usporedbi s nemedicinskim otpadom iz stambenih i drugih sektora. Ovim se radom zatim identificira pet ključnih prilika iz dugoročne operativne perspektive: razmatranje sektora medicinskog otpada kao kritičnog područja fokusa, poticanje integracije i decentralizacije objekata za gospodarenje otpadom, razvoj sustavnih i novih pristupa i alata za kvantificiranje otpada, prelazak na kružno gospodarstvo i moderniziranje politike za poboljšanje učinkovitosti infrastrukture za gospodarenje otpadom nakon pandemije. Ovaj rad ističe potrebu za poboljšanjem politike i smjernica u infrastrukturi otpada. Globalni upravljači otpadom i lokalne vlasti trebaju kritički pregledati postojeće načine gospodarenja kako bi poboljšali učinkovitost i otpornost infrastrukture za upravljanje otpadom nakon krize. Održivo gospodarenje otpadom zahtijeva suradnju i promjene ponašanja. Građani, tvrtke i vlade moraju zajednički raditi na smanjenju stvaranja otpada i očuvanju resursa.*

*Dok se suočavamo s izazovima koje pandemija i drugi globalni događaji stavljaju pred nas, neka naša posvećenost zaštiti okoliša i budućih generacija bude snažna vodilja u stvaranju svjetlije i održivije budućnosti.*

**Ključne riječi:** *pandemija, COVID-19, gospodarenje otpadom, sustavna rješenja.*

## **SUMMARY**

*A pandemic is a global epidemic that affects many people worldwide, crossing the borders of individual countries and regions. The COVID-19 pandemic, caused by the SARS-CoV-2 virus, was declared on March 11, 2020. Significant changes in lifestyle, due to movement restrictions, facility closures, and prescribed infection prevention measures, posed a major challenge in all sectors, including waste management. Waste management is a complex system that encompasses a range of activities aimed at managing various types of waste to minimize negative impacts on the environment and human health.*

*This paper underscores the importance of sustainable waste management as a key element in environmental protection and resource conservation, as well as a response to the challenges posed by the pandemic and future global crises. Inadequate waste management practices during the COVID-19 pandemic provide opportunities for the development of a systematic, sustainable, and resilient waste infrastructure in the future. The goal of this study is to leverage knowledge about COVID-19 to identify potential opportunities in waste infrastructure post-pandemic. An extensive review of existing case studies was conducted to understand the dynamics of waste generation and waste management strategies during COVID-19. Infectious medical waste from healthcare facilities had the highest influx compared to non-medical waste from residential and other sectors. Subsequently, this paper identifies five key opportunities from a long-term operational perspective: considering the medical waste sector as a critical area of focus, promoting integration and decentralization of waste management facilities, developing systematic and new approaches and tools for waste quantification, transitioning to a circular economy, and modernizing policies to improve waste management infrastructure efficiency post-pandemic. This paper emphasizes the need for policy and guideline improvements in waste infrastructure. Global waste managers and local authorities need to critically review existing waste management methods to enhance the efficiency and resilience of waste management infrastructure in times of crisis. Sustainable waste management requires collaboration and behavioral changes. Citizens, businesses, and governments must work together to reduce waste generation and preserve resources.*

*As we face the challenges posed by the pandemic and other global events, let our commitment to environmental protection and future generations be a strong guiding principle in creating a brighter and more sustainable future.*

**Key words:** *pandemic, COVID-19, waste management, systematic solutions.*

## 1. UVOD

Rast globalne populacije, zajedno s njenom migracijom u urbana središta i pratećim trendovima potrošnje, rezultirao je nekontroliranim iskorištavanjem prirodnih resursa, emisijom plinova štetnih za zdravlje ljudi i pojavom nekoliko ekoloških problema kao što su klimatske promjene, izumiranje vrsta i povećano generiranje čvrstog otpada. Više od 2,24 milijarde tona čvrstog otpada generirano je globalno u 2020. godini, s otiskom otpada od 0,79 kg po osobi dnevno, a očekuje se da će godišnja generacija otpada porasti za 73 % u odnosu na 2020. godinu, i to na 3,88 milijardi tona do 2050. godine [1].

Upravljanje čvrstim otpadom na ekološki prihvatljiv način ključno je za održivost urbanih sustava. Stope generacije otpada i njegova sastava razlikuju se ovisno o državi, razini dohotka, obrascima potrošnje, životnim stilovima, sezonskim varijacijama te različitim sektorima i infrastrukturama. Nadalje, financijski i politički faktori stvaraju brojne izazove za infrastrukturu upravljanja otpadom. Osim poznatih izazova, posebni događaji, poput prirodnih katastrofa, generiraju veliku količinu jedinstvenog otpada, obično unutar kratkog vremenskog razdoblja, što predstavlja dodatne probleme. Jedan takav scenarij koji je postavio ogromne izazove na svim razinama infrastrukturnih sustava, uključujući infrastrukturu za upravljanje otpadom, bila je COVID-19 pandemija. Za razliku od prirodnih katastrofa poput potresa i tropskih oluja, ona nije nestala unutar nekoliko sati ili dana, već je trajala više od dvije godine i potresla svaki sustav [2].

Pandemija COVID-19 uzrokovana je virusom SARS-CoV-2 te je u mnogim zemljama 20. srpnja 2021. godine uvedena stroga „zabrana kretanja“. Do navedenog datuma, zabilježeno je 190.770.507 potvrđenih slučajeva COVID-19, uključujući 4.095.924 prijavljenih smrtnih slučajeva, prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije [3].

Imala je ogroman utjecaj na infrastrukturu otpada zbog neuobičajenog povećanja njegove količine. Kako bi se spriječilo širenje zaraze tijekom pandemije, bilo je obavezno nositi maske za lice i medicinske rukavice te provoditi propisanu dezinfekciju ruku, što je rezultiralo povećanom količinom medicinskog, potencijalno opasnog otpada. Iako je pravilno upravljanje otpadom ključno za zdravlje i sigurnost, ono je još važnije tijekom pandemije kako bi se osiguralo ispravno zbrinjavanje potencijalno infektivnih materijala u svrhu sprječavanja daljnjeg širenja virusa. Kao posljedica toga, svaka zemlja morala je brzo prilagoditi svoje sustave i postupke upravljanja otpadom kako bi se učinkovito zaštitilo osoblje, kao i opća javnost, od prijetnji koje proizlaze iz velikih količina stvorenog infektivnog otpada [4].



Prijetnja COVID-19 pandemije jenjava, međutim, lekcije naučene tijekom pandemije mogu pružiti prilike za razvoj otpornih urbanih sustava upravljanja otpadom, omogućavajući im adekvatnije nošenje s takvim scenarijima, koji se mogu ponovno pojaviti u budućnosti.

## 2. GOSPODARENJE OTPADOM

Gospodarenje otpadom kompleksan je sustav koji obuhvaća niz aktivnosti usmjerenih na upravljanje različitim tipovima otpada kako bi se minimalizirali negativni utjecaji na okoliš i ljudsko zdravlje. Generiranje otpada odnosi se na stvaranje materijala koji se više ne koriste i čine otpad. Otpad može biti raznolik, uključujući kućanski, komercijalni, industrijski i opasni otpad. Svaka vrsta otpada ima svoje specifične karakteristike i zahtijeva prilagođene postupke gospodarenja. Gospodarenje otpadom mora se provoditi na način koji ne ugrožava zdravlje ljudi i nema štetni utjecaj na okoliš, a posebno tako da ne uzrokuje:

1. rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti,
2. neugodu zbog buke i neugodnih mirisa,
3. štetu za krajolik ili mjesta od posebnog interesa i
4. eksploziju ili požar.

Gospodarenje otpadom temelji se na uvažavanju načela zaštite okoliša određenih propisom kojim se uređuje zaštita okoliša, pravnom stečevinom Europske unije, načelima međunarodnog prava zaštite okoliša te znanstvenih spoznaja, najbolje svjetske prakse i pravila struke. Spomenuta načela gospodarenja otpada odnose se na:

1. „Načelo onečišćivač plaća“ – proizvođač otpada, odnosno posjednik otpada snosi troškove mjera gospodarenja otpadom te je financijski odgovoran za provedbu sanacijskih mjera zbog štete koju je otpad prouzročio ili bi je mogao prouzročiti;
2. „Načelo blizine“ – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš;
3. „Načelo samodostatnosti“ – gospodarenje otpadom obavljat će se na samodostatan način, omogućavajući neovisno ostvarivanje propisanih ciljeva na razini države, a pritom uzimajući u obzir zemljopisne okolnosti ili potrebu za posebnim građevinama za zasebne kategorije otpada;
4. „Načelo sljedivosti“ – predstavlja utvrđivanje porijekla otpada s obzirom na proizvod, ambalažu, proizvođača proizvoda, posjed i obradu tog otpada [5].

Više od 2,24 milijarde tona čvrstog otpada generirano je globalno u 2020. godini, s otiskom otpada od 0,79 kg po osobi dnevno, a očekuje se da će godišnja generacija otpada porasti za 73 % u odnosu na 2020., i to na 3,88 milijardi tona do 2050. godine [1].

Ključni koncept u održivom gospodarenju otpadom je 3R pristup: Smanjenje (engl. *Reduce*), Ponovna uporaba (engl. *Reuse*) i Recikliranje (engl. *Recycle*). Smanjenje se odnosi na smanjenje količine otpada generiranog promocijom svjesnih potrošačkih navika. Stvaranje manje količine otpada u početku znači da će biti manje otpada za čišćenje. Postoji puno jednostavnih načina za smanjenje otpada, kao što je korištenje višekratnih vrećica u trgovinama. Većina trgovina prodaje platnene vrećice koje se mogu koristiti više puta, dok plastičnim vrećicama treba stotinu godina da se razgrade. Ponovna uporaba podrazumijeva uzimanje starih ili nepotrebnih predmeta koje biste inače bacili i pronalaženje novih oblika njihove upotrebe. Postoji mnogo načina na koje možete ponovno koristiti predmete kako biste pomogli smanjiti svoj ekološki otisak otpada. Na primjer, staklenke mogu postati spremnici za radionice ili trgovinu. Stari ručnici mogu se izrezati i koristiti kao krpe za brisanje. Plastične boce za piće dobivaju novu svrhu kao hranilice za ptice. Recikliranje podrazumijeva pretvaranje otpadnih materijala u nove proizvode, čime se smanjuje potreba za izvorima. Osnovne faze recikliranja uključuju prikupljanje otpadnih materijala, njihovu obradu ili proizvodnju i kupnju tih novih proizvoda koji se zatim i sami mogu reciklirati. Tipični materijali koji se recikliraju uključuju otpad od željeza i čelika, limenke od aluminijske, staklene boce, papir, drvo i plastiku. Novine su jedan od najlakših materijala za recikliranje i najčešće reciklirani materijal. Jučerašnje vijesti pretvaraju se u kartonske ladice za jaja, izolaciju za građevinske objekte, papirnate tanjure, krep papir, telefonske imenike ili druge novine [6].



Slika 1. Hijerarhija otpada

Izvor: [7]

Obrada i odlaganje otpada važni su aspekti gospodarenja. Obrada uključuje postupke kao što su kompostiranje, anaerobna razgradnja i termička obrada. Kompostiranje je proces pretvaranja organskog otpada u kompost koji se može koristiti kao gnojivo, dok termička obrada uključuje sagorijevanje otpada kako bi se proizvela energija. Odlaganje se koristi za otpad koji se ne može obraditi ili reciklirati. Odlagališta otpada trebaju biti pravilno dizajnirana kako bi se minimizirali rizici za okoliš i zdravlje. Ona se ne mogu graditi na ekološki osjetljivim područjima i postavljaju se uz pomoć sustava za praćenje okoliša na samoj lokaciji. Ti sustavi za praćenje kontroliraju prisutnost onečišćenja podzemnih voda i plinova iz odlagališta, pružajući tako dodatne sigurnosne mjere [8]. Nepravilno odlaganje otpada može uzrokovati zagađenje tla i vode te ugroziti biološku raznolikost. Divlja odlagališta, također poznata kao divlje deponije ili divlji otpad, neuređena su i nelegalna mjesta na koja se odlaže otpad bez odgovarajuće obrade, upravljanja i nadzora. To su mjesta na otvorenom, u šumama, rijekama ili na drugim neprikladnim lokacijama, na koja se bacaju različite vrste materijala poput kućanskog, građevinskog, elektroničkog i drugog otpada. Divlja odlagališta predstavljaju ozbiljan problem za okoliš, njegovu estetiku i zdravlje ljudi [9].

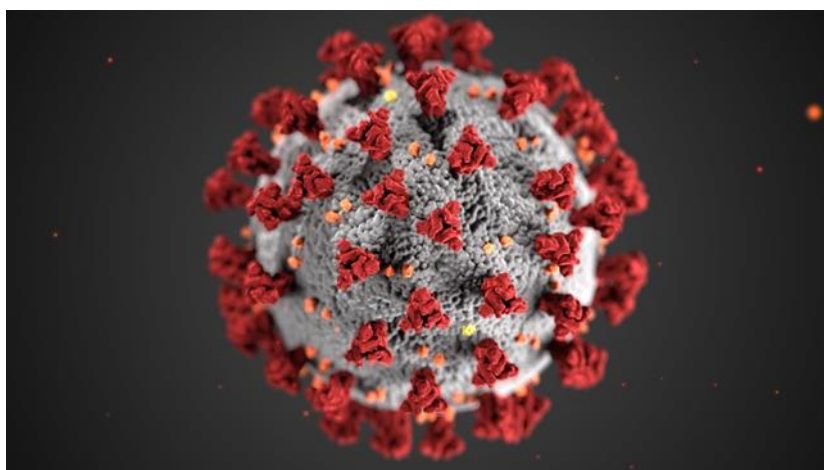


**Slika 2.** *Divlje odlagalište otpada*

**Izvor:** [10]

### 3. PANDEMIJA COVID-19

Pandemija je globalna epidemija bolesti koja zahvaća veliki broj ljudi diljem svijeta, prelazeći granice pojedinih država i regija. Obično označava širenje zarazne bolesti na globalnoj razini i može uzrokovati ozbiljne zdravstvene, društvene i ekonomske posljedice. Pandemija COVID-19 uzrokovana je virusom SARS-CoV-2 te je u mnogim zemljama 20. srpnja 2021. godine uvedena stroga „zabrana kretanja“. Do navedenog datuma, zabilježeno je 190.770.507 potvrđenih slučajeva COVID-19, uključujući 4.095.924 prijavljenih smrtnih slučajeva, prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije [3]. Prvi slučajevi korona virusa otkriveni su u gradu Wuhan u Kini, u prosincu 2019. godine, a virus se brzo proširio na druge zemlje diljem svijeta. Zbog toga je Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) proglasila izvanredno stanje u javnom zdravstvu od međunarodne važnosti (PHEIC), 30. siječnja 2020. godine, a početak pandemije proglašen je 11. ožujka 2020. godine [11].



**Slika 3.** *Virus SARS-CoV-2*

**Izvor:** [12]

Društvena izolacija uzrokovana COVID-19 pandemijom drastično je utjecala na način života: došlo je do značajnog smanjenja fizičkih i drugih važnih aktivnosti svakodnevnog života, slobodnog vremena, društvenih aktivnosti i obrazovanja, poremećenih obrazaca spavanja te promijenjenih prehrambenih navika. Kao posljedica toga, zabilježeni su ozbiljni mentalni i emocionalni problemi kod ljudi. Također je došlo do odstupanja od uobičajenih potrošačkih navika i obrazaca ponašanja. S promjenama u svakodnevnim aktivnostima, poslovnim modelima i radnim praksama, došlo je i do promjena u vrstama i količinama generiranog otpada. Zatvoreni restorani i komercijalni objekti generirali su manje komercijalnog otpada, dok se kućanski otpad povećao jer su ljudi više vremena provodili kod kuće. Povećana uporaba

jednokratnih proizvoda kao što su plastične rukavice i maske doprinijela je povećanju količine medicinskog otpada, a prelazak na rad na daljinu u svrhu smanjenja mogućnosti širenja virusa na radnom mjestu rezultirao je povećanim e-otpadom. U želji za minimiziranjem rizika od zaraze, mnogi su povećali uporabu jednokratnih proizvoda poput plastičnih boca, ambalaže i pakiranja za dezinficijense. To je dovelo do veće količine plastičnog otpada.



**Slika 4.** *Dezinficijensi za ruke i površine*

**Izvor:** [13]

Testiranje na COVID-19 zahtijevalo je upotrebu velikog broja testova i pribora, što je rezultiralo povećanjem otpada u obliku iskorištenih testova. Zbog mogućnosti zaraze, ovaj otpad zahtijeva poseban tretman kako bi se spriječilo širenje virusa [14].



**Slika 5.** *Antigen test na COVID-19*

**Izvor:** [15]

Odbor Svjetske zdravstvene organizacije za izvanredne situacije u vezi s pandemijom COVID-19, 5. je svibnja 2023. godine iznio Generalnom direktoru prijedlog da, budući da je bolest sada već dobro utemeljena i traje duže vrijeme, ona više ne odgovara javnozdravstvenoj hitnoj

situaciji od međunarodnog značaja. Direktor je taj prijedlog prihvatio, međutim, to ne znači da je pandemija gotova, već da je globalna izvanredna situacija koju je ona uzrokovala, barem za sada, okončana [11].



#### 4. UPRAVLJANJE OTPADOM ZA VRIJEME COVID-19 PANDEMIJE

Različite postojeće studije o utjecaju bolesti COVID-19 na otpad pokazale su da je pandemija imala značajan utjecaj na njegovu infrastrukturu. Iako su podaci o postotku promjene u generiranju otpada prije i tijekom pandemije ograničeni, neki istraživači pokušali su sažeti u tablicama procijenjeno generiranje medicinskog otpada povezanog s pandemijom u različitim zemljama. U svrhu sveobuhvatnog razumijevanja varijacija u trendovima generiranja otpada u tim regijama, razmotrit ćemo samo neke važne globalne statistike i trendove specifične za regiju, koji se odnose na dva ključna toka otpada generirana tijekom pandemije COVID-19: infektivni medicinski otpad generiran u ustanovama povezanima sa zdravstvom i nemedicinski otpad generiran iz stambenih i drugih sektora. Neke relevantne statistike o dinamici generiranja otpada sažete su u tablici 1 [16].

**Tablica 1.** Dinamika stvaranja otpada tijekom COVID-19 pandemije

Izvor: [16]

Region	Waste Type	Change in Waste Generation During COVID-19
Wuhan City, China	Medical Waste	6 times more waste
Healthcare Facility, Jordan	Medical Waste	10-fold increase
Malaysia	Medical Waste	27% increase
India	Medical Waste	10% more waste
Bangladesh	Medical Waste	80% increase
Tehran, Iran	Medical Waste	17.6–61.8% increase
Bangkok, Thailand	Medical Waste	5 times more waste
Jakarta, Indonesia	Medical Waste	5 times more waste
Manila, Philippines	Medical Waste	Additional 280 tons/day
Hanoi, Vietnam	Medical Waste	Additional 160 tons/day
Kuala Lumpur, Malaysia	Medical Waste	Additional 154 tons/day
Survey from 23 Countries	Food Waste	43% increase
Survey from 23 Countries	Plastic Waste	53% increase
Ontario, Canada	Residential Organic Waste	20% increase
Ontario, Canada	Residential Garbage	15% increase
Ontario, Canada	Residential Recyclables	Unchanged
Ontario, Canada	ICI Waste	Declined, data not reported
City of New York	Organic Waste	13.3% more waste
Brazil	Residential Recyclables	25% increase
Tokyo, Japan	Residential Waste	110% increase
Tokyo, Japan	ICI Waste	57% decline



Medicinski otpad može se kategorizirati u osam glavnih grupa: infektivni otpad, patogeni otpad, otpad od oštih predmeta, kemijski otpad, citotoksični otpad, radioaktivni otpad, farmaceutski otpad, i neopasni otpad [2]. Općenito, prije COVID-a, 85 % medicinskog otpada iz ustanova povezanih sa zdravstvom prijavljivalo se kao neopasni otpad. Ovaj se trend, bez sumnje, promijenio tijekom pandemije COVID-19 jer se sav infektivni medicinski otpad smatrao opasnim [17]. Upotreba kompletne opreme za osobnu zaštitu, uključujući rukavice, zaštitne maske, kapu, naočale, kiruršku kutu i zaštitne cipele, bila je obavezna za sve zdravstvene radnike i radnike na prvoj liniji kako bi se smanjio rizik od zaraze. Tijekom ranih faza pandemije COVID-19, Svjetska zdravstvena organizacija procijenila je globalnu potražnju od 89 milijuna medicinskih maski, 76 milijuna rukavica i 1,6 milijuna naočala mjesečno za zdravstvene radnike [18]. Druga studija procijenila je globalnu mjesečnu potražnju od otprilike 129 milijardi maski za lice i 65 milijardi rukavica [19]. Upotreba kompletne opreme za osobnu zaštitu tijekom pandemije nije samo povećala količinu medicinskog otpada, već je i promijenila prosječnu gustoću medicinskog otpada [20]. Jednokratne maske, N95 maske i druga jednokratna oprema za osobnu zaštitu, poput kirurških ogrtača i naočala, uglavnom su izrađeni od plastike (> 80 %), koja često uključuje polipropilen, poliuretan ili poliakrilonitril [19]. Stoga je nepravilno odlaganje medicinskog otpada povećalo i zagađenje plastikom.

Na temelju preliminarnog iskustva u postupanju s pacijentima zaraženima bolešću COVID-19 u Kini, Azijska razvojna banka procijenila je da se za svakog zaraženog pacijenta dnevno proizvodi 3,4 kg biomedicinskog otpada [21]. Ova procjena poslužila je kao osnova za izračun ukupnih stopa generiranja otpada u mnogim studijama, uzimajući u obzir ukupan broj COVID-19 slučajeva u toj regiji, stopu hospitalizacije i trajanje izolacije u danima.

Na vrhuncu pandemije, opasni medicinski otpad dosegao je 240 tona dnevno u gradu Wuhanu u Kini, što je skoro šest puta više nego prije pandemije. Međutim, kapacitet za spaljivanje bio je dovoljan samo za 49 tona medicinskog otpada dnevno [20]. Prema izjavi Qunyinga Zhaoua, šefa odjeljenja za izvanredne situacije Ministarstva za ekologiju i okoliš, centralna vlada Kine rasporedila je u gradu Wuhanu 46 mobilnih postrojenja za tretman medicinskog otpada i izgradila novo postrojenje kapaciteta 30 tona za samo 15 dana [20]. Postojeći kapaciteti također su nadograđeni kako bi mogli obrađivati medicinski opasan otpad, što je omogućilo povećanje kapaciteta za tretman otpada na preko 263 tona dnevno.



**Slika 6.** *Postojeći objekt za obradu industrijskog opasnog otpada prenamijenjen za obradu medicinskog otpada u Wuhanu*

**Izvor:** [22]

Mjere su namijenjene povećanju gradskog kapaciteta obrade otpada s prethodnih 49 tona na preko 263 tone dnevno [20]. Istraživanje provedeno na temelju podataka jedne zdravstvene ustanove u Jordanu procijenilo je da su stope generiranja otpada tijekom pandemije porasle deset puta u usporedbi s razinama prije pandemije [23]. Malezija je prijavila povećanje generiranja medicinskog otpada koji proizlazi iz aktivnosti vezanih uz COVID-19, i to za 27 % [24]. Indija je dnevno proizvodila oko 600 tona biomedicinskog otpada, što je značilo oko 10 % više otpada tijekom pandemije [25]. Istraživanje provedeno u Bangladešu pokazalo je povećanje generiranja medicinskog otpada za 80 % u roku od godine dana [26]. Generiranje medicinskog otpada u Teheranu poraslo je za 17,6 % – 61,8 % zbog pandemije COVID-19 [27]. Slično tome, gradovi poput Manile, Jakarte, Kuala Lumpura, Bangkoka i Hanoijsu suočili su se s dodatnih 150 – 280 tona medicinskog otpada dnevno [28]. Nesrazmjer generiranog medicinskog otpada i ograničenih kapaciteta za tretman predstavljao je mnoge izazove u infrastrukturi otpada u većim gradovima.

Švedska je zemlja s visokom razinom recikliranja i energetske iskoristivosti otpada. Tijekom pandemije, zadržala je svoje postojeće sustave recikliranja i kompostiranja. Zbog povećanja kućanskog otpada, provodila je kampanje za poticanje građana na smanjenje količine i odgovorno tretiranje otpada. Italija je bila teško pogođena pandemijom, što je rezultiralo većim

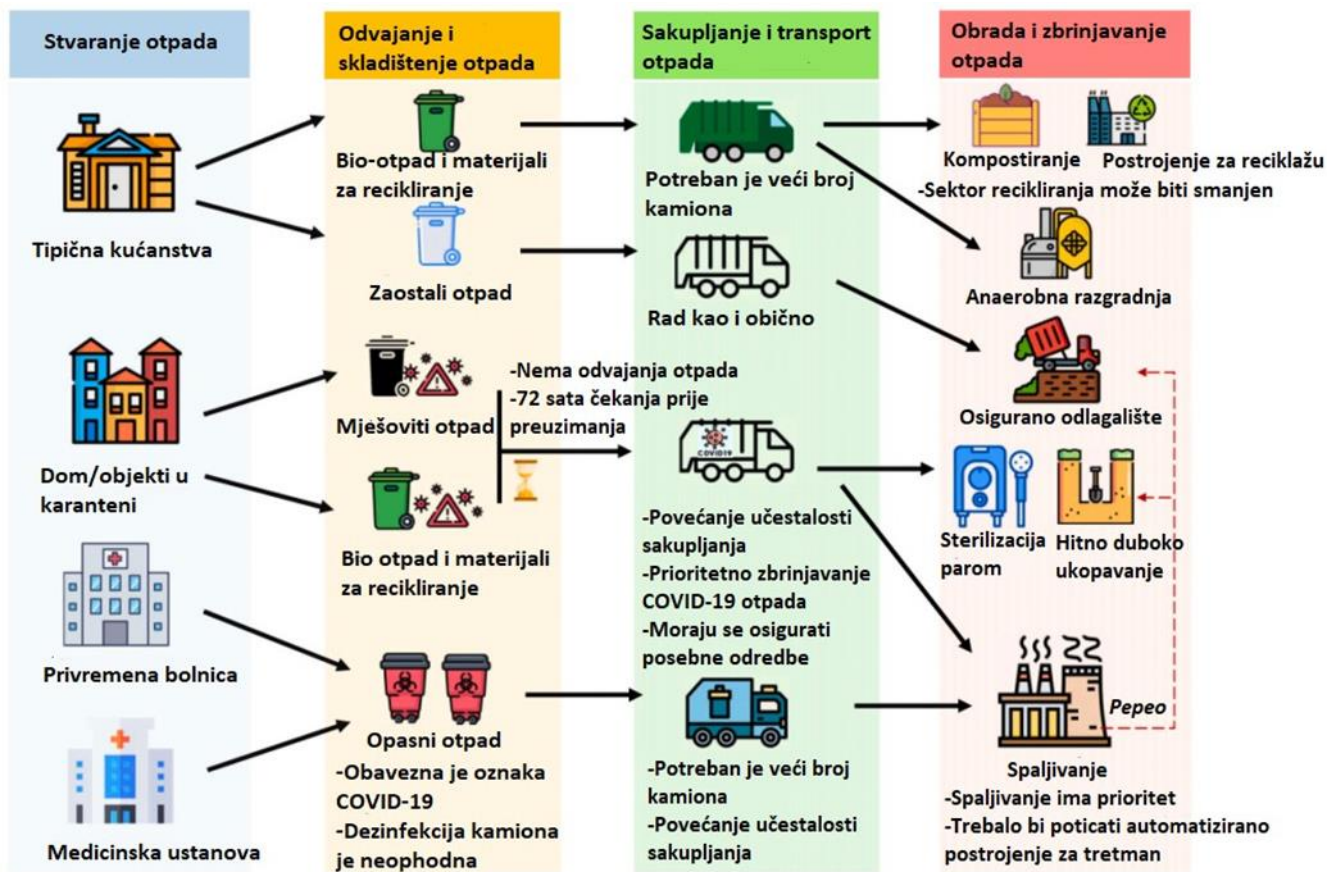
količinama medicinskog otpada. Zemlja je povećala kapacitete za tretiranje medicinskog otpada i osigurala siguran transport i zbrinjavanje. Istovremeno, suočila se s problemom smanjenih kapaciteta za tretiranje komunalnog otpada zbog zatvaranja postrojenja. Južna Koreja stavila je naglasak na povećanje kapaciteta za tretiranje medicinskog otpada. Također je provodila edukativne kampanje s ciljem informiranja građana o pravilnom postupanju s osobnom zaštitnom opremom i medicinskim otpadom. U SAD-u su se različite savezne države nosile s gospodarenjem otpadom na različite načine. U nekim područjima, zabilježeno je povećanje količine kućanskog otpada zbog toga što su građani više vremena provodili kod kuće. Neki gradovi privremeno su obustavili programe recikliranja kako bi se usmjerili na prikupljanje komunalnog otpada. Singapur je usmjerio napore prema sigurnom tretmanu medicinskog otpada i zaštiti javnog zdravlja. Povećani medicinski otpad tretirao se na odgovarajući način kako bi se spriječilo širenje virusa [29]. Ovi primjeri pokazuju raznovrsne pristupe zemalja u suočavanju s izazovima gospodarenja otpadom tijekom pandemije. Naglasak je često bio na sigurnom tretmanu medicinskog otpada, edukaciji građana i prilagodbi postojećih sustava povećanom opterećenju.

Ograničenja putovanja, odredbe o ostanku kod kuće i smanjenje radnih mjesta uzrokovali su povećanje generiranja nemedicinskog otpada u većini gradova. Nemedicinski otpad odnosi se na ostale opće tokove otpada, uključujući stambeni, industrijski, komercijalni i institucionalni otpad te otpad od građevina, renovacija i rušenja. Povećanje stambenog otpada povezano je s većom potrošnjom, uključujući kupnju hrane u većim količinama, panično kupovanje sredstava za čišćenje i dezinfekciju, online narudžbe i pakiranja u kojima dolaze [30]. Stambeni otpad, kao i otpad iz industrijskog, komercijalnog i institucionalnog sektora (ICI), koji je generiran tijekom pandemije COVID-19, uključivao je potencijalno infektivne materijale, poput maski, rukavica i maramica. Međutim, kvantitativne informacije o zaraznim kategorijama naspram onih neinfektivnih u tokovima stambenog i institucionalnog sektora otpada nisu dostupne.

Studija koju su proveli Filho et al. pokazalo je povećanje od 43 % u bacanju hrane i 53 % u plastičnoj ambalaži u usporedbi s razinama stvaranja otpada prije pandemije. Iako većina gradova pokazuje sličan trend povećanja stambenog otpada, neki su gradovi također pokazali suprotne trendove, odnosno smanjenje tijekom različitih valova pandemije, što je možda povezano s varijacijama u obrascima potrošnje i socioekonomskim stresom [30].

Statistike iz različitih studija slučajeva diljem svijeta pokazuju da je medicinski otpad generiran u zdravstvenim ustanovama doživio najveći porast u dinamici generiranja otpada u usporedbi s

otpadom iz stambenih i drugih sektora. Tokovi otpada iz stambenih i drugih sektora uključivali su više potencijalno infektivnih materijala nego prije. Povezani izazovi u infrastrukturi otpada tijekom pandemije COVID-19 uključivali su nedostatak odgovarajućih sustava za upravljanje medicinskim otpadom za obradu iznenadnog porasta zaraznog biomedicinskog otpada, povećanu potražnju za jednokratnom plastikom zbog obvezne uporabe osobne zaštitne opreme (PPE) i drugih medicinskih predmeta, smanjenje aktivnosti recikliranja i preusmjeravanje na odlagališta i ilegalna odlagališta, povećanje miješanog otpada, povećanje volumena stambenog otpada koji preplavljuje postojeće sustave upravljanja komunalnim čvrstim otpadom, i smanjenje otpada iz industrijskog, komercijalnog i institucionalnog sektora uzrokovano usporavanjem ekonomske aktivnosti. Kako bi se prilagodili tim varijacijama i zaštitili radnu snagu i javnost od zaraze, sustavi i postupci upravljanja otpadom morali su se brzo promijeniti.

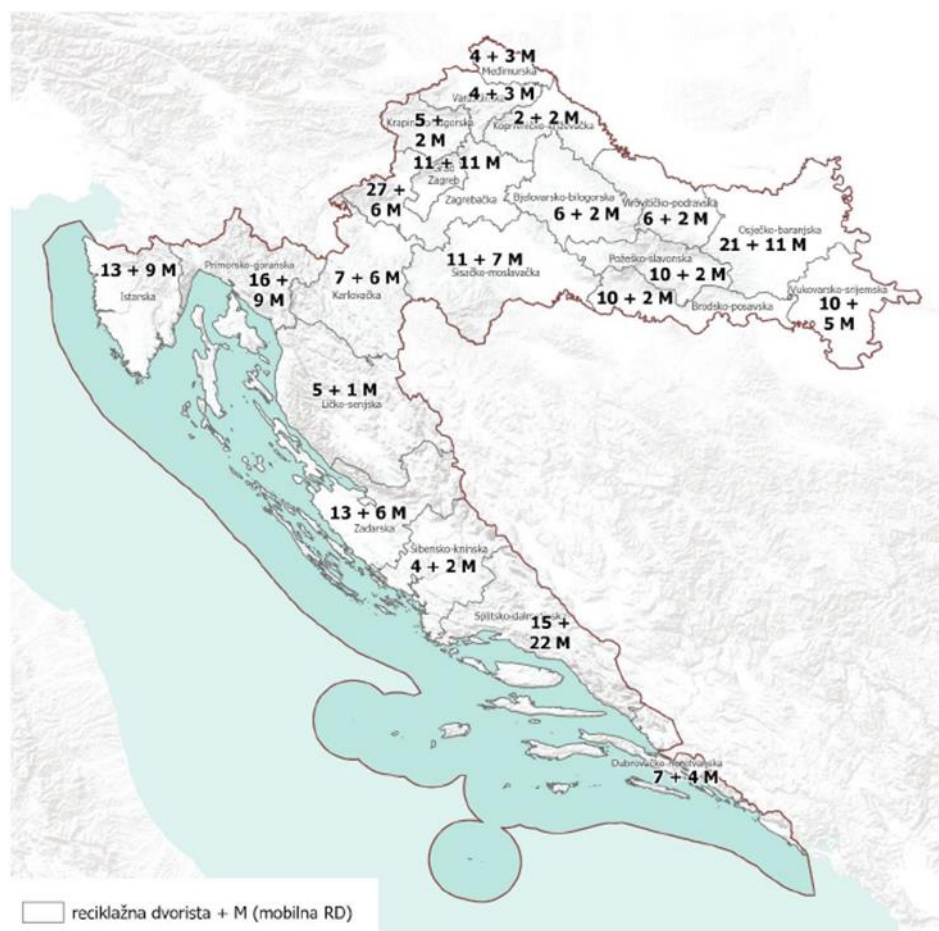


Slika 7. Trendovi i prakse upravljanja krutim otpadom tijekom COVID-19 pandemije

Izvor: [31]

#### 4.1. Upravljanje otpadom za vrijeme COVID-19 pandemije u Hrvatskoj

U 2020. godini, Hrvatska je zabilježila smanjenje količine komunalnog otpada za 6,5 % u usporedbi s prethodnom, 2019. godinom [32]. To se smanjenje može pripisati utjecaju pandemije COVID-19 koja je rezultirala smanjenom aktivnošću u uslužnom sektoru tijekom 2020. godine. Također, značajan doprinos smanjenju otpada došao je kroz napore u podizanju svijesti građana o njihovoj ulozi u stvaranju i smanjenju otpada. Dodatno, ulaganja su bila usmjerena u poboljšanje infrastrukture za odvajanje otpada, uključujući postavljanje spremnika za odvojeno prikupljanje u blizini kućanstava, izgradnju reciklažnih dvorišta, postavljanje spremnika za odvajanje otpada na javnim mjestima, nabavu vozila za odvojeno prikupljanje te opremanje sortirnica [32].



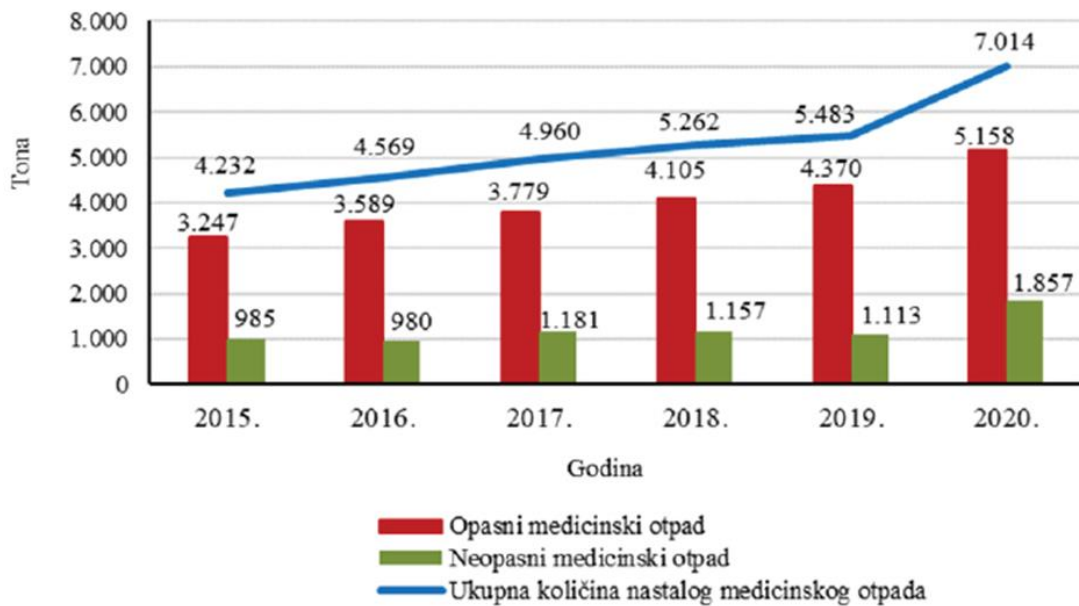
Slika 8. Broj reciklažnih dvorišta po županijama u 2020.

Izvor: [33]

Tijekom 2020. godine, ukupno je generirano 7.014 tona medicinskog otpada, pri čemu je 74 % otpada bilo opasno, dok se 26 % smatralo neopasnim medicinskim otpadom. U usporedbi s 2019. godinom, taj broj je porastao za 28 %. Taj se rast može pripisati većoj potrošnji



medicinskih proizvoda tijekom COVID-19 pandemije. Količina opasnog medicinskog otpada povećala se za 18 %, a količina neopasnog medicinskog otpada za 67 % [34].

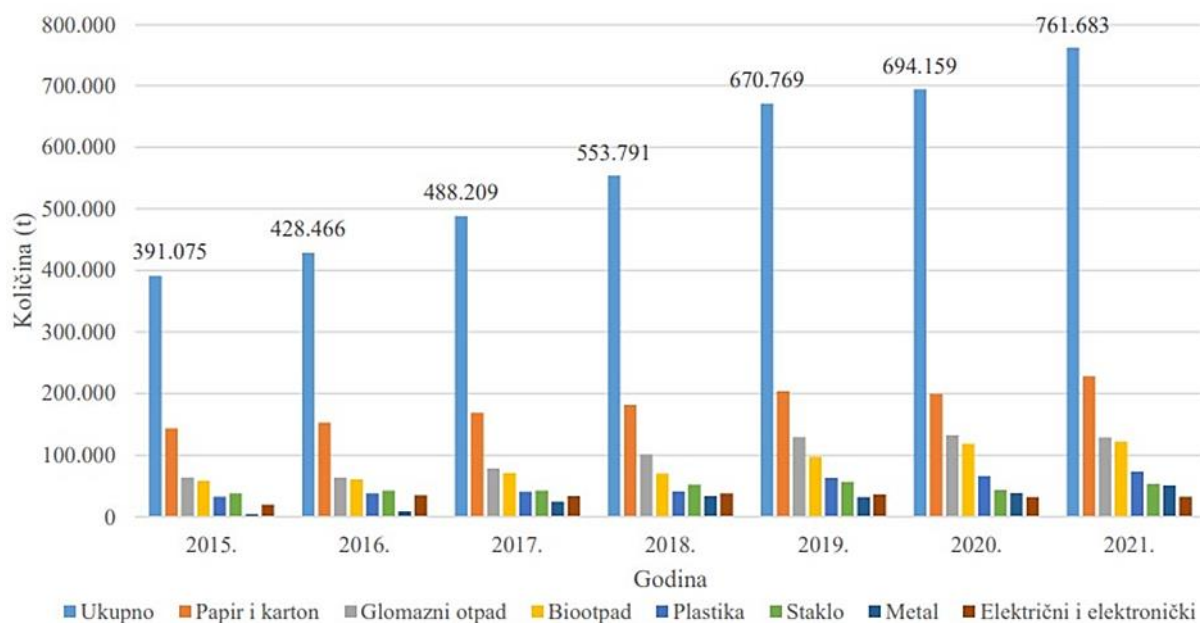


**Slika 9.** Količine nastalog medicinskog otpada u razdoblju od 2015. do 2020.

**Izvor:** [33]

Od ukupne količine medicinskog otpada koja je nastala tijekom 2020. godine, 113 tona izravno je izvezeno van granica Republike Hrvatske radi daljnje obrade. Preostali dio tog otpada, 5.042 tona (72 %), podvrgnut je procesima sterilizacije unutar Republike Hrvatske. Nakon toga, pola se smatralo neopasnim i odloženo je na odlagališta u Republici Hrvatskoj, dok je druga polovina izvezena izvan zemlje radi konačne obrade, uglavnom energetsom uporabom [33].

U 2021. godini, u Republici Hrvatskoj generirano je ukupno 1.766.560 tona komunalnog otpada. Radi se o povećanju od 4 % u usporedbi s 2020. godinom, a rast je posljedica veće aktivnosti uslužnog sektora nakon usporavanja ili privremenog zatvaranja tijekom 2020. godine zbog pandemije COVID-19. Tijekom razdoblja od 2017. do 2021. godine, broj jedinica lokalne samouprave koje provode odvojeno sakupljanje otpada povećao se s 457 na 519. Postoji samo 37 jedinica koje još nisu uvele sustav odvojenog sakupljanja komunalnog otpada. Kao rezultat toga, povećao se udio komunalnog otpada koji se sakuplja odvojeno, i to s 28 % u 2017. godini na 43 % u 2021. godini [35].



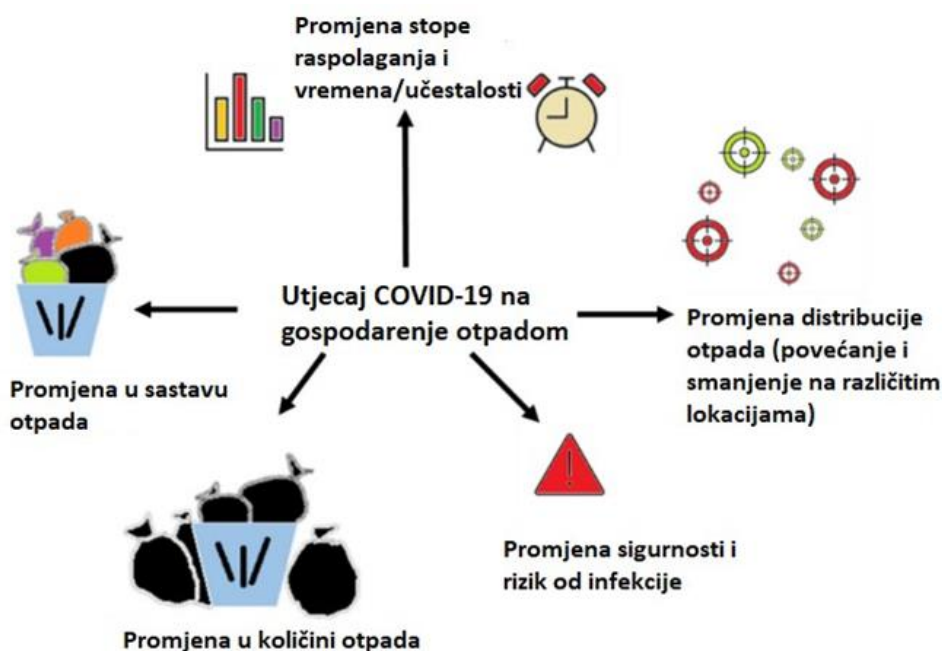
**Slika 10.** Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH, 2015. – 2021.

**Izvor:** [35]

Iako hrvatski propisi definiraju sve korake u lancu gospodarenja otpadom, njihova je provedba jedan od najvećih problema u zemlji. Nepravilna praksa vidljiva je od točke proizvodnje otpada do konačnog zbrinjavanja. Najveći proizvođači opasnog medicinskog otpada su bolnice koje ne provode postojeću zakonsku regulativu zbog nedostatka edukacije i sredstava.

## 5. KLJUČNE NAUČENE LEKCIJE I MOGUĆNOSTI

Kao što je ranije raspravljeno, pandemija COVID-19 ima dubok utjecaj ne samo na ljudsko zdravlje, već i na okoliš, jer stvara mnoge izazove u svakoj komunalnoj infrastrukturi i na različitim razinama. Unatoč tome što je bilo važno da vlasti diljem svijeta tijekom pandemije postave javno zdravstvo kao glavnu točku fokusa, ne smiju se zanemariti ni drugi vitalni sektori. Iako vrlo kritičan, jedan od tih manje primijećenih sektora, koji je na kraju ipak privukao Vladinu pozornost kako bi se spriječili masovni društveni i ekološki poremećaji, bila je infrastruktura otpada. Nedostatak odgovarajućih elemenata u sustavu infrastrukture otpada, kao što su sigurni sustavi zbrinjavanja otpada koji mogu podnijeti nagli porast medicinskog otpada i otpadnih tokova na bazi plastike, sveobuhvatni i sustavni alati, alternativne i prilagodljive tehnologije i politike, postali su ključni izazovi. Ako se ozbiljno i pozitivno shvate, ovi izazovi također stvaraju prilike za poboljšanja i inovacije. Niže navedeni odjeljci detaljnije razrađuju ključne izazove, identificiraju naučene lekcije i nude neke potencijalne prilike za razvoj otporne i održive infrastrukture otpada na duži period.



Slika 11. Utjecaji pandemije COVID-19 na gospodarenje otpadom

Izvor: [31]



### 5.1. Sustavi gospodarenja zdravstvenim otpadom

Porastom broja hospitalizacija, količina otpada iz zdravstvenih ustanova širom svijeta porasla je izvan mogućnosti upravljanja sustavima za upravljanje otpadom. Mogućnost svake zemlje ili urbanih sustava da upravlja povećanjem količine medicinskog otpada ovisi o nekoliko čimbenika, kao što su donošenje i provedba politike, postojeći načini i kapaciteti prikupljanja, prijevoza, odlaganja i tretmana, postojeći postupci i kapaciteti za tretiranje medicinskog otpada te dodijeljeni proračuni za upravljanje medicinskim otpadom [4, 36]. Pravilno prepoznavanje, prikupljanje, razdvajanje, skladištenje, prijevoz, odlaganje i tretiranje moraju postati dio učinkovitog upravljanja medicinskim otpadom. Naknadno, produktivno upravljanje medicinskim otpadom još je jedno područje koje zahtijeva posebnu pozornost, a to uključuje razumijevanje određenih standarda, smjernica za dezinfekciju, zaštitu osoblja i povezane rizike, obuku i aspekte praćenja [37, 38].

Upravljanje otpadom iz zdravstva uvijek je predstavljalo izazov. Mnoge zemlje, posebno one u razvoju, nemaju odgovarajuće postupke odlaganja medicinskog otpada i rukovanja njime, što dovodi do nepovoljnih utjecaja na okoliš, poput onečišćenja podzemnih voda i zraka te potencijalnog izbijanja virusnih epidemija. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji, 30 % zdravstvenih ustanova (60 % u najmanje razvijenim zemljama) nije opremljeno za rukovanje postojećim količinama otpada, a kamoli dodatnim opterećenjem bolesti COVID-19 [39]. Gledajući s pozitivne strane, pandemija je prisilila ove zemlje da isprave zanemarene aspekte i smatraju upravljanje otpadom iz zdravstva područjem od velike važnosti.

Financijska ograničenja primjene odgovarajućih postupaka prikupljanja, prijevoza, odlaganja i obrade, zajedno s općim nedostatkom obrazovanja i smjernica o pravilnom rukovanju medicinskim otpadom, prepoznati su kao neki od ključnih izazova u provedbi sigurnih praksi upravljanja otpadom [40, 41]. U odgovoru na izbijanje COVID-19 pandemije, mnoge organizacije, uključujući Program Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP), Svjetsku zdravstvenu organizaciju (WHO), Europsku uniju (EU) i Europski centar za prevenciju i kontrolu bolesti (ECDC), objavile su izmijenjene smjernice za upravljanje infektivnim otpadom, stavljajući veći naglasak na infektivni medicinski i kućni otpad povezan s bolešću COVID-19 [36, 42, 43, 44, 45, 46]. Osim toga, različiti istraživači predložili su niz najboljih praksi za sigurno rukovanje medicinskim otpadom, budući da je ovom području posvećena veća pozornost u istraživačkoj zajednici nego ikad prije.

Nesposobnost postojećih tretmanskih objekata da zadovolje varijacije u dodatnom otpadu koji generiraju zdravstveni centri bilo je još jedno zabrinjavajuće područje tijekom COVID-19 pandemije. Problemi kapaciteta tretmanskih objekata u nekim regijama rezultirali su ilegalnim odlaganjem otpada u predgrađa i nekontroliranim spaljivanjem. S obzirom na dugoročne ekološke i zdravstvene posljedice, nepravilno odlaganje otpada tijekom pandemije moglo bi dovesti do ekološke devastacije u post pandemijskom svijetu [36, 40].

Dvije najčešće tehnike gospodarenja koje se koriste u sektoru medicinskog otpada su spaljivanje i sigurno odlaganje na odlagalištima [42, 47]. Nekontrolirano spaljivanje ili spaljivanje neprikladnih materijala može osloboditi toksične onečišćivače zraka i druge otrovne spojeve, uključujući i ostatke pepela [48].



**Slika 12.** Peć prilagođena za spaljivanje medicinskog otpada

**Izvor:** [49]

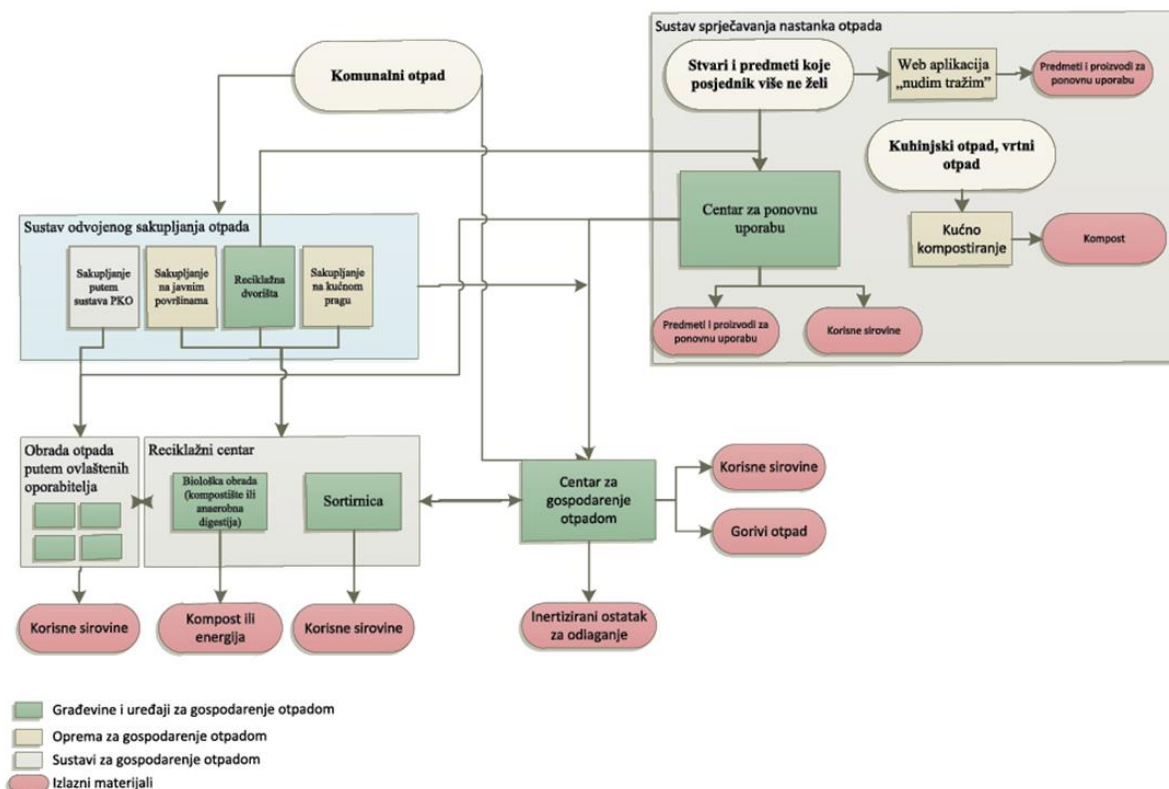
Za odlaganje na odlagalište, kruti otpad mora se učiniti nepatogenim u sklopu procesa kemijske ili toplinske sanitacije na licu mjesta prije slanja na odlagalište. Odlaganje neobrađenog medicinskog otpada na loše izgrađena odlagališta može dovesti do kontaminacije vode, tla i zraka [39]. Neke od održivih alternativnih tehnologija uključuju plinsku sterilizaciju, zračenje, kemijsku dezinfekciju, hidrotermalnu karbonizaciju i drugo [36]. Međutim, usvajanje bilo koje od ovih tehnologija ovisilo bi o mnogim uvjetima, uključujući njihovu dostupnost, prilagodljivost, sposobnost, tehnološku zrelost te ekonomske i ekološke probleme.

## 5.2. Integrirano i decentralizirano gospodarenje otpadom

Pandemija COVID-19 bila je puno više od globalne zdravstvene krize: utjecala je na društvo, ekonomiju i sve infrastrukturne sustave. Vraćanje u normalu je izazovno te je nužno razvijanje dugoročnog, sistematičnog i integriranog plana za infrastrukturu čvrstog otpada.

Ograničeni resursi i tehnološke mogućnosti te ograničena prilagodljivost i sposobnost postojećih sustava za proizvodnju, prikupljanje, prijevoz i odlaganje otpada za upravljanje povećanom količinom medicinskog otpada identificirani su kao neki od ključnih izazova u rješavanju problema otpada povezanog s pandemijom COVID-19 [25, 48]. Jedna aktivnost ili strategija sama po sebi nije dovoljna za učinkovito ublažavanje rizika povezanih s otpadom. Kombinacija više aktivnosti predstavljenih u modelu integriranog gospodarenja čvrstim otpadom (ISWM) mogla bi predstavljati najbolji pristup. Integrirano gospodarenje čvrstim otpadom predstavlja strateški pristup održivom gospodarenju krutim otpadom koji pokriva sve izvore, aktivnosti i aspekte povezane s tom aktivnošću. U ovom kontekstu, hijerarhija modela integriranog gospodarenja čvrstim otpadom odnosi se na pet R-ova: (smanjenje otpada na izvoru, ponovna upotreba proizvoda, recikliranje materijala, oporaba energije i upravljanje ostacima) i može se smatrati učinkovitim alatom [50].

Sustav gospodarenja otpadom organiziran je u obliku mreža, budući da uključuje prateće mreže (ceste, zgrade kao što su spalionice, skladišni centri, komunalije i drugo) koje se sastoje od nekoliko točaka ili čvorova [51]. Ovaj je odnos dvosmjernan: svaki infrastrukturni sustav na urbanom području stvara neku vrstu otpada, a infrastruktura za otpad također ovisi o svim drugim infrastrukturama. Sami objekti za obradu otpada također su fizičke građevine. Odlagališta otpada natječu se s drugom infrastrukturom za prostor, a sakupljanje otpada oslanja se na kamione i prijevoz, dok objekti za sortiranje trebaju energiju. Važno je na te međuovisnosti gledati pozitivno, bez eliminiranja utjecaja, jer one pružaju mogućnosti za povećanje otpornosti i održivosti [52]. Pristup integriranog infrastrukturnog sustava nudi značajne prednosti, povećanjem učinkovitosti i otpornosti cijelog sustava: minimiziranje prekida usluga i radova te smanjenje troškova obnove, promicanje ciljeva održivosti, uključujući smanjenje resursa, pravilnu raspodjelu i razmatranje životnog ciklusa pojedinačnih komponenti, identificiranje i upravljanje kratkoročnim i dugoročnim utjecajima, te uključivanje mnogih drugih ekoloških i ekonomskih koristi [53, 54, 55, 56].



**Slika 13.** Shema sustava gospodarenja komunalnim otpadom

**Izvor:** [33]

Integracija infrastruktura može imati više oblika. Jedna od atraktivnih dimenzija je spajanje integracije i decentralizacije, pri čemu se integracija događa na decentraliziran način, umjesto ograničavanja integracije samo na centraliziranu lokaciju [53]. Porast medicinskog otpada uglavnom je ugušio postojeće sustave gospodarenja otpadom tijekom pandemije COVID-19, međutim, širenje zdravstvenih ustanova i izgradnja novih objekata, poput bolnica, izolacijskih odjela, privremenih karantenskih kampova i centara za testiranje, postavili su dodatne izazove u smislu poštovanja protokola koji se odnose na odvajanje otpada, skladištenje, prijevoz i odlaganje [36, 40]. Osim ograničenja kapaciteta središnjih postrojenja za gospodarenje otpadom, nepostojanje *in situ* ili obližnjih postrojenja za obradu otpada povećalo je transport velikih količina infektivnog otpada na velike udaljenosti, što je dovelo do daljnje kontaminacije i utjecalo na sigurnost radnika. Time se naglašava važnost integriranja decentraliziranih objekata za gospodarenje otpadom na licu mjesta u infrastrukturu za otpad [40]. Neke jednostavne prakse uključuju odvajanje otpada u kući, jedinice za spaljivanje i kompostiranje u dvorištu.

### 5.3. Količina i kvaliteta otpada, sustavno razmišljanje i novi alati

Tijekom pandemije COVID-19, bila su dostupna dnevna ažuriranja i globalne statistike u vezi s problemima javnog zdravlja i okoliša, kao što su broj oboljelih i smrtnih slučajeva te podaci o praćenju onečišćenja zraka u stvarnom vremenu. Međutim, široki pristup podacima o stvaranju, sastavu i recikliranju otpada nije bio dostupan u sličnom formatu. Iako izazovno, važno je prikupiti pouzdane informacije u stvarnom vremenu o količini i kvaliteti, uključujući količinu i vrstu proizvedenog otpada, količinu koja je već reciklirana i količinu koju tek treba zbrinuti. Ove bi informacije bile korisne za industriju gospodarenja otpadom kako bi se brzo identificirali ključni problemi te kako bi se identificirale i prioritizirale mjere ublažavanja, osobito u hitnim situacijama [57, 58]. S druge strane, javna svijest o ovim postojećim izazovima mogla je imati pozitivne učinke na infrastrukturu otpada kroz promjene u obrascima ponašanja i potrošnje.

Kao što je vidljivo iz prethodno razmotrenih studija slučaja, mjere povezane s pandemijom u različitim sektorima imale su različite utjecaje na sektorske trendove stvaranja otpada. Rad od kuće povećao je stambeni otpad, dok je smanjio otpad koji stvaraju tvrtke i škole. Kako bi se razumjela i točno procijenila količina (količine ili stope stvaranja otpada po sektoru i sastav otpada) i kvaliteta (zarazni u odnosu na nezarazne) otpada, potreban je sveobuhvatan skup modela (sustav), a to su dinamički modeli i ulazno-izlazni (engl. *input-output*) modeli.

Drugi alat koji se može primijeniti za kvantificiranje bilance mase i energije inputa, outputa, proizvodnje, potrošnje i otpada urbanog sustava je pristup urbanog metabolizma [40]. Kvantitativni i kvalitativni modeli i alati trebali bi biti dovoljno jednostavni za korištenje i provjeru valjanosti u različitim scenarijima, ali bi u isto vrijeme trebali uključivati sve složene i međuovisne elemente kako bi bolje predstavili sustav. Međutim, ti modeli i alati ne mogu funkcionirati u nedostatku pouzdanih podataka. Prilagodba postojećih sustava gospodarenja otpadom, poboljšanje učinkovitosti i integracija novih sustava također zahtijevaju dosljedne i pouzdane podatke. Iako je nedostatak podataka ključno pitanje koje je potrebno istražiti, sveobuhvatni modeli i novi alati mogu se koristiti za predviđanje i procjenu podataka, kao što su stope stvaranja i sastav otpada [59]. Nedostatak takvih alata i modela, stoga, nameće dodatno opterećenje u situacijama kao što je pandemija COVID-19.

Za razliku od primjene konvencionalnih alata, postoje mogućnosti za uvođenje novih i robusnih pristupa, kao što je korištenje alata i tehnika poboljšanih umjetnom inteligencijom (AI) u infrastrukturi otpada, posebno za točno predviđanje trendova otpada. Pokazalo se da su različiti

modeli povezani s umjetnom inteligencijom, kao što su umjetne neuronske mreže (ANN), stroj potpornih vektora (SVM), stabla odlučivanja (DT) i tehnike genetskih algoritama (GA), imali značajan utjecaj na predviđanje, klasifikaciju, prikupljanje i transport otpada, te također u modeliranju i optimizaciji obrade otpada [60, 61, 62, 63, 64]. Točne prognoze trendova otpada koji uključuju korištenje alata poboljšanih umjetnom inteligencijom igrale bi ključnu ulogu u donošenju odluka u upravljanju potražnjom za otpadom i optimizaciji ruta i učestalosti prikupljanja otpada, pružajući mnoge ekološke i ekonomske koristi. Neki primjeri primjene tehnika utemeljenih na umjetnoj inteligenciji u gospodarenju otpadom uključuju pametne kante za recikliranje, automatizirane sustave za sortiranje, robote za sakupljanje otpada i autonomne kamione za sakupljanje otpada [65, 66]. Ove tehnike imune su na infekcije i izbjegavaju ljudski kontakt i kontaminaciju, što može igrati značajnu ulogu u borbi protiv zaraznih bolesti kao što je COVID-19.

#### **5.4. Dizajn proizvoda i okvir kružnog gospodarstva**

Tijekom pandemije COVID-19, potražnja za plastikom za jednokratnu upotrebu značajno je porasla zbog upotrebe osobne zaštitne opreme, sanitarnih i drugih zdravstvenih predmeta te pakiranja. Unatoč tome što je plastika odigrala ključnu ulogu u preživljavanju pandemije, sve veća masa neobrađenog plastičnog otpada uzrokuje globalnu ekološku katastrofu te bi mogla dovesti do onečišćenja mikroplastikom i njegovih mogućih implikacija na okoliš i ljudsko zdravlje, kratkoročno i dugoročno [45]. Gospodarenje plastičnim otpadom uvijek je bio izazov. Većina plastičnog otpada nakupljenog tijekom pandemije COVID-19 odložena je na odlagalište ili spaljena, a manji je dio recikliran, uglavnom zato što je potencijalno kontaminirana plastika bila ograničena u reciklažnim centrima [17, 67]. Plastičnom otpadu nije mjesto na odlagalištima jer se možda neće razgraditi, a spaljivanje također može dovesti do problema s onečišćenjem zraka.

Iako bi to bio izazovan pomak, potrebno je hitno djelovanje u prijelazu na održivu proizvodnju, održivu potrošnju i istraživanje tehnologija recikliranja i alternativne obrade u gospodarenju plastičnim otpadom. U tom kontekstu, prelazak na pristup kružnog gospodarstva dobio je značajnu pozornost posljednjih godina, za razliku od tradicionalnog i neodrživog pristupa linearnog gospodarstva [68, 69, 70, 71, 72, 73, 74]. Kružno gospodarstvo promiče cikličke tokove resursa u proizvodno-potrošačkom sustavu unutar zatvorene petlje, obraćajući pozornost tijekom cijelog životnog ciklusa sustava na minimiziranje potrošnje prirodnih resursa i energije, postizanje ciljeva nulte količine otpada i ublažavanje povezanih utjecaja na okoliš,

istovremeno pružajući mogućnosti za prepoznavanje najboljih praksi i, na taj način, kretanje prema održivosti.



**Slika 14.** *Princip kružnog gospodarstva*

**Izvor:** [10]

Ekološki dizajn i biorazgradivi proizvodi igraju ključnu ulogu u kružnom gospodarstvu, budući da ono također razmatra pristup „od kolijevke do kolijevke“ kao okvir. Razmatranje svih faza životnog ciklusa tijekom dizajna proizvoda potiče najbolju praksu, kao što je korištenje sekundarnih i recikliranih resursa kao sirovina, razvoj eko-dizajna i korištenje biorazgradivih materijala u proizvodnji te povećanje recikliranja i uporabe energije iz otpada. Međutim, za integraciju proizvoda kao što je bioplastika na tržište, potrebne su potpune tehno-ekonomske procjene i procjene utjecaja na okoliš za industrijske primjene [68]. Dokazi iz inicijativa tijekom pandemije COVID-19 uključivali su proizvodnju dezinficijensa od ostataka proizvoda i izradu platnenih maski za višekratnu upotrebu. Ove su prakse koristile lokalno dostupne resurse za proizvodnju održivih proizvoda i ujedno su podržavale opskrbni lanac bez ovisnosti o uvezenim artiklima, osiguravajući ekonomsku uštedu za potrošače [72].

### 5.5. Implikacije za politiku, protokole i smjernice

Neadekvatnost postojećih politika, protokola i smjernica u infrastrukturi otpada ograničavala je vlasti u poduzimanju hitnih radnji u prikupljanju, klasificiranju, prijevozu i odlaganju otpada, osobito na početku krize [36, 42]. Globalni upravljači otpadom i lokalne vlasti trebali bi kritički pregledati i poboljšati postojeće politike, protokole, smjernice i najbolje prakse prema potrebi kako bi poboljšali učinkovitost infrastrukture za upravljanje otpadom nakon pandemije. Umjesto da se upravljanju u izvanrednim situacijama pristupa na uobičajen način, potrebna je temeljita analiza kratkoročnih, dugoročnih i apsolutno najgorih scenarija pri razvoju politika za poboljšanje otpornosti i učinkovitosti gospodarenja otpadom.

Neki od primjera uključuju ponovno razmatranje međunarodnih smjernica i smjernica za pojedine zemlje o gospodarenju biomedicinskim otpadom, revidiranje mjera pripravnosti za hitne slučajeve u infrastrukturi otpada, dodjeljivanje isplativih i privremenih objekata koji se mogu koristiti za nastavak operacija gospodarenja otpadom, ponovno pregledavanje lokalnog prikupljanja, protokola rukovanja i zaštite sanitarnih radnika, zabrana ručnog razvrstavanja otpada, poboljšanje politika i regulatornih okvira koji su uspostavljeni kako bi se upotreba plastike za jednokratnu upotrebu svela na najmanju moguću mjeru, povećanje financiranja za postojeće inicijative gospodarenja otpadom, pružanje ekonomskih poticaja za smanjivanje stvaranja otpada, širenje javno-privatnog i nacionalno-međunarodnog partnerstva, promicanje proširene odgovornosti proizvođača (EPR) i suradnje u donošenju odluka, uvođenje mjerenja smeća i modela određivanja cijene korištenja za odlaganje otpada, i povećanje javne vidljivosti i svijesti [75].

Uz sve tehno-ekonomske i ekološke dimenzije o kojima se raspravlja, potrebno je uvesti društvenu suradnju i promjene ponašanja kako bi se održale odgovarajuće prakse gospodarenja otpadom. Jedna od ključnih točaka je činjenica da gospodarenje otpadom nije samo odgovornost vlasti ili upravitelja otpadom, već predstavlja zajednički napor: svaki građanin mora biti oprezan i odgovoran za svoje pojedinačne postupke i obrasce potrošnje.



## **6. PREPORUKE MEĐUNARODNE ORGANIZACIJE ZA KRUTI OTPAD (ISWA)**

Tijekom COVID-19 pandemije, Međunarodna organizacija za kruti otpad (ISWA) razmatrala je tri glavna prioriteta za upravljanje otpadom:

1. Države, županije, gradovi i općine trebali su osigurati da upravljanje otpadom, usluge recikliranja, postrojenja za tretman i odlaganje ne budu poremećeni i da se ne stvaraju dodatni rizici za javno zdravlje nepropisnim upravljanjem otpadom. Radnici u upravljanju otpadom, posebno oni u području prikupljanju, trebali su poduzeti dodatne mjere opreza i provoditi postupke zaštite zdravlja i sigurnosti kako bi bili zaštićeni od moguće infekcije otpadnim tokovima i/ili opremom [76].
2. Aktivnosti recikliranja trebale su se ponovno prilagoditi kako bi se izbjegla međusobna kontaminacija i zaraza [76].
3. Povećane količine zdravstvenog i medicinskog otpada trebalo je sigurno obraditi i zbrinuti, pazeći da ne predstavljaju rizik za daljnje infekcije i onečišćenje [76].

### **6.1. Osiguranje kontinuiteta usluga**

Upravljanje otpadom jedna je od najvažnijih sanitarnih barijera za sprječavanje širenja bolesti i infekcija. Važno je napomenuti da kontinuitet usluga upravljanja otpadom nije važan samo za komunalni otpad, već i za opasni industrijski i zdravstveni otpad. Farmaceutska industrija, kemijska industrija, energetski sektor i spaljivanje (komunalni i zdravstveni ostaci, muljevi) proizvode opasan otpad [76]. Kapaciteti za skladištenje opasnog otpada na lokaciji ograničeni su (fizički i zbog rizika od nesreće), stoga je važno osigurati uslugu za njegovo prikupljanje i tretman. Kontinuitet i nastavak funkcionalnosti recikliranja također su važni tijekom i nakon prolaska krize uzrokovane korona virusom, posebno s obzirom na sljedeće: ako kućanstva i poduzeća masovno prestanu odvajati materijale za recikliranje i dostavljati ga odvojeno u kontejnere za razdvajanje, ukupni sustav za obradu otpada bit će opterećen s 30 % do 50% više materijala, a postoji i rizik od kvara sustava [76]. Osim toga, ako bilo koja vlast zaustavi prikupljanje recikliranja tijekom krize, građani će dobiti poruku da to nije važno, a vraćanje trenutnih stopa razdvajanja otpada bit će teško, a možda i nemoguće.

Važno je prepoznati ulogu radnika u upravljanju otpadom i usluga kao ključne komponente, posebno u ovom razdoblju. Prikupljanje otpada ima veliku važnost kako bi se spriječilo njegovo nakupljanje i očuvala čistoća prostora, omogućavajući tako nastavak drugih vitalnih usluga.

Zbog toga je Vlada Ujedinjenog Kraljevstva radnicima koji se bave prikupljanjem otpada dodijelila status „ključnog radnika“, što znači da će i dalje dobivati obrazovanje i skrb za svoju djecu tijekom krize izazvane korona virusom kako bi mogli nastaviti pružati svoje usluge [68]. ISWA predlaže da sve vlade prepoznaju ključnu ulogu radnika u upravljanju otpadom i sektora otpada tijekom ovog razdoblja [76].

Sukladno tome, potrebno je osigurati mjere opreza za zdravlje i sigurnost radnika u upravljanju otpadom, budući da su oni jedna od najvažnijih sanitarnih barijera koje čuvaju gradove i ljude od različitih bolesti, uključujući COVID-19. Trenutna znanstvena istraživanja nisu pružila dokaze da je upravljanje otpadom vektor za prijenos virusa SARS-CoV-2, ali s obzirom na to da se radnici u upravljanju otpadom svakodnevno nalaze na ulicama unatoč izolacijskim i karantenskim mjerama koje se primjenjuju na cijeloj populaciji, trebalo bi razmotriti dodatne mjere kako slijedi [76]:

- Strogo pridržavanje unaprijedjenih higijenskih normi, uključujući često mijenjanje i čišćenje osobne zaštitne opreme (PPE) i profesionalne odjeće, zamjenu profesionalnih rukavica u slučaju oštećenja ili bilo kakvog potencijalnog onečišćenja, redovito dezinficiranje prostora, kabina vozila i ostale opreme [76].
- Prilagodba ponašanja kako bi se izbjegla kontaminacija među radnicima u timovima, kao što je strogo poštovanje udaljenosti između ljudi ( $> 1$  m), ograničavanje broja radnika u istom prostoru na najmanju moguću mjeru i primjena svih mjera opreza koje pomažu u očuvanju zdravlja radnika u sigurnim radnim uvjetima [76].
- Izbjegavanje direktnog kontakta (bez rukavica) s kantama ili vrećama u svakom slučaju [76].
- Svakodnevno mijenjanje ili čišćenje radne odjeće – smanjuje mogućnost širenja virusa [76].
- Ako je moguće, svakodnevno stavljanje jednokratnih rukavica izravno na kožu prije stavljanja uobičajenih radnih rukavica.
- Osiguravanje dostupnosti dezinficijensa i sredstava za dezinfekciju ruku u svakom vozilu.
- Obavezno redovito pranje ruku i pojačano čišćenje u radničkim prostorima.
- Izbjegavanje kontakta vozača i sakupljača sa stanovnicima i zaposlenicima poslovnih objekata koje uslužuju.

- Dezinficiranje vozačke kabine vozila namijenjenih za prikupljanje komunalnog otpada nakon svakog radnog ciklusa, uz posebnu pozornost na tvrde površine koje mogu predstavljati mjesto veće perzistencije virusa. Usisavač treba koristiti tek nakon adekvatne dezinfekcije. Preporuča se uporaba dezinficijensa (s najmanje 75 % alkohola) u spreju.
- Primjenjivanje praksi društvene distance u sjedištima, sobama za sastanke i u svlačionicama.
- Gdje je to primjereno, poticanje specifičnih radnih uvjeta za starije radnike.
- U slučaju nedostatka osoblja koji dovodi do smanjenja usluge, treba smanjiti učestalost prikupljanja suhih reciklažnih materijala kako bi se osigurao kontinuitet i dovoljna učestalost prikupljanja ostatnog otpada i biootpada [76].

Osim toga, svaka općina / lokalna vlast mora razviti planove za hitne situacije koji će osigurati da se osnovne usluge upravljanja otpadom ne prekidaju ni pod kojim uvjetima. Planovi za hitne situacije trebali bi uključivati alternativna rješenja za osoblje, vozila, infektivni otpad, akumulaciju otpada, pranje, dezinfekciju i usluge čišćenja ulica [76].

## **6.2. Prilagodba usluga recikliranja**

Princip iza ovih savjeta leži u činjenici da nije opasno da osobe obrađuju vlastite reciklažne materijale u svojim domovima, jer se mogu kontaminirati samo ako su već izložene riziku. Izvor opasnosti i međusobne kontaminacije nalazi se u interakciji između generatora (pojedince koji svoje reciklažne materijale i otpad odlaže u javni sustav i rukovatelja) i stručnjaka koji nešto radi s reciklažnim materijalima ili ostacima otpada [76]. To uključuje formalne sustave za otpad i recikliranje, ali i neformalne i poluformalne procese od reciklažnog centra u zajednici ili supermarketu (stroja za povrat), do zajednica s niskim prihodima u kojima su mnogi ljudi uključeni u (neformalno) recikliranje, buvljake ili internetsku trgovinu rabljenom robom [76]. Neki od ovih procesa izravno su pod nadzorom vladinih institucija, neki se mogu neizravno rješavati uz njihovu pomoć, dok su neki izvan utjecaja bilo kakve vladine ili regulatorne agencije [76]. U svakom slučaju, prema dostupnim znanstvenim informacijama, kontaminacija patogenima minimalna je nakon 72 sata, čak i na tvrdim površinama [76]. Glavni izvori infekcije u vezi s otpadom i recikliranjem obično se pojavljuju u interakciji između generatora i rukovatelja. Smjernice moraju jasno naglasiti da je njihov primarni cilj rješavanje procesa u trenutku kada materijali ulaze u nadležnost stručnjaka, jer su to područja koja su najjasnije pod nadležnošću lokalnih vlasti i država članica [76].

Zbog toga se ova preporuka usredotočuje na:

- podupiranje država, županija, gradova i općina da upute svoje radnike u gospodarenje otpadom, da budu jasni u identificiranju sučelja i mijenjanju svojih postupaka kako bi zaštitili stručnjake;
- pružanje smjernica o hitno potrebnim i preporučenim promjenama na sučelju kako bi se zaštitili stručnjaci i
- pružanje smjernica o tome kako očuvati dugoročnu i zakonsku predanost prevenciji otpada, recikliranju i cirkularnoj ekonomiji u kontekstu hitne potrebe za promjenom i razjašnjenjem postupaka na sučelju [76].

Sekundarna preporuka koju bi gradovi trebali dati svojim građanima i tvrtkama je:

- kako promijeniti ono što se događa u kućanstvima ili u privatnom sektoru kako bi se očuvalo ponašanje recikliranja, ali i
- istovremeno smanjili rizici za stručnjake na sučelju [76].

Preporuka gradovima, regijama i privatnim tvrtkama za prikupljanje ostataka otpada koje generiraju kućanstva ili tvrtke s osobama zaraženima bolešću COVID-19 ili osobama u obveznoj karanteni:

- Zasebno prikupljanje otpada iz kućanstava s osobama zaraženima bolešću COVID-19 ili osobama u obveznoj karanteni može se održavati samo ako nadležne vlasti za upravljanje otpadom mogu osigurati da se zasebno prikupljeni dijelovi prikupljaju tek nakon što su bili pohranjeni najmanje 72 sata [76].
- Ovisno o njihovom sustavu upravljanja otpadom, države i gradovi mogu tražiti od kućanstava da sav svoj otpad dostave kao dio miješanog otpada, privremeno suspendirajući obvezu zasebnog prikupljanja iz tih kućanstava, osim kada su u pitanju električna i elektronička oprema, baterije i opasan kućanski otpad [76].
- Osobni otpad osoba koje su pozitivne na COVID-19 ili su u obveznoj karanteni može se sigurno prikupljati i obraditi zajedno s ostalim miješanim otpadom pod uvjetom da ne zahtijeva dodatnu ručnu obradu prije konačnog tretmana ili da ga se može sigurno pohraniti na dovoljno dugo prije takve obrade [76].
- Ovisno o načinu prikupljanja i obrade miješanog otpada, moguća je potreba za time da se osobni otpad osoba pozitivnih na COVID-19 ili osoba u obveznoj karanteni čuva odvojeno, sve do trenutka kada će biti spaljen ili sigurno odložen na kontroliranim

odlagalištima. Ako osoba u izolaciji/karanteni nije u mogućnosti dostaviti otpad službi za prikupljanje, trebala bi se uspostaviti posebna usluga sa specijaliziranim osobljem [76].

### **6.3. Osiguranje sigurnog prikupljanja, odlaganja i obrade medicinskog otpada**

Sve države, županije, gradovi i općine trebaju osigurati sigurno prikupljanje, tretiranje i zbrinjavanje medicinskog otpada te poduzeti dodatne posebne mjere u slučaju da povećane količine ne odgovaraju lokalnom kapacitetu [76].

Svi koji dolaze u kontakt s medicinskim otpadom tijekom COVID-19 pandemije trebaju razumjeti da je često i temeljito pranje ruku sapunom i vodom, koje traje više od 20 sekundi, učinkovitije od korištenja rukavica ili alkoholnog gela [76].

Tijekom pandemije, većina bolnica često sav svoj otpad tretira kao opasan otpad. To može opteretiti kapacitet za medicinski otpad bolnice i stvoriti hitan slučaj povezan s naglim povećanjem potrebnog kapaciteta za pravilno prikupljanje, odlaganje i obradu. To je neželjena nuspojava prekomjerne reakcije na korona virus: infektivni klinički otpad nije prijenosnik ovog patogena, već ljudi koji kašlju i dodiruju svoje lice nakon što dodiruju zajedničke tvrde površine. Dakle, pranje ruku i nastavak odvajanja infektivnog otpada od neinfektivnog štite pacijente, zdravstvene radnike i sustav za upravljanje otpadom. Ako se otpad premješta izvan mjesta na kojem je generiran, ključno je znati gdje će se i kako tretirati i uništiti, što zahtijeva sustav praćenja radi evidentiranja i osiguranja da će biti pravilno zbrinut. Svi koji se bave medicinskim otpadom trebali bi koristiti odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu i pridržavati se higijenskih mjera prilikom skidanja te opreme. Mnoge zemlje u razvoju nažalost još uvijek nemaju infrastrukturu za tretiranje medicinskog i drugog infektivnog i opasnog otpada. U tim slučajevima, kao iznimna mjera, otpad koji se proizvodi u zdravstvenim ustanovama tijekom pandemije COVID-19 trebao bi se poslati na odlagališta koja su sanitarno ili tehnički izgrađena, na odvojenom području izoliranom od redovnog otpada. Glavna je svrha takve mjere osigurati da se medicinski otpad ne izlaže niti miješa s neinfektivnim otpadom. Ako se medicinski otpad donese na odlagalište, radnike bi trebalo obavijestiti i poduzeti posebne mjere opreza poput nošenja maski i rukavica. U svakom slučaju, radnici bi trebali održavati udaljenost i izbjegavati izravan kontakt s otpadom. Na kraju, važno je napomenuti da su sanitarna odlagališta neizostavni dio svakog sustava upravljanja otpadom, i tijekom pandemija, u nedostatku termičkog tretmana, ta je infrastruktura prikladno krajnje odredište za medicinski otpad, ali moraju biti primijenjeni određeni postupci. Važno je, također, napomenuti da čak i ako je

dostupan pravi tretman za infektivni otpad, tijekom pandemija, količina medicinskog otpada koji se generira obično je puno veća nego inače, pa sanitarna odlagališta mogu pružiti alternativni način sigurnog odlaganja [76].



**Slika 15.** *Medicinski otpad za vrijeme COVID-19 pandemije*

**Izvor:** [77]

## 7. ZAKLJUČAK

Zbrinjavanje otpada ima ogroman utjecaj na okoliš i može uzrokovati ozbiljne probleme. Nije potrebno naglašavati da je najvažniji cilj pravilnog gospodarenja otpadom zaštita okoliša te zdravlje i sigurnost stanovništva. To je vrlo važna tema kojom se treba pozabaviti i svi bi trebali biti svjesni zašto odvajanje otpada može činiti razliku između opstanka Zemlje i pogoršanja učinaka u prirodnom biološkom sustavu. Gospodarenje otpadom i recikliranje dvije su ključne prakse neophodne za održavanje okoliša. Gospodarenje otpadom odnosi se na proces prikupljanja, transporta, obrade i zbrinjavanja otpadnih materijala. Ono obuhvaća razne aktivnosti smanjenja, ponovne uporabe i recikliranja otpadnih materijala te uključuje pravilno postupanje s otpadom od točke nastanka do konačnog odlaganja. Recikliranje se odnosi na pretvaranje otpada u korisne materijale ili proizvode. To pomaže smanjiti količinu otpada koji završava na odlagalištima i potrebu za novim sirovinama. Zajedno, gospodarenje otpadom i recikliranje igraju značajnu ulogu u smanjenju negativnog utjecaja ljudskih aktivnosti na okoliš.

Pandemija COVID-19 značajno je utjecala na infrastrukturu otpada jer je promijenila dinamiku stvaranja otpada izvan mogućnosti postojećih sustava gospodarenja njime. Infektivni medicinski otpad koji nastaje u zdravstvenim ustanovama diljem svijeta znatno se povećao, uglavnom zbog obvezne upotrebe zaštitne opreme tijekom pandemije COVID-19. Prema pregledu koji je proveden u radu, tokovi stambenog otpada pokazali su rastući trend, što je donekle uravnoteženo smanjenjem drugih tokova otpada, kao što je tok otpada institucionalnog sektora. Iako je jasno da se priroda i učinci pandemije COVID-19 razlikuju od onih bilo koje druge nedavne krize, sada je vrijeme da reagiramo, uzimajući sva saznanja u obzir, kao priliku za prepoznavanje neadekvatnosti infrastrukture za gospodarenje otpadom i poduzimanje potrebne mjere. U ovom je radu predloženo pet ključnih dugoročnih prilika za razvoj održivih i otpornih sustava gospodarenja otpadom: upravljanje medicinskim otpadom na odgovarajući način, smatrajući ga kritičnim područjem fokusa, poticanje integracije i decentralizacije objekata za gospodarenje otpadom, razvoj sustavnih i novih pristupa i alata za kvantifikaciju otpada, prelazak na pristup kružnog gospodarstva, i moderniziranje politika za poboljšanje učinkovitosti infrastrukture za gospodarenje otpadom nakon pandemije. Ovi bi rezultati bili korisni u dugoročnom planiranju, dizajniranju i provedbi integriranih strategija gospodarenja otpadom, krećući se prema urbanoj održivosti i otpornosti. Međutim, razvoj takvog integrativnog sustava gospodarenja otpadom vrlo je izazovan i zahtijeva multidisciplinarno znanje i stručnost, politike, financiranje, društveno prihvaćanje i promjene ponašanja.

Dok se suočavamo s izazovima koje pandemija i drugi globalni događaji stavljaju pred nas, neka naša posvećenost zaštiti okoliša i budućih generacija bude snažna vodilja u stvaranju svjetlije i održivije budućnosti.



## LITERATURA

- [1] Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, Urban Development. World Bank Group; Washington, DC, USA: 2018.
- [2] Tsukiji M., Gamaralalage P.J.D., Pratomo I.S.Y., Onogawa K., Alverson K., Honda S., Ternald D., Dilley M., Fujioka J., Condrorini D. Waste Management during the COVID-19 Pandemic: From Response to Recovery. United Nations Environment Programme; Nairobi, Kenya: 2020.
- [3] World Health Organization (2020). WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>
- [4] Sarkodie S.A., Owusu P.A. Impact of COVID-19 pandemic on waste management. Environ. Dev. Sustain. 2021;23:7951–7960.
- [5] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU). (2023)., [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje-otpadom/1345>
- [6] Rogue Disposal & Recycling. (2023). Exploring the Three Rs of Waste Management: Reduce, Reuse, Recycle., [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://rogedisposal.com/resources/education/recycling/exploring-the-three-rs-of-waste-management-reduce-reuse-recycle>
- [7] Volim Viroviticu (2023.), Hijerarhija otpada, [(pristup 17. rujna 2023.)], Dostupno na: <https://www.volimviroviticu.hr/hijerarhija-otpada/>
- [8] Environmental Protection Agency. (2023). Basic Information About Landfills., [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.epa.gov/landfills/basic-information-about-landfills>
- [9] Letcher, T.M. "Waste: A Handbook for Management." Academic Press, 2011.
- [10] Regionalni centar čistog okoliša – Galerija, 2023.
- [11] World Health Organization. (2023). COVID-19 Situation in Europe., [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na; <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>
- [12] Hrvatski zavod za javno zdravstvo – Galerija, 2023.

- [13] Aquakori - Katalog proizvoda, 2023.
- [14] European Environment Agency. "Guidance for Waste Management and Resource Efficiency during the COVID-19 pandemic." 2020.
- [15] Poliklinika labplus - Antigen test COVID-19 / SARS-CoV-2 (brzi bris)
- [16] Hantoko D., Li X., Pariatamby A., Yoshikawa K., Horttanainen M., Yan M. Challenges and practices on waste management and disposal during COVID-19 pandemic. *J. Environ. Manag.* 2021;286:112140.
- [17] Mondal R., Mishra S., Pillai J.S.K., Sahoo M.C. COVID 19 Pandemic and biomedical waste management practices in healthcare system. *J. Fam. Med. Prim. Care.* 2022;11:439–446.
- [18] World Health Organization (WHO) Shortage of Personal Protective Equipment Endangering Health Workers Worldwide. 2020. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.who.int/news/item/03-03-2020-shortage-of-personal-protective-equipment-endangering-health-workers-worldwide>
- [19] Prata J.C., Silva A.L., Walker T.R., Duarte A.C., Rocha-Santos T. COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics. *Environ. Sci. Technol.* 2020;54:7760–7765.
- [20] Singh N., Tang Y., Zhang Z., Zheng C. COVID-19 waste management: Effective and successful measures in Wuhan, China. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020;163:105071.
- [21] Asian Development Bank (ADB) Managing Infectious Medical Waste during the COVID-19 Pandemic. 2020. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/578771/managing-medical-waste-covid19.pdf>
- [22] Beijing review, Wuhan successfully handles disposal of mounting medical waste during the epidemic
- [23] Abu-Qdais H.A., Al-Ghazo M.A., Al-Ghazo E.M. Statistical analysis and characteristics of hospital medical waste under novel Coronavirus outbreak. *Glob. J. Environ. Sci. Manag.* 2020;6:21–30.
- [24] Agamuthu P., Barasarathi J. Clinical waste management under COVID-19 Scenario in Malaysia. *Waste Manag. Res.* 2021;39:18–26.

- [25] Ramteke S., Sahu B.L. Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: Considerations for the biomedical waste sector in India. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 2020;2:100029.
- [26] Chowdhury T., Chowdhury H., Rahman M.S., Hossain N., Ahmed A., Sait A.S.M. Estimation of the healthcare waste generation during COVID-19 pandemic in Bangladesh. *Sci. Total Environ.* 2022;811:152295.
- [27] Zand A.D., Heir A.V. Emerging challenges in urban waste management in Tehran, Iran during the COVID-19 pandemic. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020;162:105051.
- [28] Roy P., Amar K., Mohanty A.K., Wagner A., Sharif S., Khalil H., Misra M. Impacts of COVID-19 Outbreak on the Municipal Solid Waste Management: Now and beyond the Pandemic. *ACS Environ. Au.* 2021;1:32–45.
- [29] EREF & NWRA Staff. "Weathering the Essential: A Look Inside the COVID-19 Impact on the Waste and Recycling Industry." *Waste360*, [(pristup 13. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.waste360.com/business/weathering-essential-look-inside-covid-19-impact-waste-and-recycling-industry>
- [30] Filho W.L., Voronova V., Kloga M., Paço A., Minhas A., Salvia A.L., Ferreira C.D., Sivapalan S. COVID-19 and waste production in households: A trend analysis. *Sci. Total Environ.* 2021;777:145997.
- [31] Kovačić T. (2023): Privatna arhiva fotografija
- [32] Balkan Green Energy News. (2020). Croatia's 2020 Report on Municipal Waste: Good Results, Still Long Way Ahead to Reach Targets. *Balkan Green Energy News*, [(pristup 13. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://balkangreenenergynews.com/croatias-2020-report-on-municipal-waste-good-results-still-long-way-ahead-to-reach-targets/>
- [33] "Odluka o donošenju Izmjena Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine", *Narodne Novine*, [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022\\_01\\_1\\_1.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_01_1_1.html)
- [34] Matijaš A., Firić M., Donadić D., Plenković I., Obad A., Podrug M. "Composition and quantity of medical waste and its impact on the environment before and during the covid-19 pandemic", *Hrvat. čas. zdr. znan.* 2023; 3: 62-66 [(pristup 13. rujna 2023.)]. Dostupno na: <http://hczz.ozs.unist.hr/index.php/hczz/article/view/88/62>

- [35] Puntarić E., Požgaj Đ., Korica Ž., Gumhalter Malić L., Kušević – Vukšić M., Bulat V., Kufirin., "Izvešće o komunalnom otpadu za 2021. godinu", Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, srpanj 2022.
- [36] Sharma H.B., Vanapalli K.R., Cheela V.R.S., Ranjan V.P., Jaglan A.K., Dubey B., Goel S., Bhattacharya J. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020;162:105052.
- [37] Singh H., Rehman R., Bumb S. Management of Biomedical Waste: A Review. *Med. Political Sci.* 2014;1:14–20.
- [38] Annapoorani S. COVID-19: Sustainable Waste Management and Air Emission. Springer; Singapore: 2021. Sustainable Management of Biomedical Waste During COVID-19 Pandemic; pp. 159–195. *Medicine, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes.*
- [39] World Health Organization (WHO) Tonnes of COVID-19 Health Care Waste Expose Urgent Need to Improve Waste Management Systems. 2022. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.who.int/news/item/01-02-2022-tonnes-of-covid-19-health-care-waste-expose-urgent-need-to-improve-waste-management-systems>
- [40] Haque S., Uddin S., Sayem S.M., Mohib K.M. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) induced waste scenario: A short overview. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021;9:104660.
- [41] Windfeld E.S., Brooks M.S. Medical waste management: A review. *J. Environ. Manag.* 2015;163:98–108.
- [42] Ragazzi M., Rada E.C., Schiavon M. Municipal solid waste management during the SARS-CoV-2 outbreak and lockdown ease: Lessons from Italy. *Sci. Total Environ.* 2020;745:141159.
- [43] UNEP COVID-19 Waste Management Factsheets, United Nations Environment Program. 2020. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.unep.org/resources/factsheet/covid-19-waste-management-factsheets>
- [44] World Health Organization (WHO) Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic, Technical Guidance. 2020. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>

- [45] ECDC Infection Prevention and Control in the Household Management of People with Suspected or Confirmed Coronavirus Disease (COVID-19). European Centre for Disease Prevention and Control. 2020. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/infection-prevention-control-household-management-covid-19>
- [46] EU Waste Management in the Context of the Coronavirus Crisis. The European Union. 2020. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/coronavirus-response\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/coronavirus-response_en)
- [47] World Health Organization (WHO) Health-Care Waste. 2018. [(pristup 12. rujna 2023.)]. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
- [48] Klemeš J.J., Van Fan Y., Tan R.R., Jiang P. Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2020;127:109883.
- [49] CIC – Katalog, 2023.
- [50] Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. Irwin McGraw Hill; New York, NY, USA: 1993.
- [51] Beraud H., Barroca B., Hubert G. Functional analysis, a resilience improvement tool applied to a waste management system—Application to the ‘household waste management chain’ *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2012;12:3671–3682.
- [52] Carhart N.J., Rosenberg G. A Framework for Characterising Infrastructure Interdependencies. *Int. J. Complex. Appl. Sci. Technol.* 2016;1:35–60.
- [53] Derrible S. *Urban Engineering for Sustainability*. MIT press; Cambridge, MA, USA: 2019. Chapter 10: Urban Metabolism and Infrastructure Integration; pp. 461–521.
- [54] Saidi S., Kattan L., Jayasinghe P.A., Hettiaratchi J.P.A., Taron J. Integrated infrastructure systems—A review. *Sustain. Cities Soc.* 2018;36:1–11.
- [55] Abu Samra S., Ahmed M., Hammad A., Zayed T. Multi-objective framework for managing municipal integrated infrastructure. *J. Constr. Eng. Manag.* 2018;144:04017091.

- [56] Araya F., Vasquez S. Challenges, drivers, and benefits to integrated infrastructure management of water, wastewater, stormwater and transportation systems. *Sustain. Cities Soc.* 2022;82:103913.
- [57] Naughton C.C. Perspective: Will the COVID-19 pandemic change waste generation and composition? The need for more real-time waste management data and systems thinking. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020;162:05050.
- [58] Ilva A.L.P., Prata J.C., Walker T.R., Duarte A.C., Ouyang W., Barcelò D., Rocha-Santos T. Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. *Chem. Eng. J.* 2020;405:126683.
- [59] Kannangara M., Dua R., Ahmadi L., Bensebaa F. Modeling and prediction of regional municipal solid waste generation and diversion in Canada using machine learning approaches. *Waste Manag.* 2018;74:3–15.
- [60] Kannangara M., Dua R., Ahmadi L., Bensebaa F. Modeling and prediction of regional municipal solid waste generation and diversion in Canada using machine learning approaches. *Waste Manag.* 2018;74:3–15.
- [61] Wu F., Niu D., Dai S., Wu B. New insights into regional differences of the predictions of municipal solid waste generation rates using artificial neural networks. *Waste Manag.* 2020;107:182–190.
- [62] Nguyen X.C., Nguyen T.T.H., La D.D., Kumar G., Rene E.R., Nguyen D.D., Chang S.W., Chung W.J., Nguyen X.H., Nguyen V.K. Development of machine learning—Based models to forecast solid waste generation in residential areas: A case study from Vietnam. *Resour. Conserv. Recycl.* 2021;167:105381.
- [63] Vu H.L., Ng K.T.W., Richter A., Karimi N., Kabir G. Modeling of municipal waste disposal rates during COVID-19 using separated waste fraction models. *Sci. Total Environ.* 2021;789:148024.
- [64] Ihsanullah I., Alam G., Jamal A., Shaik F. Recent advances in applications of artificial intelligence in solid waste management: A review. *Chemosphere.* 2022;309:136631.
- [65] Szczepanski M. Autonomous Vehicles: The Next Big Trend in the Waste, Recycling Industry? 2019. [(pristup 12. rujna 2023.)]. *Waste 360 Technology Report*. Dostupno na:

<https://www.waste360.com/fleets-technology/autonomous-vehicles-next-big-trend-waste-recycling-industry>

[66] Sepetis A., Zaza P.N., Rizos F., Bagos P.G. Identifying and Predicting Healthcare Waste Management Costs for an Optimal Sustainable Management System: Evidence from the Greek Public Sector. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19:9821.

[67] Ali M., de Azevedo A.R.G., Marvila M.T., Khan M.I., Memon A.M., Masood F., Almahbashi N.M.Y., Shad M.K., Khan M.A., Fediuk R., et al. The Influence of COVID-19-Induced Daily Activities on Health Parameters—A Case Study in Malaysia. *Sustainability*. 2021;13:7465.

[68] Yuan X., Wang X., Sarkar B., Ok Y.S. The COVID-19 pandemic necessitates a shift to a plastic circular economy. *Nat. Rev. Earth Environ*. 2021;2:659–660.

[69] Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P., Hultink E.J. The Circular Economy-A new sustainability paradigm? *J. Clean. Prod*. 2016;143:757–768.

[70] Camacho-Otero J., Boks C., Pettersen I.N. Consumption in the circular economy: A literature review. *Sustainability*. 2018;10:2758.

[71] Van Fan Y., Lee C.T., Lim J.S., Klemeš J.J., Le P.T.K. Cross-disciplinary approaches towards smart, resilient and sustainable circular economy. *J. Clean. Prod*. 2019;232:1482–1491.

[72] Wuyts W., Marin J., Brusselsaers J., Vrancken C. Circular economy as a COVID-19 cure? *Resour. Conserv. Recycl*. 2020;162:105016.

[73] Hahladakis J.N., Iacovidou E., Gerassimidou S. Chapter 19—Plastic waste in a circular economy. In: Trevor M.L., editor. *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press; Cambridge, MA, USA: 2020. pp. 481–512.

[74] Ranjbari M., Saidani M., Esfandabadi Z.S., Peng W., Lam S.S., Aghbashlo M., Quatraro F., Tabatabaei M. Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses. *J. Clean. Prod*. 2021;314:128009.

[75] Jameton A., McGuire C. Toward sustainable health-care services: Principles, challenges, and a process. *Int. J. Sustain. High. Educ*. 2002;3:113–127.

[76] International Solid Waste Association (2020.) *Waste Management During COVID-19* [PDF], Humanitarian Library. , [(pristup 17. rujna 2023.)]. Dostupno na:

[https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2020/07/ISWA\\_Waste\\_Management\\_During\\_COVID-19.pdf](https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2020/07/ISWA_Waste_Management_During_COVID-19.pdf)

[77] South Pacific Regional Environment Programme (SPREP). (2020). Waste Management and Pollution Control., [(pristup 17. rujna 2023.)], Dostupno na: <https://www.sprep.org/news/effective-management-of-medical-waste-essential-during-pandemic>



**POPIS SLIKA**

<b>Slika 1.</b> Hijerarhija otpada .....	10
<b>Slika 2.</b> Divlje odlagalište otpada .....	11
<b>Slika 3.</b> Virus SARS-CoV-2 .....	12
<b>Slika 4.</b> Dezinficijensi za ruke i površine .....	13
<b>Slika 5.</b> Antigen test na COVID-19 .....	13
<b>Slika 6.</b> Postojeći objekt za obradu industrijskog opasnog otpada prenamijenjen za obradu medicinskog otpada u Wuhanu .....	17
<b>Slika 7.</b> Trendovi i prakse upravljanja krutim otpadom tijekom COVID-19 pandemije .....	19
<b>Slika 8.</b> Broj reciklažnih dvorišta po županijama u 2020. ....	20
<b>Slika 9.</b> Količine nastalog medicinskog otpada u razdoblju od 2015. do 2020. ....	21
<b>Slika 10.</b> Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH, 2015. – 2021. ....	22
<b>Slika 11.</b> Utjecaji pandemije COVID-19 na gospodarenje otpadom .....	23
<b>Slika 12.</b> Peć prilagođena za spaljivanje medicinskog otpada .....	25
<b>Slika 13.</b> Shema sustava gospodarenja komunalnim otpadom .....	27
<b>Slika 14.</b> Princip kružnog gospodarstva .....	30
<b>Slika 15.</b> Medicinski otpad za vrijeme COVID-19 pandemije .....	37

**POPIS TABLICA**

<b>Tablica 1.</b> Dinamika stvaranja otpada tijekom COVID-19 pandemije .....	15
--	----