

UDK: 614.84:628.472.3(045)=163.41

DOI: 10.5937/bakar2402009N

NAUČNI RAD

Oblast: Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu

Primljen: 16.09.2024.

Prerađen: 14.10.2024.

Prihvaćen: 25.10.2024.

DIJAGNOSTIKA, SANACIJA I GAŠENJE POŽARA
NESANITARNIH DEPONIJA

DIAGNOSTICS, MITIGATION, AND EXTINGUISHMENT OF
FIRES AT NON-SANITARY LANDFILLS

Emil Novak¹, Dimitrije Stevanović², Milorad Mandić², Strahinja Sarajlić²

¹Nik Com doo Nikšić, Crna Gora

²Tekon-tehnokonsalting doo Beograd, Srbija

¹E-mail: emil.novak.ciko@gmail.com

Izvod

Svest o očuvanju životne sredine postala je imperativ današnjeg društva, što je pitanje upravljanja otpadom i zagađenja učinilo ključnim za svaku lokalnu samoupravu. Požari na deponijama i otvorenom prostoru uzrokuju ozbiljnu kontaminaciju vazduha, a u zavisnosti od pravca vetra i veličine požara, mogu značajno uticati na kvalitet vazduha čak i na udaljenosti od nekoliko desetina kilometara od izvora.

Poseban problem predstavljaju požari na nesanitarnim deponijama, često smeštenim blizu naselja, gde se nalaze velike količine nepropisno odloženog otpada, bez sistema zaštite i kontrole. Ovi požari često nastaju zbog nepotpunog sagorevanja otpada, koje je rezultat nedostatka kompaktiranja i nedovoljne dnevne prekrivke, što omogućava oksigenaciju površinskih slojeva i stvaranje uslova za anaerobnu metanogenezu u dubljim slojevima.

Metan, kao zapaljiv i eksplozivan gas sa efektom staklene bašte, doprinosi oštećenju ozonskog omotača 21 put više od ugljen-dioksida. Postavljanje gasnih bunara (biotrnova) na nesanitarnim deponijama ključno je za sprečavanje požara, smanjenje rizika od formiranja metanskih džepova i omogućavanje praćenja stanja deponije.

Ovaj rad iznosi zaključke projekta sanacije i gašenja požara na nesanitarnoj deponiji Mislov do, Nikšić, zapremine 450.000 m³, gde se sprovode mere usmerene ka postizanju merljivih i održivih rezultata, s ciljem poboljšanja postojećeg stanja i unapređenja zaštite životne sredine.

Ključne reči: upravljanje otpadom, požari na deponijama, nesanitarnе deponije, metan, sanacija deponija, emisije gasova

Abstract

Awareness of environmental conservation has become a critical imperative in today's society, making waste management and pollution control central concerns for every local government. Fires on landfills and open spaces cause severe air contamination, and depending on wind direction and fire size, they can significantly affect air quality even at distances of several tens of kilometers from the source.

A particular issue arises from fires on unsanitary landfills, often located near residential areas, where large amounts of improperly disposed waste accumulate without protective and control systems. These fires frequently result from incomplete combustion of waste, due to a lack of compaction and

inadequate daily cover, which allows for surface oxygenation and conditions for anaerobic methanogenesis in deeper layers.

Methane, a flammable and explosive greenhouse gas, contributes to ozone layer damage 21 times more than carbon dioxide. Installing gas wells (biotubes) on unsanitary landfills is crucial for preventing fires, reducing the risk of methane pocket formation, and enabling landfill monitoring.

This paper presents conclusions from the remediation and fire extinguishing project at the unsanitary landfill Mislov do in Nikšić, with a capacity of 450,000 m³, where measures are being implemented to achieve measurable and sustainable results aimed at improving the existing conditions and enhancing environmental protection.

Keywords: waste management, landfill fires, unsanitary landfills, methane, landfill remediation, gas emissions

1. UVOD

Nepravilno odlaganje otpada na nesanitarnim deponijama predstavlja značajan ekološki problem sa dugoročnim negativnim posledicama po životnu sredinu i zdravlje ljudi. Nesanitarnim deponijama često nedostaju odgovarajuće mere kontrole i upravljanja otpadom, što može dovesti do emisije toksičnih gasova, kontaminacije podzemnih voda, širenja zaraznih bolesti i povećanog rizika od požara. U većini opština Zapadnog Balkana, ovo pitanje još uvek nije adekvatno rešeno zbog velikog broja nesanitarnih deponija. Projekti sanacije deponija i gašenja požara na takvim mestima su ključni za smanjenje njihovog negativnog uticaja. Ovaj rad se fokusira na ciljeve, metode, rezultate i zaključke jednog takvog projekta, kao i na analizu koristi za životnu sredinu i druge aspekte.

Deponija Mislov do, udaljena oko šest kilometara od Nikšića, predstavlja klasičan primer nesantarne deponije. Odlaganje komunalnog i drugog otpada (uključujući životinjski, industrijski opasan i neopasan otpad) na ovoj deponiji počelo je 2003. godine na površini od oko 2 hektara. Iako je deponija bila uspostavljena kao privremena, sa planiranim zatvaranjem nakon pet godina, ona je nastavila da raste, formirajući veštačko brdo otpada. Procenjuje se da se godišnje na deponiju odlagalo između 20.000 i 28.000 tona različitih vrsta otpada koji nije razvrstavan ni po jednom kriterijumu.

Deponija se suočavala sa brojnim problemima, uključujući česte požare, emisiju štetnih gasova, kontaminaciju zemljišta i podzemnih voda. Prethodna praksa praćenja štetnog uticaja ukazuje na najmanje 14 štetnih supstanci koje mogu imati negativan uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu, uključujući arsen, olovo, kadmijum, hrom, bakar, nikl, živu, cink, polihlorovane bifenile, benzen, trihloretilen i druge [1].

2. PROBLEM NESANITARNIH DEPONIJAMA I UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

Nesantarne deponije predstavljaju ozbiljan problem zbog nekontrolisanog odlaganja otpada, često bez poštovanja osnovnih ekoloških i zdravstvenih standarda. Ove deponije sadrže velike količine otpada nepoznatog porekla i

sastava, što otežava njihov nadzor i sanaciju. Odsustvo propisnih procedura za upravljanje otpadom, poput kompaktiranja i dnevnog prekrivanja, omogućava pristup kiseoniku u površinskim slojevima otpada, dok dublji slojevi, bogati organskim materijalom, prolaze kroz anaerobne procese koji stvaraju metan. Ovaj gas predstavlja značajan rizik, jer je veoma zapaljiv, a njegovo prisustvo u kombinaciji sa visokim temperaturama, naročito tokom leta i zime, stvara uslove za izbijanje požara [1,2].

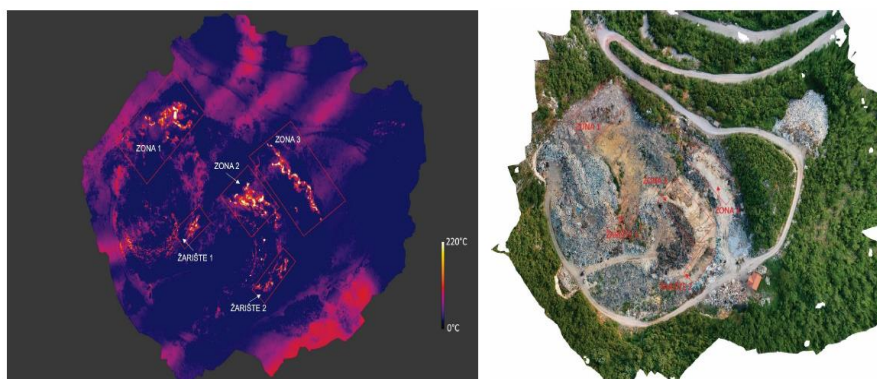
Uticao požara na deponijama je višestruk. Pored neposredne opasnosti od vatre, požari oslobađaju veliku količinu toksičnih gasova i čestica, poput ugljenmonoksida, dioksina, furana i prašine, koji mogu biti nošeni vetrom na velike udaljenosti, kontaminirajući velike oblasti. Zagađenje vazduha može imati trenutni i dalekosežan efekat na zdravlje ljudi, izazivajući respiratorne probleme, alergije i ozbiljne bolesti. Požari, kao što su oni na deponiji Mislov do, ukazuju na potrebu za boljim planiranjem i upravljanjem deponijama, kako bi se smanjio rizik od izbijanja i širenja požara.

Nesantitarne deponije takođe predstavljaju značajan rizik za lokalnu životnu sredinu. Zbog neadekvatnog odlaganja otpada, deponije postaju legla za životinje i insekte koji mogu preneti zarazne bolesti na ljude i domaće životinje. Procedne vode s deponija često sadrže visoke koncentracije zagađivača, uključujući teške metale i pesticide, koji zagađuju površinske i podzemne vode, negativno utičući na lokalne ekosisteme i poljoprivredu.

3. PROCES DIJAGNOSTIKE POŽARA NA NESANITARNIM DEPONIJAMA

Dijagnostika požara na nesantitarnim deponijama predstavlja složen proces koji uključuje nekoliko ključnih elemenata. Prvo, koristi se termalno snimanje uz pomoć termalnih kamera koje otkrivaju područja s povišenom temperaturom unutar deponije, što može ukazivati na potencijalne zone požara ili samozapaljenja. Sledeći korak podrazumeva gasnu analizu, pri čemu se mere koncentracije gasova kao što su metan i ugljen-dioksid, kako bi se identifikovale kritične tačke gde bi moglo doći do nakupljanja zapaljivih gasova [3,4].

Monitoring vlažnosti i temperature je takođe važan, jer prati ove parametre na površini i unutar deponije, čime se procenjuje rizik od spontanog požara. Osim toga, redovni vizuelni pregledi omogućavaju prepoznavanje vidljivih znakova dima, sagorevanja ili oštećenja infrastrukture. Sve ove aktivnosti su usmerene na pravovremeno otkrivanje i sprečavanje požara, čime se smanjuje potencijal za štetu i u oblasti zaštite životne sredine i za zdravlje ljudi.



SI. 1. Termalni i ortofoto snimak deponije Mislov do

Na slici 1, uporedo su prikazan termalni snimak i ortofoto snimak deponije Mislov do okvirne površine od oko 2,5 ha. Slike prikazuju stanje iste deponije u infracrvenom spektru i vizuelnom spektru. Na termalnom snimku, koji je nacinjen etaloniranom i kalibrisanom termalnom kamerom izazduha sa visine od 40m, uočava se stanje toplijih i hladniji zona deponije. Toplije zone predstavljaju delove deponije koji su pod direktnim udarom podzemnih pozara, koji se manifestuju povišenom temperaturom na površini tela deponije. Kamera je preciznosti $0,1^{\circ}\text{C}$, te uočava i neznatne razlike u temperaturi u okviru iste zone. Na snimku se vidi jasna razlika od vise od preko 200°C u odnosu na ostatak tela deponije koji je u redovnom stanju (tamnija zona). Skala temperature data je na dijagramu, gde je najtamnija tačka deponije data, predstavljena kao najhladnija tačka na telu deponije, a najsvetlija tačka termalnog snimka predstavlja mesto najviše temperature na telu deponije.

4. METODE SANACIJE

Sanacija nesanitarnih deponija predstavlja složen proces koji obuhvata niz tehničkih i ekoloških mera. To uključuje postavljanje gasnih bunara i biotnova kako bi se omogućilo praćenje deponijskog gasa i uspostavljanje termodinamičke ravnoteže unutar deponije [1,2]. Kontrola metana je ključna, jer je ovaj gas jedan od najopasnijih zagađivača sa visokim potencijalom za stvaranje efekta staklene bašte, čak 21 put većim od ugljen-dioksida. Prikupljanje i prerada metana u energiju može smanjiti njegov uticaj na atmosferu i doneti ekonomske koristi.

Osim tehničkih intervencija, sanacioni projekti uključuju i mere za stabilizaciju deponija, poput zbijanja otpada i prekrivanja inertnim materijalima. Ove mere smanjuju rizik od klizišta i urušavanja, kao i daljeg širenja kontaminacije. Rekultivacija zemljišta, koja obuhvata ozelenjavanje i obnavljanje lokalne flore i faune, doprinosi poboljšanju ekosistema i vraćanju estetske vrednosti područja.

Glavni ciljevi projekta sanacije nesani tarne deponije i gašenja požara su smanjenje rizika od požara i emisije štetnih gasova. To podrazumeva gašenje postojećih požara i smanjenje rizika od budućih požara kroz kontrolu zapaljivih materijala. Kontrola emisija zagađujućih materija ima za cilj sprečavanje ispuštanja gasova poput metana i ugljen-dioksida, koji doprinose efektu staklene bašte. Očuvanje i obnova životne sredine odnose se na smanjenje uticaja na lokalne ekosisteme kroz smanjenje kontaminacije zemljišta, vode i vazduha. Istovremeno, zaštita zdravlja ljudi postignuta je smanjenjem rizika od bolesti izazvanih zagađenim otpadom i otrovnim gasovima. Unapređenje metoda upravljanja otpadom, implementacijom održivih praksi sanacije i reciklaže, predstavlja dugoročan cilj ovog projekta.

Upotreba termovizijskih kamera omogućila je preciznu identifikaciju područja sa visokim temperaturama, što pomaže u prevenciji spontanijh požara. Za kontrolu metana, implementirani su sistemi za ventilaciju koji sprečavaju nakupljanje ovog gasa u eksplozivnim koncentracijama.

Biotrnovi su korišćeni za otplinjavanje i kontrolu deponijskog gasa, sa prečnicima bušotina koji variraju od 60 cm do 90 cm. Veći prečnici omogućavaju bolji dotok gasa i smanjuju mogućnost zagušenja. Bušenje bušotina vršeno je uz poseban oprez zbog prisustva metana, koristeći opremu u Ex-izvedbi kako bi se obezbedila bezbednost. Biotrnovi su služili za različite namene, uključujući sigurnosno otplinjavanje, ekstrakciju gasa i energetska proizvodnja. U praksi, ranije korišćene PVC cevi pokazale su se kao neprikladne zbog njihove osetljivosti na oštećenja, iako su doprinele smanjenju problema na određenim deponijama.

Sanacija deponije pruža mogućnost uspostavljanja sistema za kontinuirani monitoring i upravljanje rizicima kako bi se sprečili budući ekološki incidenti. Očuvanje javnog zdravlja i unapređenje životnih uslova lokalnog stanovništva takođe je ključni cilj sanacije, smanjenjem emisija štetnih gasova, zagađenja vode i tla, i uklanjanjem opasnosti od požara.

5. GAŠENJE POŽARA NA NESANITARNIM DEPONIJAMA

Gašenje požara na nesani tarnim deponijama predstavlja kompleksan i višestruko složen proces, koji ima ključnu ulogu u zaštiti životne sredine i poboljšanju kvaliteta života u pogođenim područjima. U okviru ovog procesa, primena savremenih tehnika i metoda za gašenje požara i sanaciju deponija omogućava značajno smanjenje učestalosti i intenziteta požara. Efikasno upravljanje požarima je od suštinskog značaja za sprečavanje novih izbijanja i kontrolisanje postojećih, što direktno doprinosi smanjenju negativnih uticaja požara na okolinu.

Gašenje požara na deponijama može se sprovesti različitim metodama, uključujući gušenje požara, hlađenje, otkopavanje i kontrolisano zaustavljanje širenja vatre. Gušenje se postiže prekrivanjem požara inertnim materijalima,

čime se smanjuje prisustvo kiseonika, dok se vlaženje materijala koristi za snižavanje temperature. Hlađenje uključuje primenu vode ili inertnih gasova poput ugljen-dioksida ili azota radi smanjenja temperature u zoni požara. Otkopavanje podrazumeva uklanjanje slojeva otpada kako bi se požar mogao direktno gasiti, ali nosi rizik od razbuktavanja vatre. Kontrolisano zaustavljanje širenja požara omogućava da jedan deo deponije izgori, dok se preduzimaju mere da se vatra ne proširi dalje.

Prema Zakonu o zaštiti i spašavanju, zaštita od požara obuhvata izbor odgovarajućih lokacija i građevinskih materijala, izgradnju prilaznih puteva, obezbeđenje dovoljne količine vode i sredstava za gašenje, zabranu upotrebe otvorene vatre, postavljanje automatskih sistema za otkrivanje i gašenje požara, kao i organizaciju službi za nadzor i obezbeđenje opreme za gašenje požara u šumama. Sve ove mere su ključne za smanjenje rizika od izbijanja i širenja požara, čime se štite ljudski životi i očuvanje životne sredine.

Na deponiji Mislov do se za gašenje požara koristi specijalizovani kontejner koji je opremljen za pripremu mineralne suspenzije, što omogućava efikasno gašenje požara. Takođe, koriste se i indirektno metode gašenja, kao što su iskopavanje i prekrivanje otpada inertnim materijalima. Ova deponija se karakteriše složenim terenom i velikom količinom inertnog materijala, koji je nanesen preko starih slojeva otpada. Tokom poslednje dve godine, dodato je između 30.000 i 40.000 m³ otpada u različitim debljinama.

Kako bi se prikupili podaci o temperaturi i sastavu deponijskog gasa u dubini deponije, postavljene su sonde koje produbljuju istraživanje ispod inertnog materijala. Ove sonde su ključne za identifikaciju potencijalnih izvora požara koji mogu tinjati ili goreti ispod slojeva inertnog materijala, iako površina deluje potpuno mirno, bez znakova požara.

Proces sanacije i gašenja obuhvata istraživačke radove koji uključuju pripremu terena, obuku zaposlenih, pripremu zona, prevoz opreme i izvođenje merenja temperature i sastava gasa putem sonde. Sonde se postavljaju pomoću različitih metoda, uključujući bušenje, pneumatsko utiskivanje i ručno utiskivanje. Izrada mapa temperature i koncentracije gasova predstavlja ključni deo procesa, a sve aktivnosti se izvode u skladu sa strogo definisanim bezbednosnim standardima. Ovaj holistički pristup omogućava pravovremeno i efikasno upravljanje požarima na nesanitarnim deponijama, smanjujući njihove negativne posledice na životnu sredinu.

6. OČEKIVANI REZULTATI

Sprovedenjem ovog projekta očekuju se ostvarivi i merljivi rezultati koji će popraviti početno stanje na deponiji Mislov do. Prvenstveno, sanacija dovodi do smanjenja rizika od požara i zagađenja, stabilizacije deponije, očuvanja javnog zdravlja i poboljšanja životnih uslova za lokalno stanovništvo. Uz to, projekat

doprinosi očuvanju životne sredine kroz smanjenje emisija gasova, zaštitu podzemnih voda i revitalizaciju oštećenog zemljišta, čime će se stvoriti uslovi za buduću upotrebu prostora na održiv način.

Sanacija deponije Mislov do dovela je do značajnog smanjenja učestalosti požara i emisije štetnih gasova. Rezultati projekta pokazuju da je moguće postići značajna poboljšanja kroz jasnu strategiju, adekvatne investicije i primenu savremenih tehnologija. Iako je problem nesanitarnih deponija i dalje prisutan, studija slučaja Mislov do predstavlja primer dobre prakse koja može poslužiti kao model za druge opštine u regionu.

Poboljšanje kvaliteta vazduha predstavlja jedan od ključnih očekivanih rezultata. Efikasno gašenje požara smanjiće emisije toksičnih gasova i praškastih materija koje negativno utiču na kvalitet vazduha. Očekuje se da će smanjenje ovih emisija rezultirati boljem kvalitetu vazduha u okolnim područjima, što će doprineti smanjenju rizika po zdravlje stanovništva.

Dalje, smanjenje ekoloških uticaja je još jedan važan cilj. Gašenje požara i sanacija deponija smanjiće kontaminaciju zemljišta i vodnih tokova, što će dovesti do smanjenja prisustva teških metala, pesticida i drugih opasnih spojeva u ovim ekosistemima. Ova poboljšanja će imati pozitivan uticaj na lokalnu ekologiju, očuvanje biodiverziteta i kvalitet zemljišta i voda.

Na kraju, očekuje se da će implementacija ovih mera doprineti stvaranju održivijih i bezbednijih uslova u lokalnim zajednicama, smanjujući rizike povezane sa nesanitarnim deponijama i unapređujući životne uslove za stanovništvo.

7. REZULTATI PROJEKTA

Projekat sanacije nesanitarnih deponija i gašenja požara na lokaciji Mislov do u Nikšiću ostvario je nekoliko ključnih rezultata koji doprinose poboljšanju ekoloških i zdravstvenih uslova u okolini. Prvo, uspešno je smanjena emisija metana i drugih toksičnih gasova, što je doprinelo smanjenju zagađenja vazduha i rizika od globalnog zagrevanja. Postavljanjem zaštitnih barijera, projekat je značajno umanjio rizik od kontaminacije podzemnih izvora pitke vode, čime se štite resursi ključni za zdravlje i dobrobit lokalnog stanovništva.

Efikasne mere gašenja požara rezultirale su eliminacijom postojećih požara na deponiji, kao i smanjenjem rizika od budućih incidenata, čime je dodatno zaštićena lokalna zajednica. Projekat sanacije je učestvovao u obnovi narušenog ekosistema i poboljšanju biodiverziteta u oblasti. Na kraju, smanjen je rizik od respiratornih bolesti i drugih zdravstvenih problema povezanih sa izloženošću toksičnim materijama, čime je unapređen kvalitet života stanovništva u blizini deponije.

Na osnovu rezultata merenja vršenih na biotru 6 od 07.08.2024. (neposredno nakon izbijanja površinskog požara koji je zahvatio treći plato

nesanitarne deponije Mislov do, ali i deo srednjeg platoa) i merenja vršenih na biotrnju 6 od 02.09.2024. (pred završetak prve faze sanacije i gašenja podzemnih požara na nesani tarnoj deponiji Mislov do), može se uočiti značajno smanjenje koncentracije otrovnih i zapaljivih gasova kao što su CO, H₂S i H₂.

Rezultati su prikazani u tabelama 1 i 2, respektivno.

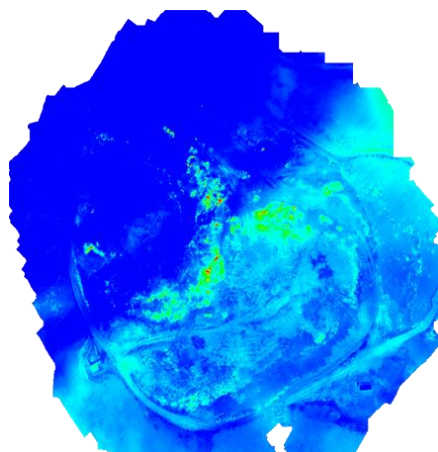
Tabela 1. Rezultati merenja vršenih 07.08.2024. na Biotrnu 6 nesani tarne deponije Mislov do

Vrsta gasova	Jedinica	Merenje	Opseg merenja
N		42°43'53"	
E		18°56'02"	
CH ₄	(%)	53	0-100%
O ₂	(%)	1.8	0-25%
CO ₂	(%)	Iznad opsega merenja	0-5 %
CO	(ppm)	61	0-2000 ppm
H ₂ S	(ppm)	Iznad opsega merenja	0-100 ppm
H ₂	(ppm)	165	0-2000 ppm

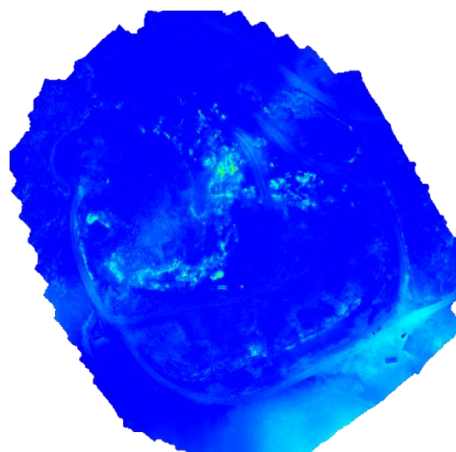
Tabela 1. Rezultati merenja vršenih 02.09.2024. na Biotrnu 6 nesani tarne deponije Mislov do

Vrsta gasova	Jedinica	Merenje	Opseg merenja
N		42°43'53"	
E		18°56'02"	
CH ₄	(%)	54	0-100%
O ₂	(%)	1.2	0-25%
CO ₂	(%)	Iznad opsega merenja	0-5 %
CO	(ppm)	29	0-2000 ppm
H ₂ S	(ppm)	87	0-100 ppm
H ₂	(ppm)	90	0-2000 ppm

Upoređivanjem merenja na istom biotrnju došlo je do poboljšanja kvaliteta deponijskog gasa povećanjem udela metana i snižavanjem koncentracija svih ostalih parametara deponijskog gasa uz smanjenje temperature. Sve isto je pratilo smanjenje temperature deponijskog gasa. Na slikama 2 i 3 može se videti kako je podzemni požar potpuno potisnut i ostao u tragovima. Termalni snimak sa slike 2, nastao je 23.08.2024., a termalni snimak sa slike 3, nastao je 03.09.2024. Isto se vidi analizom i ranijih snimaka sa početka radova do 23.08.2024. godine. Intenzitet i aktivnost požara se smanjuju sa svakim termalnim snimkom, a kvalitet deponijskog gasa se popravlja do očekivanih parametara za redovan rad deponije.



Sl. 2. Termalni snimak nesanitarnе deponije Mislov do od 23.08.2024.



Sl. 3. Termalni snimak nesanitarnе deponije Mislov do od 03.09.2024.

8. ZAKLJUČAK

Rešavanje problema nesanitarnih deponija i požara na njima predstavlja ključni izazov u oblasti zaštite životne sredine na ovom području. Dok projekti sanacije poput onog na deponiji Mislov do nude konkretna rešenja, za postizanje održivog napretka potrebno je kontinuirano ulaganje i unapređenje regulatornog okvira.

Sanacija nesanitarnog odlagališta otpada i gašenje požara na deponijama igraju ključnu ulogu u poboljšanju životne sredine i očuvanju ljudskog zdravlja. Efikasno sprovedeni sanacioni projekti donose značajne ekološke, zdravstvene i ekonomske koristi. Kroz implementaciju sveobuhvatnih mera sanacije moguće je smanjiti negativne uticaje nesanitarnog odlagališta, što doprinosi boljoj zaštiti prirode i unapređenju kvaliteta života zajednice.

Dalji napor u ovoj oblasti treba da se fokusiraju na primenu inovativnih tehnologija za reciklažu i smanjenje otpada, jačanje regulativa i podizanje svesti o važnosti održivog upravljanja otpadom. Na osnovu ovog istraživanja, preporučuje se povećanje ulaganja u infrastrukturu za izgradnju i održavanje biotrnova i gasnih bunara, razvijanje lokalnih kapaciteta za upravljanje deponijama, unapređenje regulative kako bi se smanjila učestalost nesanitarnog odlaganja otpada i podizanje svesti javnosti kroz obrazovne kampanje.

Ove mere će doprineti smanjenju pritiska na postojeće deponije i obezbediti dugoročno održivo rešenje za upravljanje otpadom.

LITERATURA

- [1] D.R. Blake, F.S. Rowland, *Science*, 239(4844) (1988) 1129-1131.
doi:10.1126/science.239.4844.1129
- [2] H. Zhang, P. He, L. Shao, *Atmospheric Environment*, 42 (22) (2008) 5579-5588. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.03.010>
- [3] N. Sanphoti, S. Towprayoon, P. Chaiprasert, A. Nopharatana, *Journal of Environmental Management*, 81(1) (2006) 27-35.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.10.015>
- [4] <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Fullreport.pdf>