



**Dopuna nalaza i mišljenja vještaka zaštite okoliša za
lokaciju kompleksa bivšeg kamenoloma u Benkovačkom
selu, Kukalj, na k.č. 673/194 k.o. Benkovac**

Varaždin, rujan 2026.



IZRAĐIVAČ: SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, GEOTEHNIČKI FAKULTET
Hallerova aleja 7, 42 000 Varaždin

NARUČITELJ: Državno odvjetništvo, Ured za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta (Broj: Kis-US-12/2025 od 25. kolovoz 2026.)

VRSTA DOKUMENTA: Dopuna Nalaza i mišljenja vještaka zaštite okoliša za kompleks bivšeg kamenoloma u Benkovačkom selu, Kukalj, na k.č. 673/194 k.o. Benkovac

ZADATAK: Vještačenje zaštite okoliša – dopuna vještačenja, analiza mikroplastike u tlu

BROJ DOKUMENTA: Klasa: 303-01/25-01/22
Urbroj: 2186-73-12-26-51

Datum: 07. rujna 2026.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Povod izrade dopune nalaza i mišljenja	1
1.2	Sažetak prethodnih aktivnosti.....	1
2	Dopuna vještačenja.....	3
2.1	Metodologija.....	3
2.1.1	Uzimanje uzoraka tla.....	3
2.1.2	Mikroskopiranje uzoraka.....	6
2.2	Rezultati provedenih istraživanja za dopunu vještačenja	7
2.2.1	Grupa uzoraka S1	7
2.2.2	Grupa uzoraka S2	8
2.2.3	Grupa uzoraka S3	9
2.2.4	Grupa uzoraka S4	11
2.2.5	Grupa uzoraka S5	13
2.2.6	Grupa uzoraka S6	14
2.2.7	Grupa uzoraka S7	15
2.2.8	Grupa uzoraka S8	18
2.2.9	Grupa uzoraka S9	19
2.2.10	Grupa uzoraka S10	20
2.2.11	Grupa uzoraka S11	21
2.2.12	Grupa uzoraka S12	22
2.2.13	Grupa uzoraka S13	24
2.2.14	Grupa uzoraka S14	25
2.2.15	Grupa uzoraka S15	26
2.2.16	Grupa uzoraka S16	27
2.2.17	Grupa uzoraka S17	29
2.2.18	Grupa uzoraka S18	30
2.2.19	Grupa uzoraka S19	32
3	Utjecaj mikroplastike na okoliš	34
4	Zaključak i mišljenje	38
5	Popis tablica i slika	41

1 Uvod

1.1 Povod izrade dopune nalaza i mišljenja

Povod za izradu ove dopune nalaza i mišljenja jest Nalog Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 25. kolovoza 2026. godine, izdan u kaznenom predmetu protiv okrivljenika zbog kaznenih djela iz članka 328. i drugih odredbi Kaznenog zakona. Navedenim Nalogom Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu povjereno je provođenje dodatnog vještačenja iz područja zaštite okoliša radi utvrđivanja prisutnosti mikroplastike u dostavljenim uzorcima tla.

Za potrebe dopunskog vještačenja dostavljeno je ukupno 19 uzoraka tla, označenih oznakama S1–S19, koji su izuzeti tijekom očevida provedenog 19. kolovoza 2026. godine na k. č. 673/194 k. o. Benkovac. Predmetna lokacija povezuje se s dovozom i nezakonitim odlaganjem otpada u razdoblju od početka prosinca 2023. do sredine ožujka 2024. godine, pri čemu je otpad nakon istovara u prostor kamenoloma prekrivan mješavinom kamena i zemlje.

Svrha izrade ove dopune nalaza i mišljenja jest, na temelju laboratorijskog pregleda i analize dostavljenih uzoraka, utvrditi je li u tlu na predmetnoj lokaciji prisutna mikroplastika te stručno prikazati i protumačiti dobivene rezultate u kontekstu provedenog vještačenja.

1.2 Sažetak prethodnih aktivnosti

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu u predmetu Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 provodio je vještačenja iz područja zaštite okoliša, geotehnike i hidrogeologije na lokaciji bivšeg kamenoloma u Benkovačkom Selu, Kukalj, na k. č. 673/194 k. o. Benkovac.

Na temelju Naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 3. studenoga 2025. godine, 4. i 5. studenoga 2025. godine proveden je očevid na predmetnoj lokaciji. U okviru očevida provedeni su neinvazivni istražni radovi radi utvrđivanja geoloških i hidrogeoloških obilježja lokacije, prostorne rasprostranjenosti odloženog otpada te mogućih putova njegova utjecaja na okoliš. Provedeno je geološko i hidrogeološko rekognosciranje šireg područja, geofizička ispitivanja, snimanje georadarom i geoelektrična mjerenja. Na temelju rezultata navedenih istraživanja određene su lokacije daljnjih istražnih radova i uzorkovanja unutar nasutog platoa.

Dana 16. siječnja 2026. godine provedena je pretraga kompleksa bivšeg kamenoloma, tijekom koje su provedeni invazivni istražni radovi. Radnim strojem izvedeni su istražni iskopi na osam lokacija raspoređenih tako da se obuhvati horizontalna i vertikalna rasprostranjenost zakopanog otpada. Iz istražnih iskopa uzeto je ukupno 19 uzoraka otpada s različitih dubina. Svaki je uzorak podijeljen na dva dijela radi provođenja analiza na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i Nastavnom zavodu za javno zdravstvo „Dr. Andrija Štampar“.

Na prikupljenim uzorcima provedena su fizikalna, kemijska, mikrobiološka, radiološka i ekotoksikološka ispitivanja. Istraživanja su obuhvatila određivanje vlažnosti, gustoće čvrstih čestica, granulometrijskog sastava, udjela organske tvari i metala, prosijavanje i sortiranje otpada, mikroskopiranje sitnih frakcija, testove procjeđivanja, određivanje ukupnih koncentracija pojedinih metala, mjerenje radioaktivnosti, mikrobiološke analize, ispitivanje akutne toksičnosti eluata na organizmu *Daphnia magna* te procjenu opasnih svojstava otpada, uključujući svojstvo HP 14 – ekotoksično.

Provedenim istraživanjima utvrđeno je da odloženi materijal predstavlja izrazito heterogenu mješavinu otpada antropogenog podrijetla. U njegovu su sastavu identificirane sitne mineralizirane frakcije, kamen i građevinski materijali, plastika, folije, guma, tekstil, drvo, staklo, metali, bakreni vodiči te dijelovi električne i elektroničke opreme. Umjetni materijali, osobito plastika, tekstil i guma, utvrđeni su u svim istraženim dijelovima odlagališta, zbog čega se predmetni materijal ne može smatrati prirodnim ili inertnim nasipnim materijalom karakterističnim za prostor kamenoloma.

Mikroskopskom analizom sitnih frakcija otpada potvrđena je prisutnost sekundarne mikroplastike, sintetskih vlakana i sitnih gumenih čestica u svim analiziranim reprezentativnim uzorcima. Utvrđene plastične čestice bile su pretežno veličine od približno 100 µm do 2 mm, nepravilnog oblika, hrapavih površina i s izraženim znakovima mehaničke fragmentacije. Navedena obilježja upućuju na njihovo nastajanje usitnjavanjem i degradacijom većih komada plastičnog otpada tijekom prethodne mehaničke obrade, prijevoza, odlaganja i naknadnog miješanja s mineralnim materijalom. Prisutnost mikroplastike utvrđena je kao jedno od karakterističnih svojstava predmetnog otpada.

Kemijskim analizama utvrđene su povišene koncentracije pojedinih metala, ponajprije bakra, cinka, olova i antimona. Rezultati testova procjeđivanja pokazali su ograničenu mobilnost većine analiziranih metala, dok je antimon izdvojen kao okolišno najznačajniji indikatorski element. Mikrobiološkim analizama nisu utvrđena infektivna svojstva otpada, a mjerenjima radioaktivnosti nisu zabilježena odstupanja od prirodne pozadinske radioaktivnosti. Konzervativnim regulatornim izračunom dobivene su vrijednosti HP 14 iznad propisane granične vrijednosti, dok provedenim biotestovima nije potvrđena akutna ekotoksičnost eluata.

U prethodnom nalazu i mišljenju zaključeno je da je na predmetnoj lokaciji zakopana heterogena mješavina mineralnog materijala i različitih vrsta otpada, pri čemu okolišnu relevantnost odloženog materijala prvenstveno određuju prisutnost mikroplastike, povišene koncentracije pojedinih metala i mobilnost antimona. Također je utvrđeno da odloženi otpad predstavlja značajnu antropogenu promjenu prirodnog geološkog medija te da se nalazi u neposrednom kontaktu s propusnom karbonatnom stijenskom podlogom.

2 Dopuna vještačenja

2.1 Metodologija

2.1.1 Uzimanje uzoraka tla

Na predmetnoj lokaciji i u njezinu okruženju prevladava ogoljena kamena, odnosno karbonatna stijenska podloga. Razvijeni sloj tla nije kontinuirano prisutan, dok se manja količina zemlje, prašine i sitnozrnatog materijala zadržava samo na pojedinim mjestima, ponajprije u udubljenjima, pukotinama i neravninama kamene površine. Zbog takvih obilježja terena nije bilo moguće provesti uobičajeno uzorkovanje razvijenog pedološkog profila.

Uzorkovanje je stoga prilagođeno stvarnim uvjetima na lokaciji. Uzorci su uzimani s površine tla, odnosno prikupljanjem dostupne zemlje, prašine i sitnozrnatog materijala s kamene podloge. Materijal je, ovisno o njegovoj dostupnosti na pojedinoj lokaciji uzorkovanja, prikupljan iz površinskog sloja dubine približno od 2 do 10 cm. Dubina uzorkovanja razlikovala se među lokacijama zbog neujednačene količine i rasporeda sitnozrnatog materijala na kamenoj podlozi.



Slika 1 Lokacija odloženog otpada



Slika 2 Lokacije mjesta uzrokovanja

Tablica 1 GPS lokacije mjesta uzorkovanja

Oznaka uzorka	GPS koordinata N	GPS koordinata E
S 1	44°03.698' N	015°36.909' E
S 2	44°03.699' N	015°36.919' E
S 3	44°03.705' N	015°36.917' E
S 4	44°03.711' N	015°36.908' E

Oznaka uzorka	GPS koordinata N	GPS koordinata E
S 5	44°03.715' N	015°36.918' E
S 6	44°03.709' N	015°36.929' E
S 7	44°03.685' N	015°36.932' E
S 8	44°03.685' N	015°36.940' E
S 9	44°03.676' N	015°36.967' E
S 10	44°03.635' N	015°36.977' E
S 11	44°03.704' N	015°36.962' E
S 12	44°03.717' N	015°36.948' E
S 13	44°03.723' N	015°36.961' E
S 14	44°03.735' N	015°36.957' E
S 15	44°03.737' N	015°36.963' E
S 16	44°03.734' N	015°36.950' E
S 17	44°03.732' N	015°36.940' E
S 18	44°03.726' N	015°36.948' E
S 19	44°03.801' N	015°36.928' E

Ukupno je uzeto 19 uzoraka, označenih oznakama S1–S19. Položaj svake lokacije uzorkovanja evidentiran je GPS koordinatama. Uzorci su nakon uzimanja zasebno spremljeni u vrećice izrađene od tvrde plastike, označeni pripadajućim oznakama te zatvoreni radi sprječavanja njihova međusobnog miješanja i naknadne kontaminacije. Uzorkovanje je provedeno s ciljem utvrđivanja prisutnosti mikroplastike u površinskom materijalu na predmetnoj lokaciji i u njezinu okruženju.

Pri određivanju lokacija uzorkovanja, osim konfiguracije i pristupačnosti terena te dostupnosti površinskog sitnozrnatog materijala, uzeta je u obzir i ruža vjetrova za predmetno područje. Time su obuhvaćeni prevladavajući smjerovi strujanja zraka, odnosno mogući smjerovi prijenosa i taloženja čestica mikroplastike s lokacije odloženog otpada u njezino okruženje.

2.1.2 Mikroskopiranje uzoraka

Mikroskopska analiza provedena je radi utvrđivanja prisutnosti čestica koje prema svojim morfološkim obilježjima odgovaraju mikroplastici te radi opisivanja njihova oblika, veličine, boje, strukture i stupnja fragmentacije. Za analizu je korišten stereomikroskop Olympus SZX7, koji omogućuje pregled površine i strukture čestica pri različitim povećanjima.

S obzirom na to da su uzorci uzeti iz površinskog sloja i da je raspoloživa količina materijala na pojedinim lokacijama bila ograničena, svaki od 19 uzoraka podijeljen je na tri približno jednaka dijela. Svaki je dio zasebno pregledan pod mikroskopom, čime su za svaki uzorak provedena tri odvojena mikroskopska pregleda. Na taj je način povećana obuhvatnost analize i smanjena mogućnost da prisutne čestice mikroplastike ostanu nezabilježene zbog njihove neujednačene raspodjele u uzorku. Ukupno je mikroskopski pregledano 57 dijelova uzoraka.

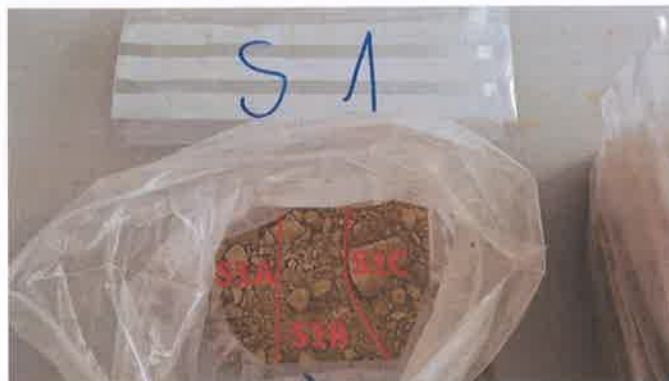
Tijekom pregleda uzorci su raspoređeni u tankom sloju kako bi se omogućilo razdvajanje i uočavanje pojedinačnih čestica. Pregled je bio usmjeren na prepoznavanje nepravilnih i obojenih fragmenata, vlakana, dijelova folija, pjenastih čestica te drugih materijala koji se oblikom, površinskom teksturom i načinom loma razlikuju od prirodnih mineralnih i organskih čestica.

Za procjenu veličine opaženih čestica korištena je referentna skala prikazana na mikroskopskim snimkama. Posebna pozornost posvećena je česticama manjim od 5 mm, koje se prema uobičajenoj definiciji razvrstavaju kao mikroplastika. Zaključci o prirodi opaženog materijala doneseni su na temelju morfoloških obilježja vidljivih na mikroskopskim snimkama, uključujući oblik, boju, prozirnost, jednoličnost strukture, hrapavost površine, lomne rubove i prisutnost znakova mehaničke degradacije.

Mikroskopskom analizom razlikovane su potencijalne polimerne čestice od mineralnih zrna, organske tvari i drugih prirodnih sastavnica uzorka. Čestice procijenjene kao mikroplastika evidentirane su prema pojavnom obliku, primjerice kao fragmenti, vlakna, folije ili pjenaste čestice. Budući da je analiza provedena optičkim mikroskopiranjem, identifikacija mikroplastike temelji se na morfolškoj procjeni, dok kemijski sastav i vrsta polimera nisu određivani spektroskopskim metodama.

2.2 Rezultati provedenih istraživanja za dopunu vještačenja

2.2.1 Grupa uzoraka S1



Slika 3 Uzorak S1

Tablica 2 Snimke grupe uzoraka S1

S1A				
S1B				
S1C				

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su poduzorci iz skupine uzoraka S1 pretežno sastavljeni od mineralnog materijala. Mikroskopskom analizom, pri mjerilu od 100 μm , utvrđena je prisutnost polimernih čestica različitih morfoloških karakteristika i mogućeg podrijetla. Mikroskopskim pregledom identificirane su čestice mikroplastike u obliku nepravilnih polimernih fragmenata veličine približno 200–1500 μm . Na

pojedinih fragmentima uočeni su izraženi znakovi mehaničkog trošenja, odnosno površinske degradacije, kao i sitne mineralne čestice adherirane na njihovu površinu. Takva morfologija može upućivati na mehaničku obradu i/ili trošenje polimernog materijala u kontaktu s mineralnom matricom. Osim nepravilnih polimernih fragmenata, u analiziranim poduzorcima utvrđena je i prisutnost sintetičkih vlakana različitih boja, pretežno tamnih i svijetlih nijansi. Vlakna su na pojedinim mjestima međusobno isprepletena i formiraju kompaktne nakupine (klupka). Na temelju njihove morfologije i načina pojavljivanja, kao mogući izvori mogu se razmatrati mehanički usitnjena sintetička užad i/ili drugi polimerni vezivni materijali.

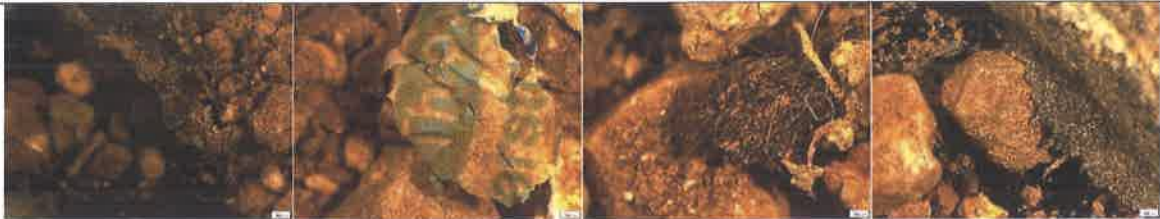
Ukupni sastav analiziranih poduzoraka upućuje na heterogenu mješavinu mineralnog, odnosno zemljanog materijala (jalovine) i mehanički obrađenog polimernog otpada. Utvrđena prisutnost nepravilnih polimernih fragmenata i sintetičkih vlakana ukazuje na značajnu zastupljenost antropogenih polimernih materijala u ispitivanoj matrici.

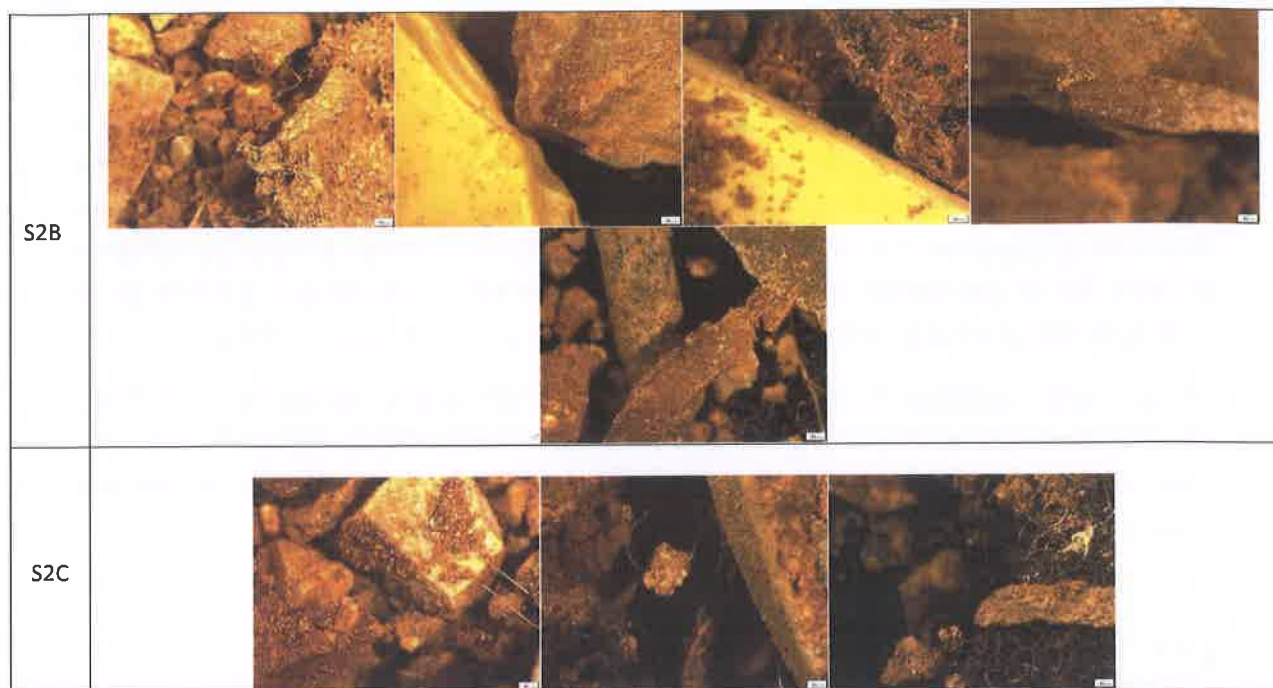
2.2.2 Grupa uzoraka S2



Slika 4 Uzorak S2

Tablica 3 Snimke grupe uzoraka S2

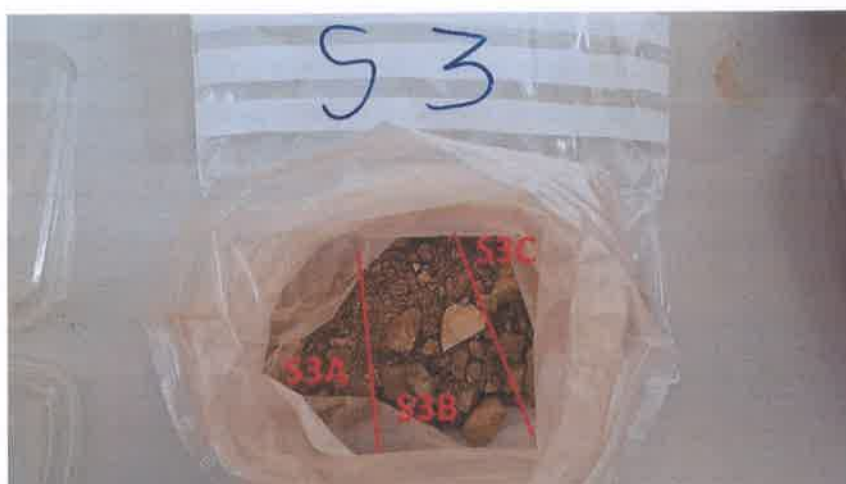
S2A	
-----	--



Na temelju makroskopskog pregleda uzorka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala, uz prisutnost polimernog materijala različitih morfoloških karakteristika. Mikroskopskom analizom, pri mjerilu od 100 μm , utvrđena je prisutnost polimernih čestica različitih oblika, veličine i boje. U uzorcima su identificirani nepravilni polimerni fragmenti veličine približno 200–1500 μm , pri čemu su najzastupljenije crne i bijele čestice, uz prisutnost fragmenata drugih boja. Na pojedinim fragmentima vidljivi su znakovi mehaničkog trošenja i površinske degradacije, kao i sitne mineralne čestice adherirane na njihovu površinu. Morfološka obilježja ovih čestica upućuju na mogućnost nastanka mehaničkim usitnjavanjem većih polimernih materijala. U uzorcima je također uočena usitnjena plastična ambalaža, čiji su fragmenti dimenzijama usporedivi s ostalim identificiranim polimernim česticama, kao i sintetička vlakna različitih boja, koja su mjestimično međusobno isprepletena i formiraju nakupine.

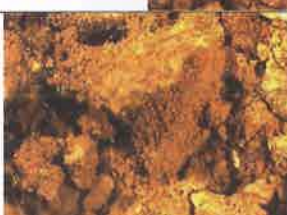
Ukupna morfologija i sastav poduzoraka iz skupine S2 ukazuju na heterogenu mješavinu mineralnog materijala (jalovine) i polimernog otpada različitog oblika i podrijetla. Polimernu komponentu čine nepravilni polimerni fragmenti, usitnjeni dijelovi plastične ambalaže te sintetička vlakna.

2.2.3 Grupa uzoraka S3



Slika 5 Uzorak S3

Tablica 4 Snimke grupe uzoraka S3

S3A				
S3B				
S3C				

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala. Mikroskopskom analizom, pri mjerilu od 100 μm , utvrđena je prisutnost polimernih čestica različitih morfoloških karakteristika, veličine i boje. U uzorcima su identificirani nepravilni polimerni fragmenti

veličine približno 200–1500 μm , pri čemu prevladavaju fragmenti crne i bijele boje, uz prisutnost čestica drugih boja. Na polimernim fragmentima uočavaju se znakovi mehaničkog trošenja i površinske degradacije, kao i sitne mineralne čestice adherirane na njihovu površinu. Prisutni su i folijasti polimerni fragmenti, karakteristične tanke i savitljive morfologije, koji se prema svojim obilježjima mogu povezati s mehanički usitnjenom plastičnom ambalažom (vrećicama). U uzorcima su također uočena sintetička vlakna različitih boja, koja su mjestimično međusobno isprepletena i formiraju klupka. Osim polimernog materijala, u poduzorku S3A su identificirani metalni fragmenti veličine 2500 – 3000 μm , kao i nekoliko staklenih fragmenata tamno smeđe boje.

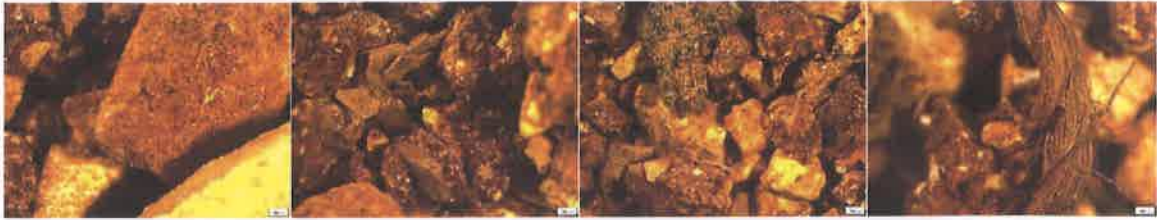
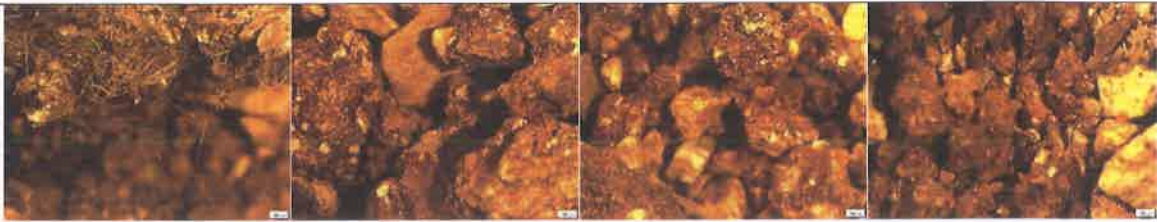
Ukupni sastav uzoraka iz skupine S3 ukazuje na heterogenu mješavinu mineralnog materijala (jalovine) i različitih antropogenih materijala, među kojima su zastupljeni polimerni fragmenti, folijasti polimerni materijal, sintetička vlakna, usitnjeni metal te staklo. Utvrđena morfološka raznolikost ukazuje na prisutnost materijala različitog podrijetla i stupnja mehaničke usitnjenosti.

2.2.4 Grupa uzoraka S4



Slika 6 Uzorak S4

Tablica 5 Snimke grupe uzoraka S4

S4A	
S4B	
S4C	

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka iz grupe S4 može se zaključiti da su sastavljeni pretežno od mineralnog, odnosno zemljanog materijala, uz prisutnost polimernih čestica različitih morfoloških karakteristika. Mikroskopskom analizom, pri mjerilu od 100 μm , utvrđena je prisutnost polimernih čestica različitih oblika, veličine i boje. U uzorcima su identificirani nepravilni polimerni fragmenti veličine približno 300–1200 μm , s izraženim znakovima mehaničkog trošenja i površinske degradacije. Na polimernim fragmentima vidljive su sitne mineralne čestice adherirane na njihovu površinu. Morfološka obilježja fragmenta upućuju na njihov nastanak uslijed mehaničkog usitnjavanja većih polimernih materijala. U uzorku su također prisutni folijasti polimerni fragmenti karakteristične tanke i pločaste morfologije. Njihova morfološka obilježja upućuju na podrijetlo iz fleksibilnih polimernih materijala poput vrećica, međutim, specifično podrijetlo nije moguće pouzdano utvrditi isključivo na temelju mikroskopskog pregleda. Osim polimernih fragmenata, u uzorku su uočena i sintetička vlakna različitih boja, koja mjestimično formiraju nakupine.

Ukupni sastav uzoraka iz skupine S4 upućuje na heterogenu smjesu mineralnog materijala (jalovine) i polimernog materijala različitih morfoloških karakteristika. Polimernu komponentu čine nepravilni fragmenti, folijasti fragmenti te sintetička vlakna. Utvrđena morfološka raznolikost polimernih čestica ukazuje na prisutnost materijala različitog podrijetla i stupnja mehaničke usitnjenosti.

2.2.5 Grupa uzoraka S5



Slika 7 Uzorak S5

Tablica 6 Snimke grupe uzoraka S5

S5A				
S5B				
S5C				

Makroskopskim pregledom uzoraka utvrđeno je da je njihova osnovna matrica pretežno mineralnog, odnosno zemljanog sastava, uz prisutnost različitih materijala organskog i antropogenog podrijetla. Mikroskopska analiza (mjerilo 100 μm) pokazala je prisutnost brojnih polimernih čestica različitih morfoloških obilježja, veličine i boje. Polimerni materijal najvećim je dijelom zastupljen u obliku nepravilnih fragmenata veličine približno 300–1600

μm , različitih boja. Na površini fragmenata vidljivi su znakovi mehaničkog trošenja, kao i nakupljene i adherirane sitne mineralne čestice. Uz kompaktne nepravilne fragmente prisutne su i tanke, folijaste polimerne čestice, čija morfologija odgovara fleksibilnim polimernim materijalima. U uzorcima su uočena i sintetička vlakna različitih boja, koja se pojedinačno pojavljuju u mineralnoj matrici, ali i međusobno isprepletena u obliku manjih nakupina. Uz polimerne komponente, u uzorcima je identificirano više fragmenata staklenog materijala. Fragmenti su pretežno nepravilnog oblika te su njihove površine u značajnoj mjeri prekrivene mineralnim naslagama i drugim sitnim česticama, što otežava neposredno uočavanje njihovih izvornih površinskih karakteristika. Takva obloženost posljedica je kontakta i miješanja staklenog materijala s okolnom mineralnom matricom. U poduzorku S5B prisutan je i komad drvenog materijala, vidljive strukture karakteristične za grančicu. Njegova prisutnost dodatno potvrđuje heterogenost sastava ispitanog materijala.

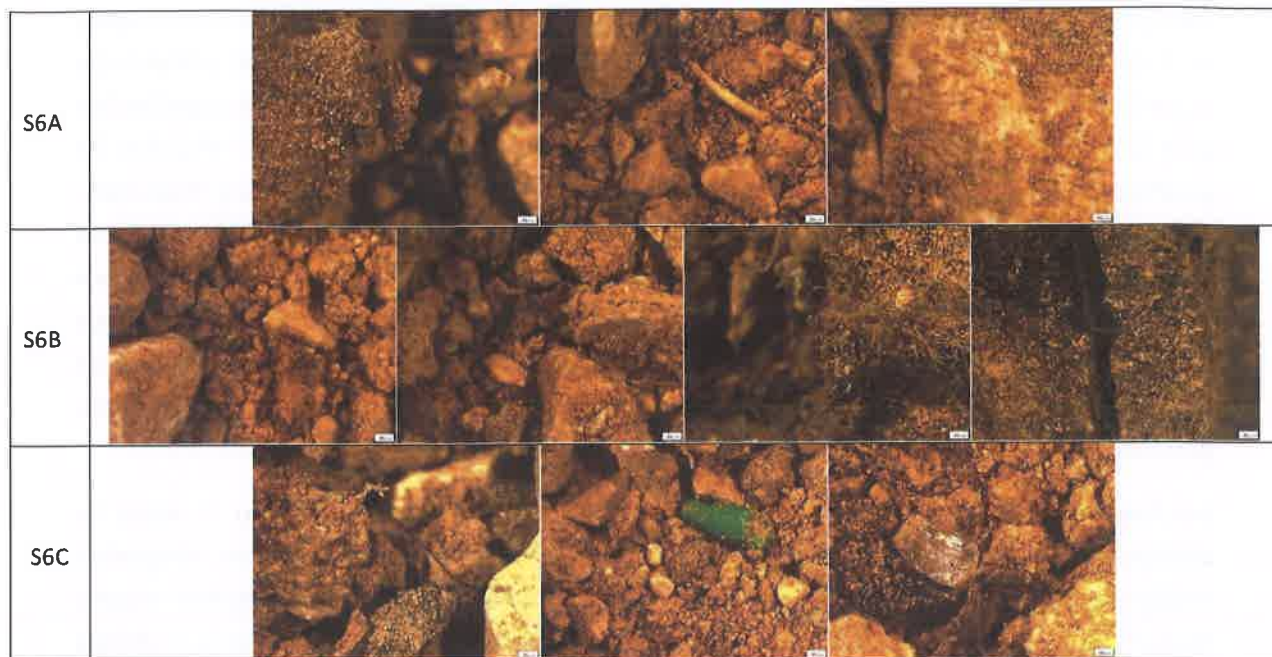
Sveukupno, analizirani uzorci predstavljaju heterogenu mineralnu matricu u kojoj su distribuirane polimerne čestice različitih morfoloških oblika, sintetička vlakna, fragmenti staklastog materijala te drveni materijal. Prisutnost različitih komponenti i njihov stupanj mehaničke usitnjenosti ukazuju na složen sastav materijala i miješanje sastavnica različitog podrijetla.

2.2.6 Grupa uzoraka S6



Slika 8 Uzorak S6

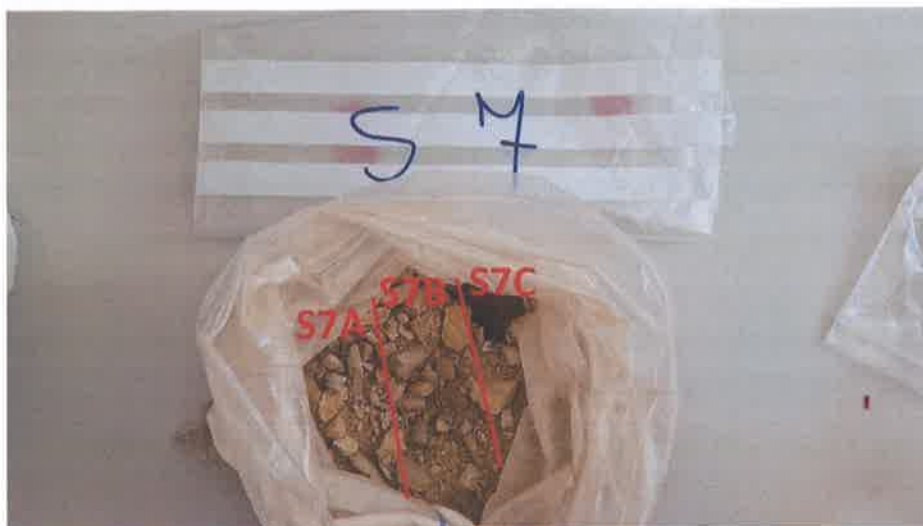
Tablica 7 Snimke grupe uzoraka S6



Makroskopskim pregledom uzoraka utvrđeno je da je materijal pretežno mineralnog, odnosno zemljanog sastava. Mikroskopskom analizom (mjerilo 100 μm) potvrđena je prisutnost polimernih fragmenata različitih morfoloških karakteristika, kao i većeg broja sintetičkih vlakana. Polimerni materijal prisutan je uglavnom u obliku pojedinačnih nepravilnih fragmenata relativno malih dimenzija (200 – 800 μm). Fragmenti su različitih boja i mjestimično pokazuju znakove mehaničkog trošenja te su prekriveni sitnim mineralnim česticama. U poduzorku S6B posebno je izražena prisutnost brojnih sintetičkih vlakna različitih dimenzija i boja, većinom zapetljanih u klupka. Pojedina vlakna pokazuju znakove mehaničkog oštećenja i trošenja. U poduzorku S6C uočeni su fragmenti staklastog materijala. Radi se o manjim, nepravilno oblikovanim česticama, koje se razlikuju od okolne mineralne matrice prema svojim optičkim i morfološkim obilježjima. Površine pojedinih fragmenata djelomično su prekrivene sitnim mineralnim česticama.

Ukupni sastav uzoraka karakterizira dominantno mineralna matrica, uz manju zastupljenost polimernih fragmenata i izraženu prisutnost vlaknastog materijala. U poduzorku S6C dodatno je utvrđena prisutnost fragmenata staklastog materijala. Raznolikost opaženih komponenti ukazuje na heterogen sastav uzoraka, s prisutnošću materijala različitog podrijetla i stupnja mehaničke usitnjenosti.

2.2.7 Grupa uzoraka S7



Slika 9 Uzorak S7

Tablica 8 Snimke grupe uzoraka S7

S7A				
S7B				
S7C				

Makroskopskim pregledom uzoraka utvrđeno je da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralne matrice, odnosno zemljanog materijala (jalovine). Mikroskopskom analizom (mjerilo 100 μm) utvrđene su razlike u prisutnosti i zastupljenosti polimernih čestica među pojedinim poduzorcima.

U poduzorku S7A mikroskopskim pregledom nije utvrđena prisutnost čestica koje bi se na temelju morfoloških obilježja mogle pripisati mikroplastici. Promatrani materijal dominantno je mineralnog sastava, bez uočljivih polimernih fragmenata ili vlakana.

U poduzorku S7B identificirano je nekoliko tvrdih, prozirnih polimernih fragmenata veličine približno 1000 μm . Fragmenti se morfološki razlikuju od okolne mineralne matrice te pokazuju karakteristike kompaktnog i transparentnog polimernog materijala. Osim navedenih fragmenata, uočene su i sitne crvene čestice veličine približno 50–100 μm raspršene unutar mineralne matrice. Mikroskopskim pregledom nije bilo moguće pouzdano utvrditi radi li se o polimernom materijalu.

U poduzorku S7C utvrđena je izraženija prisutnost sitnih crvenih čestica istih morfoloških karakteristika kao one uočene u poduzorku S7B. Čestice su pretežno veličine približno 50–100 μm te su raspršene unutar mineralne matrice.

U cjelini, uzorci skupine S7 karakterizirani su dominantno mineralnim sastavom, uz izostanak uočljive mikroplastike u poduzorku S7A i S7C te uz prisutnost polimernih čestica u poduzorku S7B.

2.2.8 Grupa uzoraka S8



Slika 10 Uzorak S8

Tablica 9 Snimke grupe uzoraka S8

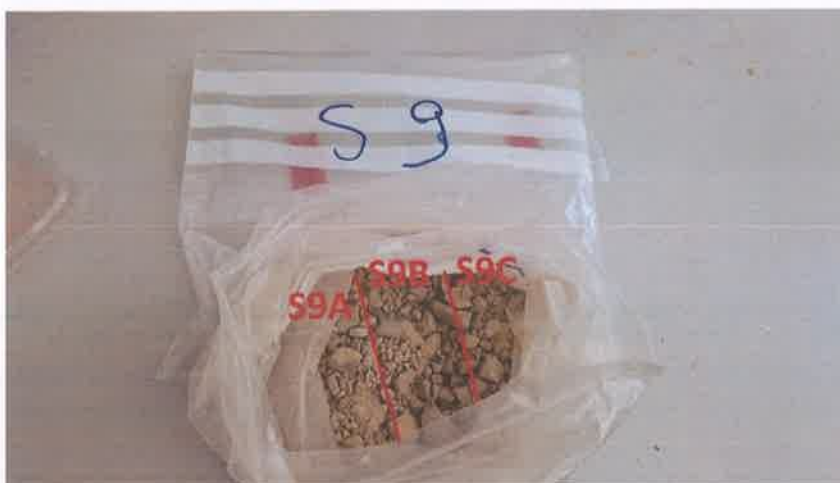
S8A				
S8B				
S8C				

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskom analizom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog materijala, odnosno mješavine zemljanog i kamenog materijala (jalovine).

U poduzorku S8A uočeni su sporadični crveni polimerni fragmenti nepravilnog oblika raspršene unutar mineralne matrice. Mikroskopskim pregledom nije bilo moguće pouzdano utvrditi radi li se o polimernom materijalu. U poduzorcima S8B i S8C nije utvrđena prisutnost mikroplastike niti drugih jasno prepoznatljivih polimernih čestica. U svim analiziranim uzorcima dominantna je mineralna komponenta, koju čine zemljani i kameni materijal.

2.2.9 Grupa uzoraka S9



Slika 11 Uzorak S9

Tablica 10 Snimke grupe uzoraka S9

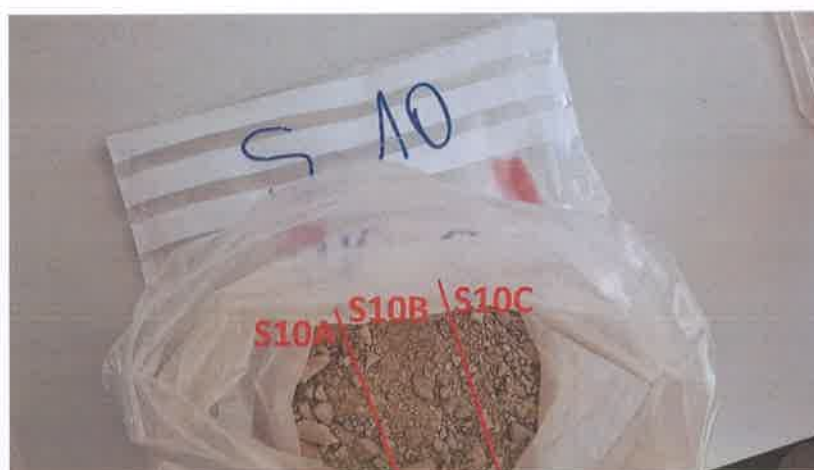
S9A				
S9B				



Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskom analizom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog materijala, odnosno mješavine zemljanog i kamenog materijala različite granulacije. U uzorcima nije utvrđena prisutnost mikroplastike niti drugih jasno prepoznatljivih polimernih čestica i sintetičkih vlakana. U analiziranim uzorcima dominantna je mineralna komponenta, koju čine zemljani i kameni materijal.

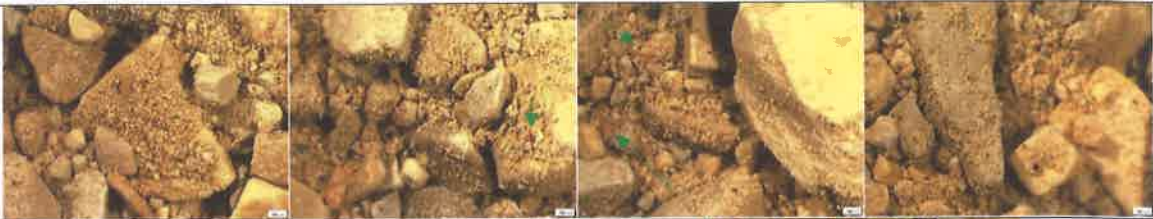
2.2.10 Grupa uzoraka S10



Slika 12 Uzorak S10

Tablica 11 Snimke grupe uzoraka S10

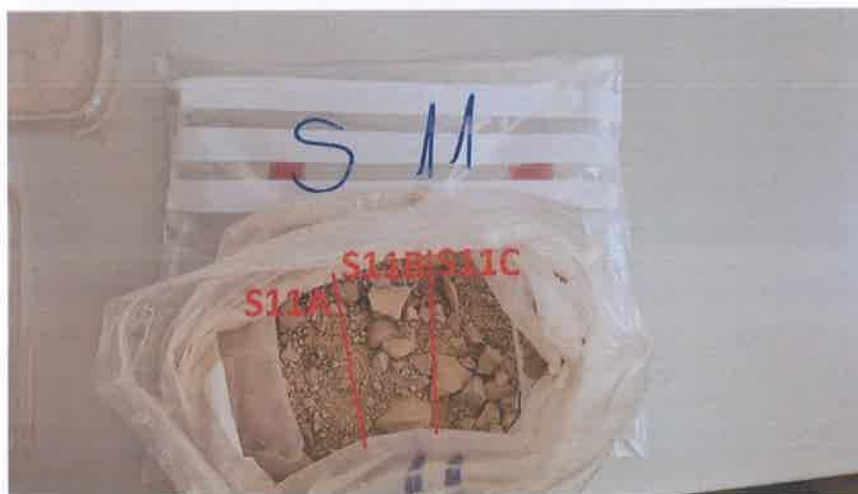


S10B	
S10C	

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog materijala, odnosno mješavine zemljanog materijala i kamenih čestica različite granulacije. U svim poduzorcima utvrđena je prisutnost sitnih crvenih polimernih čestica veličine do približno 20 μm , a mikroskopskim pregledom nije bilo moguće pouzdano utvrditi radi li se o polimernom materijalu.

2.2.11 Grupa uzoraka S11



Slika 13 Uzorak S11

Tablica 12 Snimke grupe uzoraka S11

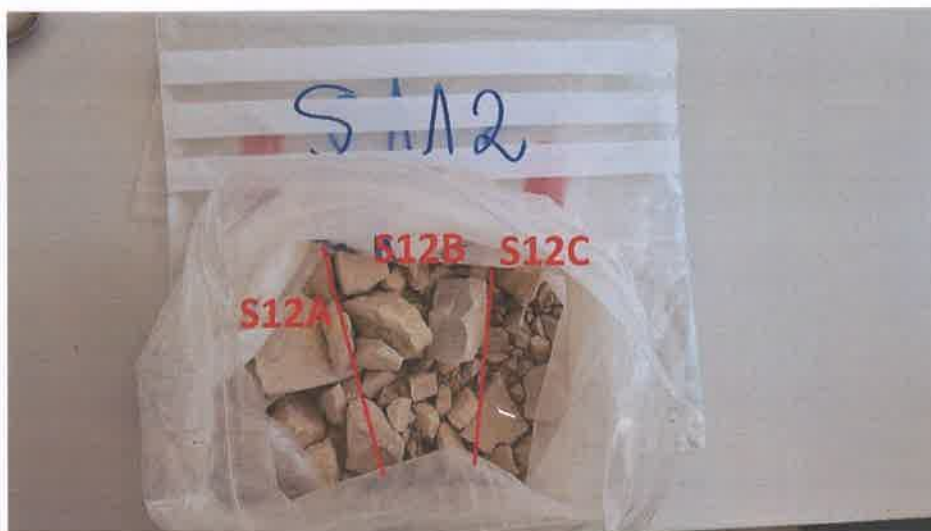
S11A				
S11B				
S11C				

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog materijala, odnosno mješavine zemljanog materijala i kamenih čestica različite granulacije. U svim poduzorcima uočene su sitne crvene polimerne čestice veličine do približno 20 μm , a mikroskopskim pregledom nije bilo moguće pouzdano utvrditi radi li se o polimernom materijalu.

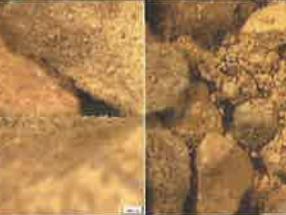
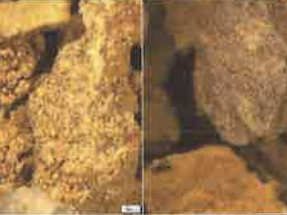
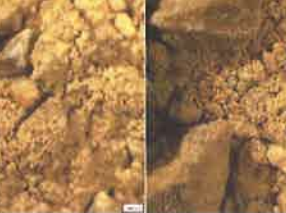
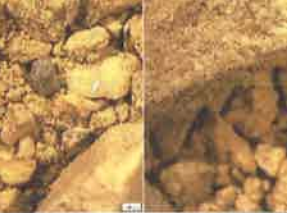
U analiziranim uzorcima dominantna je mineralna komponenta, uz prisutnost sitnih crvenih čestica mikroplastike.

2.2.12 Grupa uzoraka S12



Slika 14 Uzorak S12

Tablica 13 Snimke grupe uzoraka S12

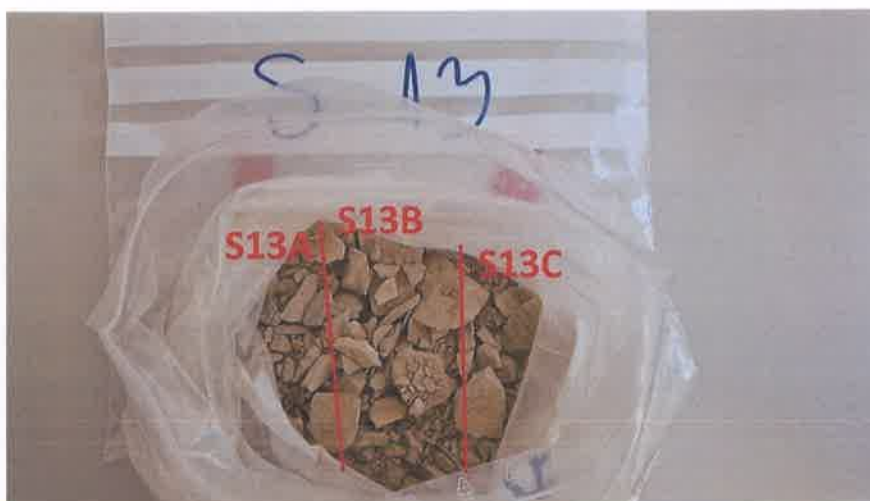
S12A				
S12B				
S12C				

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog materijala, odnosno mješavine zemljanog i kamenog materijala (jalovine). U analiziranim poduzorcima nije utvrđena prisutnost mikroplastike niti drugih jasno

prepoznatljivih polimernih čestica i sintetičkih vlakana. Dominantna je mineralna komponenta, koju čine zemljani i kameni materijal.

2.2.13 Grupa uzoraka S13



Slika 15 Uzorak S13

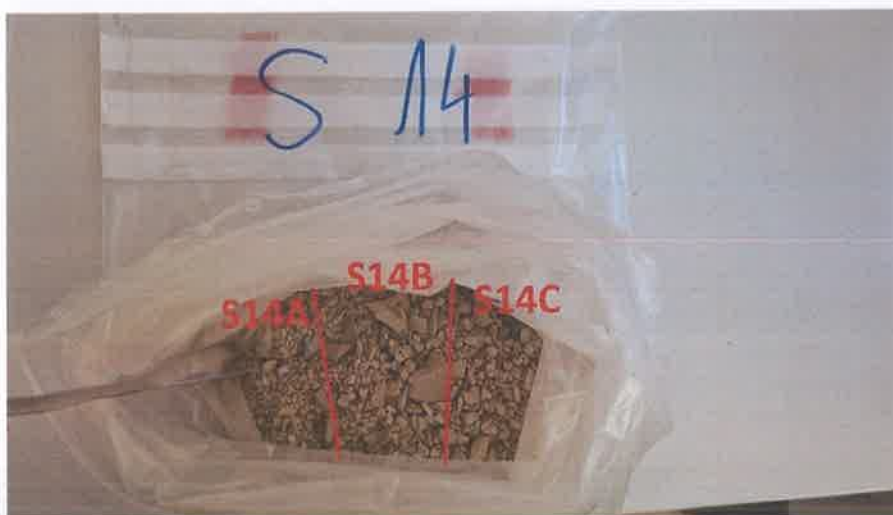
Tablica 14 Snimke grupe uzoraka S13

S13A				
S13B				
S13C				

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da uzorci pretežno sadrže kameni materijal različite granulacij, dok je sitnozrnati zemljani materijal prisutan u manjoj količini. U analiziranim poduzorcima nisu uočene čestice koje bi prema svojim morfološkim obilježjima odgovarale mikroplastici, niti su identificirana sintetička vlakna. Uzorci se stoga mogu okarakterizirati kao materijal pretežno mineralnog sastava.

2.2.14 Grupa uzoraka S14



Slika 16 Uzorak S14

Tablica 15 Snimke grupe uzoraka S14

S14A				
S14B				

S14C	
------	--

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da u uzorcima izrazito prevladava kameni materijal različite granulacije i morfoloških karakteristika, dok je sitnozrnati zemljani materijal prisutan u vrlo maloj količini i makroskopski gotovo nije uočljiv. U analiziranim poduzorcima nisu identificirane čestice koje bi prema svojim morfološkim obilježjima odgovarale mikroplastici, niti su uočena sintetička vlakna. Uzorci se stoga mogu okarakterizirati kao materijal pretežno mineralnog sastava, bez jasno prepoznatljivih polimernih komponenti.

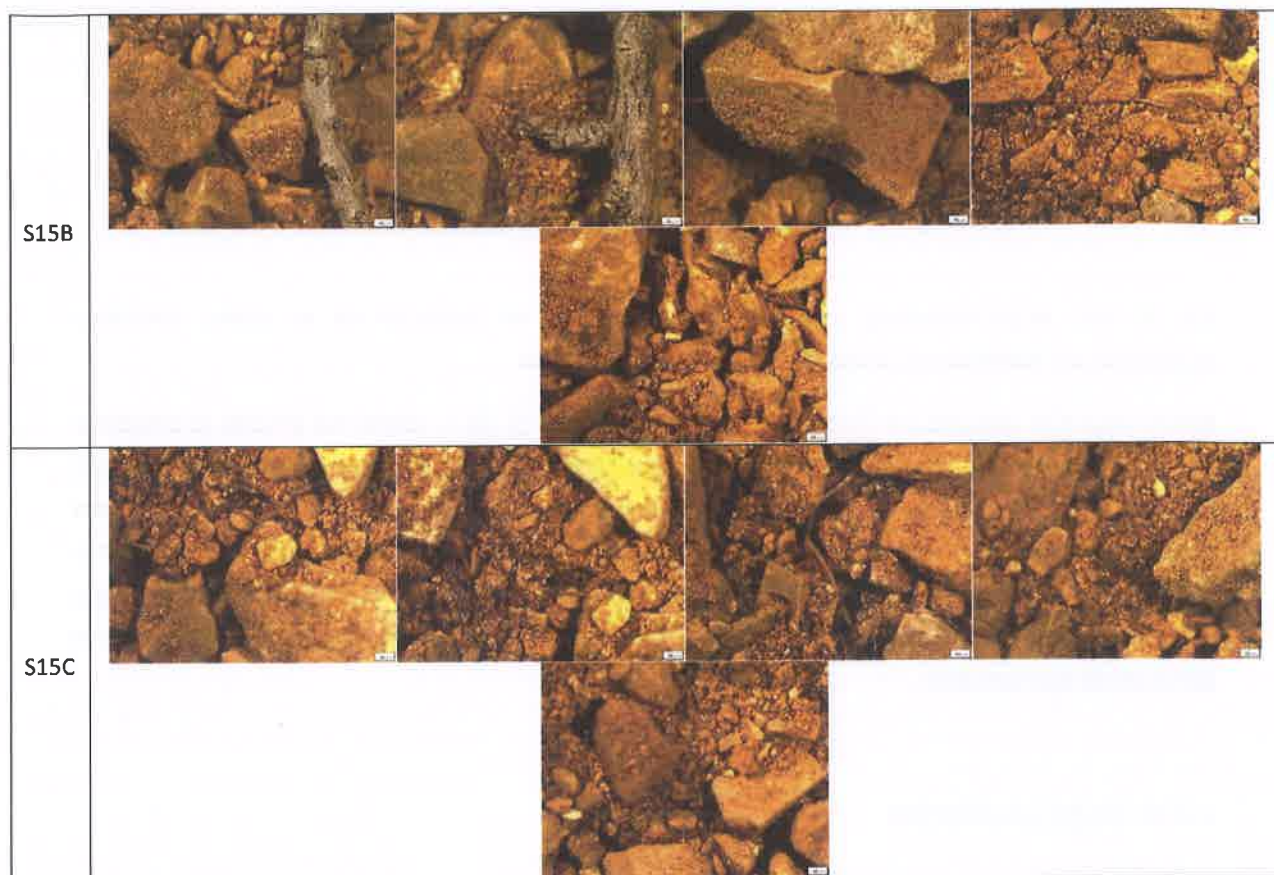
2.2.15 Grupa uzoraka S15



Slika 17 Uzorak S15

Tablica 16 Snimke grupe uzoraka S15

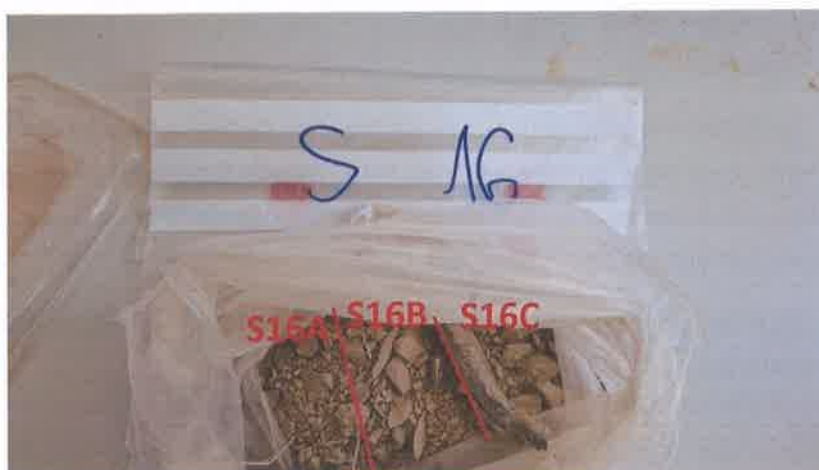
S15 A	
----------	--



Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

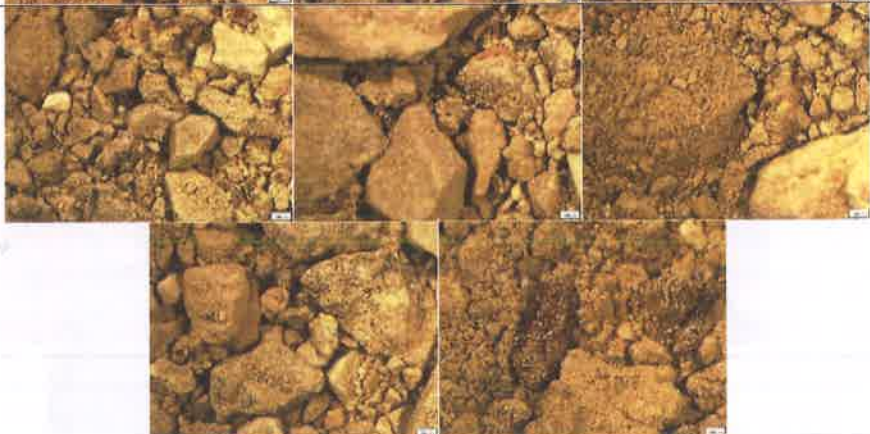
Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da uzorci pretežno sadrže kameni materijal različite granulacije, uz nešto veći udio sitnozrnatog zemljanog materijala. U analiziranim poduzorcima nisu uočene čestice koje bi prema svojim morfološkim obilježjima odgovarale mikroplastici, niti su identificirana sintetička vlakna. Uz mineralnu komponentu, uočena je i manja količina drvenastog organskog materijala u obliku grančica i sitnog korijenja. Ukupni sastav uzoraka stoga karakterizira pretežno mineralni sastav, uz prisutnost manje količine organskog materijala.

2.2.16 Grupa uzoraka S16



Slika 18 Uzorak S16

Tablica 17 Snimke grupe uzoraka S16

S16A	
S16B	
S16C	

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

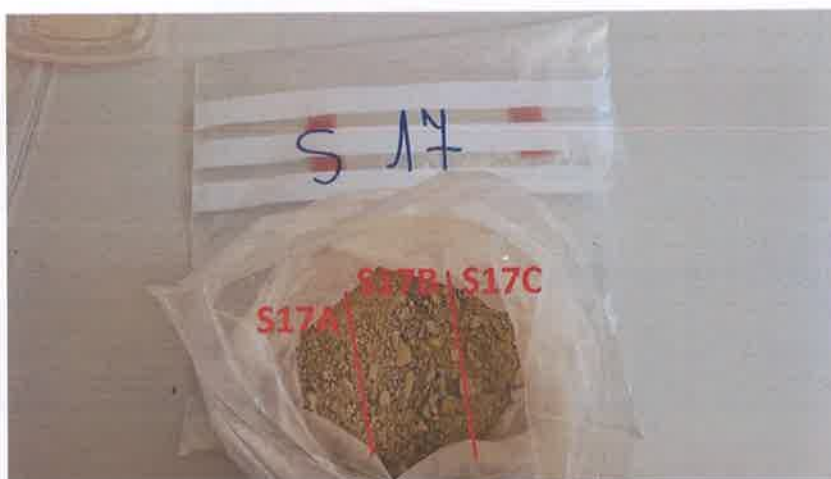
Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno građeni od mineralnog materijala različite granulacije (jalovine). U poduzorcima S16A i S16B nisu uočene

čestice koje bi prema svojim morfološkim obilježjima odgovarale mikroplastici, niti su identificirana sintetička vlakna.

U poduzorku S16C utvrđena je prisutnost polimernih čestica u obliku tvrdih, prozirnih fragmenata crvene i žute boje, veličine približno 400–700 μm . Fragmenti su nepravilnog oblika i jasno se razlikuju od okolne mineralne matrice. Njihova morfologija i optička svojstva upućuju na polimerni karakter, odnosno prisutnost mikroplastike.

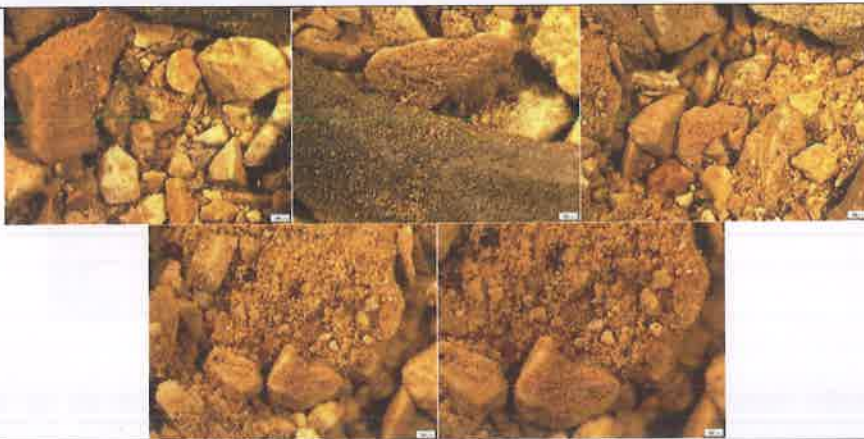
Ukupno, uzorci su pretežno mineralnog sastava, pri čemu je prisutnost mikroplastike utvrđena samo u poduzorku S16C.

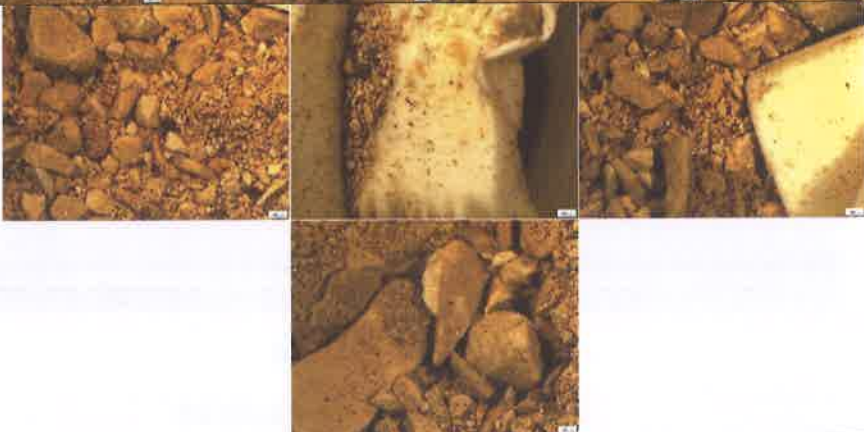
2.2.17 Grupa uzoraka S17



Slika 19 Uzorak S17

Tablica 18 Snimke grupe uzoraka S17

S17A	
------	--

S17B	
S17C	

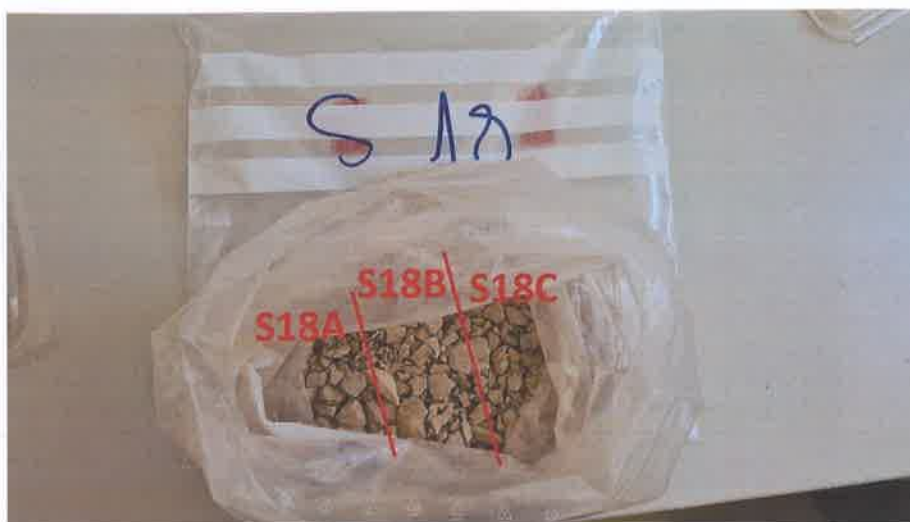
Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno građeni od mineralne matrice (jalovina). U svim uzorcima su identificirani tvrdi polimerni fragmenti bijele boje, na čijoj su površini vidljive adherirane mineralne i druge sitne čestice. Njihova morfološka i optička obilježja jasno ukazuju na prisutnost plastičnog materijala.

Osim navedenih fragmenata, uočene su i sitne crvene čestice koje svojim izgledom odgovaraju mikroplastici.

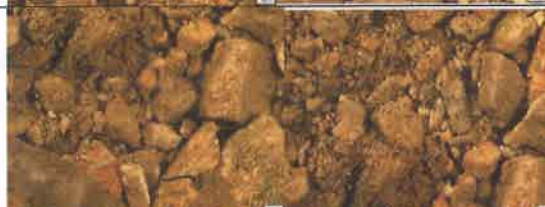
Ukupni sastav uzoraka karakterizira pretežno mineralna matrica uz prisutnost plastičnih fragmenata te sitnih crvenih polimernih čestica.

2.2.18 Grupa uzoraka S18



Slika 20 Uzorak S18

Tablica 19 Snimke grupe uzoraka S18

S18A			
S18B			
S18C			

Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da su uzorci pretežno građeni od mineralne matrice (jalovinu). U uzorcima su uočeni zeleni fragmenti staklastog materijala, čije su površine prekrivene slojem zemljanog i sitnozrnatog mineralnog materijala.

U poduzorku S18B dodatno je uočen fragment ostatka kukca, koji predstavlja organsku komponentu uzorka.

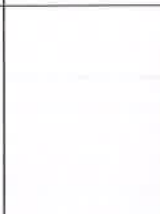
Ukupni sastav uzoraka upućuje na mineralni materijal (jalovinu) onečišćenu staklenim otpadom, uz prisutnost manje količine organske tvari.

2.2.19 Grupa uzoraka S19



Slika 21 Uzorak S19

Tablica 20 Snimke grupe uzoraka S19

S19A				
S19B				



Na temelju makroskopskog pregleda uzoraka može se zaključiti da su uzorci pretežno sastavljeni od mineralnog, odnosno zemljanog materijala.

Mikroskopskim pregledom (mjerilo 100 μm) utvrđeno je da uzorke čini zemljani mineralni materijal (jalovina). U analiziranim uzorcima nisu uočene čestice koje bi prema svojim morfološkim obilježjima odgovarale mikroplastici, niti su identificirane druge jasno prepoznatljive polimerne čestice ili sintetička vlakna.

Ukupni sastav uzoraka odgovara pretežno zemljanom mineralnom materijalu (jalovini).

3 Utjecaj mikroplastike na okoliš

U nastavku je dana tablica sa zaključcima o prisustvu mikroplastike u analiziranim uzorcima tla.

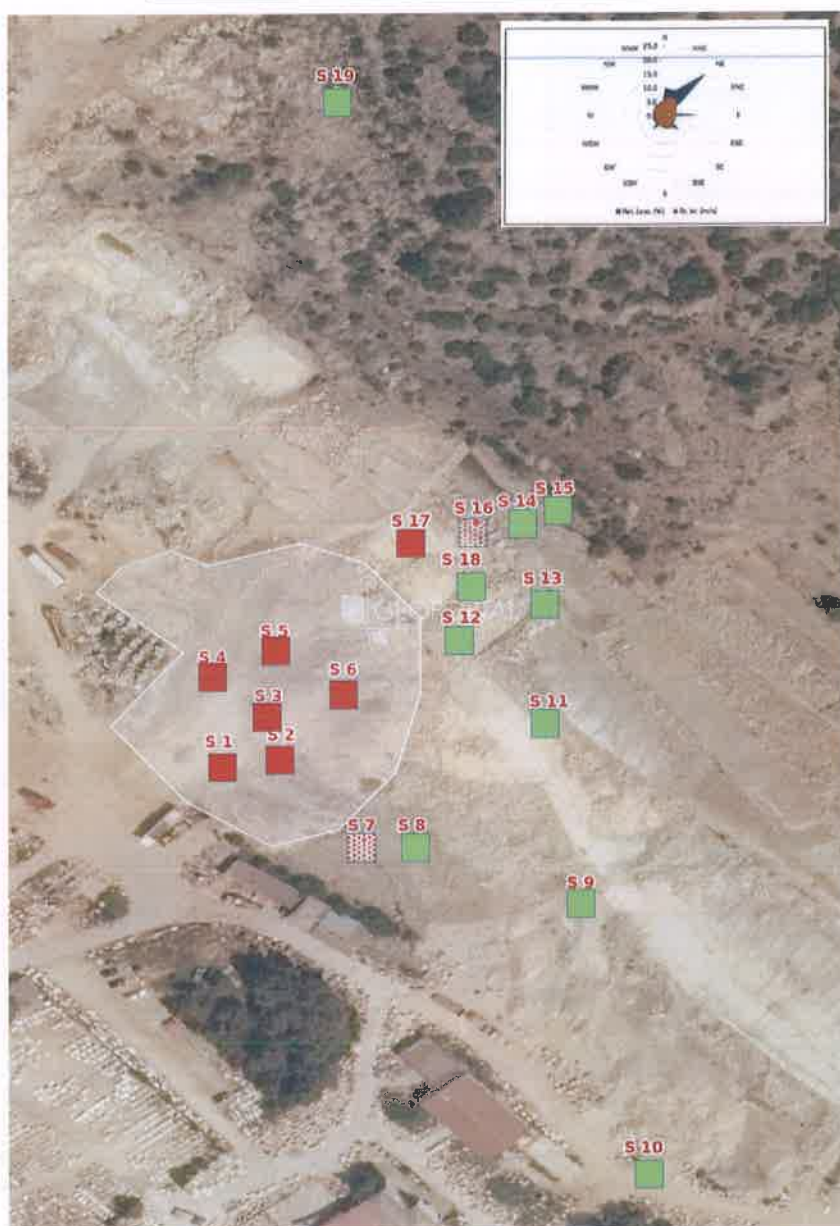
Tablica 21 Prisustvo mikroplastike u mikroskopiranim uzorcima tla

Uzorak	Prisustvo mikroplastike u uzorku
S1A	DA
S1B	DA
S1C	DA
S2A	DA
S2B	DA
S2C	DA
S3A	DA
S3B	DA
S3C	DA
S4A	DA
S4B	DA
S4C	DA
S5A	DA
S5B	DA
S5C	DA
S6A	DA
S6B	DA
S6C	DA
S7A	NE
S7B	DA
S7C	NE
S8A	NE
S8B	NE
S8C	NE
S9A	NE
S9B	NE
S9C	NE
S10A	NE
S10B	NE
S10C	NE

Uzorak	Prisustvo mikroplastike u uzorku
S11A	NE
S11B	NE
S11C	NE
S12A	NE
S12B	NE
S12C	NE
S13A	NE
S13B	NE
S13C	NE
S14A	NE
S14B	NE
S14C	NE
S15A	NE
S15B	NE
S15C	NE
S16A	NE
S16B	NE
S16C	DA
S17A	DA
S17B	DA
S17C	DA
S18A	NE
S18B	NE
S18C	NE
S19A	NE
S19B	NE
S19C	NE

Legenda:

-  - cijeli uzorak sadrži elemente mikroplastike
-  - 2/3 uzorka sadrži mikroplastiku
-  - 1/3 uzorka sadrži mikroplastiku
-  - mikroplastika nije detektirana



Slika 22 Prostorni prikaz rezultata analize na mikroplastiku

Predmetni otpad odložen je unutar prostora bivšeg kamenoloma, na dijelu terena koji se nalazi na višoj nadmorskoj visini u odnosu na njegov neposredni okoliš. Iza tijela odlagališta nalazi se

udubljeni dio kamenoloma, odnosno depresija u terenu, dok se dalje od odlagališta uzdiže visoka stijenska barijera. Njezina je visina veća od visine tijela odlagališta, zbog čega predstavlja fizičku prepreku izravnom prijenosu čestica prema udaljenijim dijelovima prostora. Takva konfiguracija terena bitno utječe na smjer i doseg širenja čestica s površine odloženog otpada.

Uzorci S1–S6 uzeti su unutar područja odlaganja otpada (označeni na kartografskom prikazu prozirno bijelom površinom). U svim njihovim poduzorcima utvrđeni su polimerni fragmenti i sintetička vlakna različitih veličina, boja i morfoloških obilježja. Njihova brojnost, raznolikost i izraženi znakovi mehaničkog trošenja potvrđuju da odloženi otpad predstavlja izvor sekundarne mikroplastike.

Izvan granica tijela odlagališta jasno prepoznatljivi polimerni fragmenti utvrđeni su u uzorku S7B, uzetom neposredno uz južni rub odlagališta, te u uzorcima S16C i S17, uzetima sjeverno odnosno sjeveroistočno od tijela odlagališta. Navedena mjesta uzorkovanja nalaze se približno 20–30 m od njegova ruba i na nižoj nadmorskoj visini u odnosu na odloženi materijal.

U uzorcima S7, S10, S11 i S17 uočene su i vrlo sitne crvene čestice. Zbog njihovih malih dimenzija i ograničenja optičkog mikroskopiranja nije bilo moguće pouzdano odrediti njihov sastav i podrijetlo. Stoga se one mogu evidentirati kao čestice suspektne na polimerni materijal, ali se bez dodatne instrumentalne analize ne mogu sa sigurnošću klasificirati kao mikroplastika. Ti nalazi zbog toga nisu uzeti kao samostalan dokaz dosega širenja mikroplastike iz tijela odlagališta.

Prema ruži vjetrova za predmetno područje dominantan je smjer strujanja zraka prema sjeveroistoku. Tom se smjeru prostorno mogu pridružiti nalazi u uzorcima S16 i S17, u kojima su utvrđeni jasno prepoznatljivi polimerni fragmenti. Budući da su ti uzorci uzeti na nižoj nadmorskoj visini od površine odloženog otpada, njihov položaj omogućuje prijenos i taloženje lakših čestica nošenih dominantnim strujanjem zraka. Prostorni raspored navedenih nalaza stoga je u skladu s mogućim prijenosom mikroplastike s tijela odlagališta prema sjeveroistoku.

Uzorci S12–S15 i S18 također su uzeti u prostoru sjeverno odnosno sjeveroistočno od tijela odlagališta, ali u njima mikroplastika nije utvrđena. Uzorci S14 i S15 uzeti su s gotovo okomite stijenske površine, na kojoj nema dovoljno sitnozrnatog materijala u kojem bi se čestice mogle zadržati. Oborinske vode i gravitacija s takve površine kontinuirano odnose sitne čestice prema nižim dijelovima terena. Izostanak mikroplastike u tim uzorcima stoga ne isključuje njezin prijenos dominantnim strujanjem zraka, nego može biti posljedica nepovoljnih uvjeta za njezino taloženje i trajno zadržavanje na okomitoj stijeni.

Uzorak S19 uzet je približno 150 m od ruba tijela odlagališta, a mikroplastika u njemu nije utvrđena. Između tijela odlagališta i lokacije uzorka S19 nalazi se udubljeni dio kamenoloma, nakon kojega se, približno 45 m od ruba tijela odlagališta, uzdiže stijenska barijera viša od odloženog otpada. Stijena predstavlja značajnu prepreku daljnjem izravnom prijenosu čestica

dominantnim strujanjem zraka prema udaljenijem prostoru. Izostanak mikroplastike u uzorku S19 može se povezati s kombiniranim utjecajem njegove veće udaljenosti i zaštitnim djelovanjem stijenske barijere.

Uz prijenos vjetrom, važan mehanizam širenja mikroplastike na predmetnoj lokaciji predstavljaju oborinske vode. Budući da se tijelo odlagališta nalazi na višoj nadmorskoj visini, oborinske vode mogu ispirati sitne polimerne čestice s njegove površine i prenositi ih niz padinu prema udubljenom dijelu kamenoloma i drugim niže položenim mjestima. Time se mogu objasniti nalazi u uzorcima S7 i S8, koji se nalaze neposredno uz južni rub i ispod razine tijela odlagališta, izvan dominantnog sjeveroistočnog smjera strujanja zraka.

Predmetno područje izgrađeno je od karbonatnih stijena i ima obilježja krškog terena. Površina je neravna, s pukotinama, udubljenjima i mjestimičnim nakupinama sitnozrnatog zemljanog materijala. Oborinske vode mogu čestice mikroplastike premještati po površini, koncentrirati ih u nižim dijelovima terena i pukotinama te ih unositi u dublje dijelove stijenske podloge. Zbog pukotinske propusnosti krškog terena ne može se isključiti ni njihov daljnji prijenos u podzemlje, iako smjer i doseg takvog prijenosa nije moguće utvrditi na temelju provedenog površinskog uzorkovanja.

Provedena analiza potvrđuje da odloženi otpad predstavlja izvor mikroplastike te da su jasno prepoznatljivi polimerni fragmenti utvrđeni i izvan njegova tijela, na lokacijama udaljenima približno 20–30 m od ruba. Nalazi sjeverno i sjeveroistočno od odlagališta prostorno su usklađeni s dominantnim strujanjem zraka prema sjeveroistoku, dok nalazi na niže položenim mjestima uz rub odlagališta upućuju na značajnu ulogu ispiranja i prijenosa oborinskim vodama. Visoka stijenska barijera ograničava izravni prijenos prema udaljenijim dijelovima prostora, ali se čestice mogu zadržavati i nakupljati u udubljenom dijelu kamenoloma te u pukotinama krške stijenske podloge.

Na temelju provedenih istraživanja nije moguće kvantificirati ukupnu količinu mikroplastike raspršene u okolišu niti točno odrediti razdoblje i intenzitet njezina prijenosa. Ipak, potvrđeni nalazi izvan tijela odlagališta pokazuju da je do lokalnog širenja već došlo. Ako otpad ostane na lokaciji izložen djelovanju dominantnog vjetra, oborinskih voda i daljnjeg mehaničkog trošenja, postoji mogućnost nastavka stvaranja i prijenosa mikroplastike u neposredni okoliš i pukotinsku kršku podlogu.

4 Zaključak i mišljenje

Mikroskopskom analizom 19 uzoraka površinskog materijala, od kojih je svaki podijeljen na tri poduzorka, utvrđena je prisutnost čestica koje prema svojim morfološkim i optičkim obilježjima odgovaraju mikroplastici. U uzorcima S1–S6, uzetima unutar granica tijela odloženog otpada, polimerni fragmenti i sintetička vlakna potvrđeni su u svim analiziranim poduzorcima. Njihova brojnost, morfološka raznolikost i vidljivi znakovi mehaničkog trošenja ukazuju da odloženi otpad predstavlja izvor sekundarne mikroplastike.

Tijelo odloženog otpada nalazi se na višoj nadmorskoj visini u odnosu na neposredni okolni teren. Iza njega nalazi se udubljeni dio kamenoloma, dok se dalje od odlagališta uzdiže visoka stijenska barijera, viša od tijela odlagališta. Takva konfiguracija terena utječe na strujanje zraka, površinsko otjecanje oborinskih voda te mjesta taloženja i zadržavanja sitnih čestica.

Izvan granica tijela odlagališta jasno prepoznatljivi polimerni fragmenti utvrđeni su u poduzorku S7B te u uzorcima S16C i S17. Navedene lokacije nalaze se u neposrednom okruženju odlagališta, na udaljenosti od približno 20–30 m od njegova ruba i na nižoj nadmorskoj visini od odloženog materijala.

U uzorcima S7, S10, S11 i S17 uočene su i vrlo sitne crvene čestice. Zbog njihovih malih dimenzija i ograničenja primijenjene metode optičkog mikroskopiranja nije moguće pouzdano odrediti njihov sastav ni podrijetlo. One se stoga mogu evidentirati kao čestice suspektne na polimerni materijal, ali se bez dodatne instrumentalne analize ne mogu pouzdano klasificirati kao mikroplastika.

Ruža vjetrova pokazuje dominantno strujanje zraka prema sjeveroistoku. Tom su smjeru prostorno izloženi uzorci S16 i S17, u kojima su utvrđeni jasno prepoznatljivi polimerni fragmenti. Budući da su mjesta uzorkovanja na nižoj nadmorskoj visini od površine odloženog otpada, njihov položaj omogućuje prijenos i taloženje čestica nošenih dominantnim strujanjem zraka. Raspored potvrđenih nalaza u tim uzorcima stoga je u skladu s mogućim prijenosom mikroplastike s tijela odlagališta prema sjeveroistoku.

U uzorcima S12–S15, koji se također nalaze sjeverno odnosno sjeveroistočno od odlagališta, mikroplastika nije utvrđena. Uzorci S14 i S15 uzeti su s gotovo okomite stijenske površine, na kojoj je prisutna vrlo mala količina sitnozrnatog materijala. Oborinske vode i gravitacija s takve površine lakše uklanjaju sitne čestice, zbog čega ne postoje povoljni uvjeti za njihovo taloženje i trajno zadržavanje. Negativni nalazi u tim uzorcima stoga ne isključuju mogućnost povremenog prijenosa čestica u tom smjeru.

Uzorak S19 uzet je približno 150 m od ruba tijela odlagališta, a mikroplastika u njemu nije utvrđena. Između tijela odlagališta i mjesta uzorkovanja S19 nalazi se udubljeni dio

kamenoloma, nakon kojega se, približno 45 m od ruba tijela odlagališta, uzdiže stijenska barijera viša od odloženog otpada. Ona predstavlja značajnu fizičku prepreku izravnom prijenosu čestica zrakom prema lokaciji S19. Izostanak mikroplastike u tom uzorku može se povezati s većom udaljenošću i zaštitnim djelovanjem stijenske barijere.

Osim prijenosa vjetrom, važan mogući mehanizam širenja mikroplastike predstavljaju oborinske vode. Budući da se otpad nalazi na višoj nadmorskoj visini, oborinske vode mogu ispirati polimerne čestice s njegove površine i prenositi ih prema nižim dijelovima terena. Na taj se način može objasniti nalaz u poduzorku S7B, smještenom neposredno uz rub i ispod razine tijela odlagališta.

Predmetna lokacija ima obilježja krškog terena, s ogoljenom karbonatnom stijenskom podlogom, pukotinama, udubljenjima i mjestimičnim nakupinama sitnozrnatog materijala. Oborinske vode mogu čestice premještati po površini, koncentrirati ih u nižim dijelovima terena i unositi u pukotine karbonatne stijenske mase. Zbog pukotinske propusnosti krškog terena ne može se isključiti mogućnost njihova daljnjeg prijenosa u podzemlje. Međutim, smjer, dubinu i doseg takvog prijenosa nije moguće utvrditi na temelju provedenog površinskog uzorkovanja.

Utvrđena prisutnost mikroplastike izvan granica tijela odlagališta predstavlja nastalu lokalnu promjenu u okolišu. Kao pouzdano potvrđeni opseg širenja mogu se uzeti nalazi u neposrednom okruženju, na udaljenosti približno 20–30 m od ruba tijela odlagališta.

Nastala promjena može se smatrati dugotrajnom jer se mikroplastika u okolišu sporo razgrađuje, dok se veći polimerni fragmenti mogu nastaviti usitnjavati u manje čestice. Promjena je djelomično reverzibilna. Uklanjanjem otpada i sanacijom lokacije uklonio bi se glavni izvor daljnjeg stvaranja i širenja mikroplastike. Međutim, potpuno uklanjanje već raspršenih čestica nije realno očekivati zbog njihove male veličine, neujednačene raspodjele te mogućeg zadržavanja u udubljenjima i pukotinama krške stijenske podloge.

Razina opasnosti za okoliš nije zanemariva zbog postojanosti mikroplastike, mogućnosti daljnjeg usitnjavanja i njezina prijenosa vjetrom i oborinskim vodama.

Budući da je mikroplastika potvrđena izvan granica tijela odlagališta, njezin lokalni prijenos predstavlja već nastalu promjenu u okolišu, a ne samo mogućnost budućeg utjecaja. Ako otpad ostane na lokaciji izložen djelovanju dominantnog sjeveroistočnog strujanja zraka, oborinskih voda i daljnjeg mehaničkog trošenja, postoji značajna vjerojatnost nastavka stvaranja i lokalnog širenja mikroplastike.

Zaključno, odloženi otpad predstavlja potvrđeni izvor mikroplastike. Njezino širenje pouzdano je utvrđeno u neposrednom okolišu, najmanje do približno 20–30 m od ruba tijela odlagališta. Nalazi u uzorcima S16 i S17 prostorno su usklađeni s dominantnim strujanjem zraka prema sjeveroistoku, dok nalaz u poduzorku S7B upućuje na mogući prijenos oborinskim vodama prema niže položenom terenu. Visoka stijenska barijera ograničava izravan prijenos prema



udaljenijim dijelovima prostora. Uklanjanjem odloženog otpada i sanacijom lokacije značajno bi se smanjila mogućnost daljnjeg nastajanja i širenja mikroplastike u okoliš.

5 Popis tablica i slika

Slika 1 Lokacija odloženog otpada	3
Slika 2 Lokacije mjesta uzrokovanja	4
Slika 3 Uzorak S1	7
Slika 4 Uzorak S2	8
Slika 5 Uzorak S3	10
Slika 6 Uzorak S4	11
Slika 7 Uzorak S5	13
Slika 8 Uzorak S6	14
Slika 9 Uzorak S7	16
Slika 10 Uzorak S8	18
Slika 11 Uzorak S9	19
Slika 12 Uzorak S10	20
Slika 13 Uzorak S11	21
Slika 14 Uzorak S12	23
Slika 15 Uzorak S13	24
Slika 16 Uzorak S14	25
Slika 17 Uzorak S15	26
Slika 18 Uzorak S16	28
Slika 19 Uzorak S17	29
Slika 20 Uzorak S18	31
Slika 21 Uzorak S19	32
Slika 22 Prostorni prikaz rezultata analize na mikroplastiku	35

Tablica 1 GPS lokacije mjesta uzorkovanja	4
Tablica 2 Snimke grupe uzoraka S1	7
Tablica 3 Snimke grupe uzoraka S2	8
Tablica 4 Snimke grupe uzoraka S3	10
Tablica 5 Snimke grupe uzoraka S4	12
Tablica 6 Snimke grupe uzoraka S5	13
Tablica 7 Snimke grupe uzoraka S6	15
Tablica 8 Snimke grupe uzoraka S7	16
Tablica 9 Snimke grupe uzoraka S8	18
Tablica 10 Snimke grupe uzoraka S9	19
Tablica 11 Snimke grupe uzoraka S10	20
Tablica 12 Snimke grupe uzoraka S11	22
Tablica 13 Snimke grupe uzoraka S12	23
Tablica 14 Snimke grupe uzoraka S13	24

Tablica 15 Snimke grupe uzoraka S14	25
Tablica 16 Snimke grupe uzoraka S15	26
Tablica 17 Snimke grupe uzoraka S16	28
Tablica 18 Snimke grupe uzoraka S17	29
Tablica 19 Snimke grupe uzoraka S18	31
Tablica 20 Snimke grupe uzoraka S19	32
Tablica 21 Prisustvo mikroplastike u mikroskopiranim uzorcima tla	34

