



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekane@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



**Nalaz i mišljenje vještaka zaštite okoliša za lokaciju
industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50**

Varaždin, ožujak 2026.



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181376 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



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 7. kolovoza 2025)
VRSTA DOKUMENTA	Vještački nalaz zaštite okoliša za k.č. 591/3, 599/4, 59112, 599118, 599117, 599/5, 599/6, 599/3, 599/2, 599/19, 602, 591/22, 591/15, 591/20, 591/27, 591/23, 596, 597, 598, 599/1 sve k.o. Divoselo, te po potrebi i na drugim okolnim nekretninama
ZADATAK	Vještačenje zaštite okoliša
BROJ DOKUMENTA	Klasa: 303-01/25-01/22 Urbroj: 2186-73-12-26-35
Datum:	24. ožujak 2026.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Povod izrade nalaza i mišljenja vještaka	1
1.2	Opis lokacije i problematike onečišćenja	3
1.3	Metodološki pristup u provedbi vještačenja	8
1.3.1	Neinvazivni istražni radovi	8
1.3.2	Invazivni istražni radovi	8
1.3.3	Uzorkovanje	11
1.3.4	Mjerenje radioaktivnosti	28
1.3.5	Analiza uzoraka	28
1.3.5.1	Analiza crne hrpe – metodologija utvrđivanja parametara	30
1.3.5.2	Analiza iskopa i bušotina – metodologija utvrđivanja parametara	35
1.3.6	Utvrđivanje opasnih svojstava otpada	38
1.3.6.1	Opasna H svojstva otpada	38
1.3.6.2	Metoda utvrđivanja H14 - ekotoksičnost	42
1.3.6.3	Metodologija akutne toksičnosti (inhibicija pokretljivosti Daphnia magna)	47
1.3.7	Geodetsko snimanje	47
1.3.8	Druge relevantne informacije i podaci	48
2	Opis stanja na lokaciji Gospić	49
2.1	Prostorno - planska dokumentacija	49
2.2	Determinacija otpada na odlagalištu	54
2.2.1	Glomazni otpad odložen na lokaciji	54
2.2.2	Crne hrpe	54
2.2.2.1	Rezultati analize testa procjeđivanja	55
2.2.2.2	Rezultati kvantitativne analize i energetske vrijednosti	57
2.2.2.3	Rezultati analize - granulometrija, vodopropusnost, pepeo, vlažnost, udio metala i gustoća čvrstih čestica – crna hrpa (J uzorci)	58
2.2.2.4	Mikroskopiranja crne hrpe	60
2.2.2.5	H svojstvo – crna hrpa	62



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



2.2.2.6	Količina otpada - crnih hrpa	65
2.2.3	Otpad zakopan na lokaciji.....	65
2.2.3.1	Rezultati analize testa procjeđivanja za iskope i bušotine (uzorci I i H)	66
2.2.3.2	Rezultati kvantitativne analize i energetske vrijednosti iskopa	71
2.2.3.3	Rezultati analize - granulometrija, vodopropusnost, pepeo, vlažnost, udio metala 73	
2.2.3.4	Rezultati sortiranja zakopanog otpada	80
2.2.3.5	H svojstva bušotine i iskopi.....	93
2.2.3.6	Količina otpada zakopanog na lokaciji.....	95
2.2.4	Rezultati mikrobiološke analize otpada.....	99
2.2.5	Kumulativni prikaz rezultata analiza za crnu hrpu i otpad zakopan na lokaciji 100	
2.2.6	Otpad u objektima i u „big-bag“ vrećama.....	102
2.3	Geološke i hidrogeološke karakteristike lokacije.....	103
2.4	Karakterizacija tla	110
2.5	Biljke	114
2.5.1	Povijesni prikaz uklanjanja biljnog pokrova na lokaciji	116
2.5.2	Biljni pokrov lokacije.....	119
2.6	Zaštićena područja i staništa	126
2.6.1	Zaštićena područja	126
2.6.2	Staništa	131
2.7	Fauna	135
2.8	Kvaliteta zraka.....	137
3	Utjecaj otpada na sastavnice elemente okoliša	139
3.1	Metodologija	139
3.1.1	Metodologija provedbe vještačenja utjecaja na okoliš	139
3.1.2	Razgraničenje procjene stanja i utjecaja	140
3.1.3	Ograničenja procjene i primjena stručne prosudbe.....	140
3.2	Karakterizacija otpada	142
3.2.1	Mjerenje radioaktivnosti	142



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



3.2.2	Crna hrpa	142
3.2.2.1	Fizikalna i strukturna svojstva crne hrpe	143
3.2.2.2	Pepeo, organska tvar i energetska svojstva	144
3.2.2.3	Analiza točke zapaljivosti	145
3.2.2.4	Testovi procjeđivanja i mobilnost metala - crna hrpa	145
3.2.2.5	Sadržaj teških metala u crnoj hrpi	147
3.2.2.6	Zaključak	149
3.2.2.7	Interpretacija rezultata mikroskopiranja crne hrpe	149
3.2.2.8	Izračun HP 14 – ekotoksičnost crne hrpe – J kompozitni uzorak.....	153
3.2.3	Otpad zakopan na lokaciji.....	155
3.2.3.1	Fizikalna i strukturna svojstva zakopanog otpada	155
3.2.3.2	Pepeo, organska tvar i energetska svojstva zakopanog otpada	157
3.2.3.3	Analiza točke zapaljivosti	159
3.2.3.4	Testovi procjeđivanja i mobilnost metala u zakopanom otpadu.....	159
3.2.3.5	Sadržaj teških metala u zakopanom otpadu	160
3.2.3.6	Zaključak	161
3.2.3.7	Interpretacija rezultata mikroskopiranja bušotina i iskopa	162
3.2.3.8	Izračun HP 14 – ekotoksičnost crne hrpe – I i H kompozitni uzorak.....	197
3.2.4	Konačna karakterizacija	198
3.2.4.1	Crna hrpa	198
3.2.4.2	Zakopani otpad	199
3.3	Utjecaj na tlo	202
3.3.1	Reakcija tla (pH).....	202
3.3.2	Teški metali u tlu.....	206
3.3.3	Zaključak	222
3.3.4	Utjecaj otpada na tlo	223
3.4	Utjecaj na floru i faunu	229
3.4.1	Utjecaj odloženog otpada na floru	229
3.4.2	Utjecaj na faunu	236



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



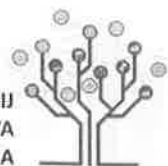
3.4.3	Utjecaj na Natura područje i staništa	239
3.5	Utjecaj na zrak	243
3.6	Utjecaj na podzemne vode	248
3.6.1	Geološko-hidrogeološki okvir lokacije	248
3.6.2	Položaj i svojstva otpada u hidrogeološkom profilu	249
3.6.3	Stanje podzemnih voda prema rezultatima monitoringa	250
3.7	Mikroplastika - rekapitulacija	255
3.8	Kumulativni utjecaj	258
3.9	Utjecaj na zdravlje ljudi	263
4	Nalaz i mišljenje vještaka	269
4.1	Utvrdene činjenice	269
4.2	Sažeti prikaz nalaza	272
4.2.1	Karakterizacija otpada	272
4.2.1.1	Crne hrpe	272
4.2.1.2	Zakopani otpad	273
4.2.1.3	Glomazni otpad	274
4.2.2	Otpad kao osnovni izvor utjecaja	274
4.2.3	Sažeti prikaz utjecaja otpada na okoliš i zdravlje ljudi	274
5	Zaključak i mišljenje	277
5.1	Opseg, vrsta, sastav, svojstva i količina otpada	278
5.2	Promjene u okolišu	280
5.3	Opseg, trajnost i reverzibilnost štete	280
5.4	Prekoračenja regulatornih vrijednosti	282
5.5	Razina opasnosti i vjerojatnost nastanka štete	282
5.6	Zaključak	284
6	Popis literature	285
7	Popis slika	293
8	Popis tablica	299
9	Prilozi	302



Sveučilište u Zagrebu **GEOTEHNIČKI FAKULTET**

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



1 Uvod

1.1 Povod izrade nalaza i mišljenja vještaka

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu u predmetu Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 protiv _____ i dr. zbog kaznenih djela iz članka 328. stavka 1. Kaznenog zakona, provodio je vještačenja iz područja zaštite okoliša, geotehnike i hidrogeologije te je tijekom pojedinih dokaznih radnji pružao stručnu pomoć policijskim službenicima, a sve temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 9. svibnja 2025., dana 26. i 27. svibnja 2025. proveden je očevid na katastarskim česticama u k.o. Divoselo i okolici radi utvrđivanja količine i prostorne rasprostranjenosti otpada koji je nasipan i zakopan u tlo, utvrđivanja postojanja podzemnih voda te pronalaska tragova otpada u okolišu, pri čemu su vještaci proveli geotehničku i hidrotehničku prospekciju terena uz odgovarajuća mjerenja i snimanja.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 2. srpnja 2025., tijekom srpnja 2025. godine provedena je prva faza vještačenja zaštite okoliša, koja je obuhvatila analizu geotehničkih i hidrogeoloških snimanja i mjerenja provedenih tijekom očevida od 26. i 27. svibnja 2025., te stručnu obradu prikupljenih podataka radi procjene stanja tla i podzemnih voda.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 7. kolovoza 2025., tijekom rujna 2025. godine provedena je druga faza vještačenja zaštite okoliša, kojom je izvršena preliminarna procjena ekološkog rizika te utvrđivan potencijalni štetni utjecaj otpada prisutnog u industrijskom kompleksu u Gospiću, Bilajska 50, na tlo, vegetaciju, površinske i podzemne vode, zrak i druge sastavnice okoliša, uključujući moguće posljedice na zdravlje ljudi, u odnosu na otpad pronađen u silosima, poslovnim zgradama, na otvorenom prostoru, u vrećama i u zemljanim nasipima.

Ovaj nalaz i mišljenje daje se temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 29. rujna 2025., kojim je Geotehničkom fakultetu, radi davanja nalaza i mišljenja u ovom predmetu, povjereno vještačenje zaštite okoliša u odnosu na sljedeće zadatke:

1. temeljem opažanja prikupljenih tijekom očevida provedenog dana 26. i 27. svibnja 2025. po nalogu Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta (Kis-US-12/2025 od 9. svibnja 2025.), rezultata analiza geotehničkih i hidrotehničkih snimanja



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



- i mjerenja po nalogu Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta (Kis-US-12/2025 od 2. srpnja 2025.), sadržaja dokumentacije i podataka iz spisa predmeta, rezultata pretrage provedene temeljem naloga Županijskog suda u Zagrebu te analiza uzoraka, utvrditi sve promjene u okolišu u odnosu na nekretnine u Gospiću, Bilajska 50, oznaka k.č. 591/3, 599/4, 599/5, 599/6, 599/17, 599/18, 599/3, 599/2 i 591/2 sve k.o. Divoselo, zatim nekretnine oznaka k.č. 599/3, 598, 597, 596, 591/22, 591/15, 591/23, 591/14, 591/13, 594, 585, 579/1, 579/2, 563, 599/2, 602, 599/1, 606/42, 603, 606/12, 595/8, 595/3, 595/9, 595/11, 535/3, 535/2, 590, 703/5, 704/2, 704/1 i 702, sve k.o. Divoselo te oznaka k.č. 5287/1, 5247, 5248/1 i 5253/1, sve k.o. Gospić, te po potrebi i u odnosu na druge okolne nekretnine, posebice oštećenja tla, vode, zraka, podzemlja, biološke raznolikosti, uključujući divlje vrste biljaka, životinja i gljiva i drugih elemenata okoliša, sve uslijed nepropisno zbrinutog otpada na način da se utvrdi opseg, trajnost i reverzibilnost štete, zatim opseg, vrsta, sastav, svojstva i količina otpada, kao i prekoračenja propisanih regulatornih pragova, vrijednosti i/ili parametara, te posredno razina opasnosti, odnosno vjerojatnost nastanka štete za okoliš, biološku raznolikost i zdravlje ljudi,
2. utvrditi prisutnost, smjer, dinamiku kretanja i količinu podzemnih voda te razinu onečišćenja mjerenjem putem piezometra na nekretnini k.č. 595/2 upisanoj u z.k. uložak broj 3407 k.o. Divoselo te drugim odgovarajućim metodama, te utvrditi sve druge relevantne karakteristike tla, podzemnih slojeva i podzemnih voda koje su od značaja za procjenu okolišnih i sanacijskih rizika,
 3. očitovati se na sve druge činjenice i okolnosti na koje se naiđe tijekom vještačenja, koje su u svezi s predmetnom inkriminacijom,
 4. pružiti stručnu pomoć policijskim službenicima Ravnateljstva policije, Uprave kriminalističke policije i policijskim istražiteljima prilikom izuzimanja uzoraka otpada, tla i drugih tvari tijekom provođenja dokaznih radnji pretraga i očevida na nekretninama navedenim u podtočki 1. točke III. naloga, u svrhu ispravnog prikupljanja i skladištenja uzoraka radi daljnje kemijsko-fizikalne, toksikološke i druge analize te vještačenja.
 5. provesti geodetsko snimanje te analizu uzoraka izuzetih tijekom pretrage na nekretninama navedenim u podtočki 1. točke III. naloga, sortiranjem, granulometrijskom analizom, određivanjem gustoće, mjerenjima te drugim radnjama, radi utvrđivanja ključnog broja uzoraka otpada, kategorizacije otpada, mogućeg načina zbrinjavanja i dr., sve u svrhe zadatka vještačenja navedenog u podtočki 1. točke III. naloga.

1.2 Opis lokacije i problematike onečišćenja

Lokacija koja je bila predmet vještačenja predstavlja napušteni industrijski kompleks PPK Velebit koji se koristio u poljoprivredno industrijskoj funkciji odnosno kao skladišno/proizvodni prostor i prostor silosa. Lokacija se dugo nije koristila te je bila djelomično devastirana. 2020. godine ponovno započinje korištenje industrijskog kompleksa.

Vještaci su bili na lokaciji i tijekom očevida i pretraga pružali stručnu pomoć policijskim službenicima u pronalasku, dokumentiranju i pravilnom uzorkovanju otpada, tla, vode i vegetacije te provodili druge radnje, kako je navedeno u nastavku:

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 9. svibnja 2025., dana 26. i 27. svibnja 2025. proveden je očevid na katastarskim česticama u k.o. Divoselo i okolici radi utvrđivanja količine i prostorne rasprostranjenosti otpada koji je nasipan i zakopan u tlo, utvrđivanja postojanja podzemnih voda te pronalaska tragova otpada u okolišu, pri čemu su vještaci proveli odgovarajuća mjerenja i snimanja, odnosno geotehničku i hidrotehničku prospekciju terena.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 2. srpnja 2025., tijekom srpnja 2025. godine provedena je prva faza vještačenja zaštite okoliša, koja je obuhvatila analizu geotehničkih i hidrogeoloških snimanja i mjerenja provedenih tijekom očevida od 26. i 27. svibnja 2025., te stručnu obradu prikupljenih podataka radi procjene stanja tla i podzemnih voda, o čemu je Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu Uredu dostavio Nalaz i mišljenje o neinvazivnim istražnim radovima, iz srpnja 2025.g.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 7. kolovoza 2025., tijekom rujna 2025. godine provedena je druga faza vještačenja zaštite okoliša, kojom je izvršena preliminarna procjena ekološkog rizika te utvrđivan potencijalni štetni utjecaj otpada prisutnog u industrijskom kompleksu u Gospiću, Bilajska 50, na tlo, vegetaciju, površinske i podzemne vode, zrak i druge sastavnice okoliša, uključujući moguće posljedice na zdravlje ljudi, u odnosu na otpad pronađen u silosima, poslovnim zgradama, na otvorenom prostoru, u vrećama i u zemljanim nasipima, o čemu je Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu Uredu dostavio Preliminarni izvještaj vještačenja zaštite okoliša za lokaciju industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50, iz rujna 2025.g.

Temeljem naloga suca istrage Županijskog suda u Zagrebu broj 11 Kir-t-Us-777/2025 od 29. rujna 2025., dana 29. i 30. rujna 2025. provedena je pretraga radi pronalaska otpada i izuzimanja uzoraka, pri čemu su vještaci Geotehničkog fakulteta pružali stručnu pomoć policijskim službenicima u pronalasku i pravilnom uzorkovanju otpada, te je tom prilikom prikupljeno ukupno 27 uzoraka otpada u duplikatu radi daljnjih laboratorijskih analiza.



Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 29. rujna 2025., započeto je sveobuhvatno vještačenje zaštite okoliša radi utvrđivanja svih promjena u okolišu nastalih uslijed nepropisnog zbrinjavanja otpada, uključujući oštećenja tla, vode, zraka, podzemlja i biološke raznolikosti, određivanje vrste, sastava, svojstava i količine otpada, procjenu razine opasnosti i prekoračenja propisanih vrijednosti, utvrđivanje prisutnosti, smjera i dinamike kretanja podzemnih voda te provođenje geodetskog snimanja i analize uzoraka, uz pružanje stručne pomoći policijskim službenicima tijekom provođenja dokaznih radnji.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 29. rujna 2025., u razdoblju od 1. do 3. listopada te 6. listopada 2025. proveden je očevid radi postavljanja piezometra B-1 na k.č. 595/2 k.o. Divoselo, s ciljem pronalaska i prikupljanja uzoraka podzemnih i otpadnih voda, pri čemu su istodobno prikupljeni uzorci tla i vegetacije za potrebe daljnjih analiza, i to 34 uzorka tla, 6 uzoraka vegetacije te jedan uzorak materijala.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 3. listopada 2025., dana 3. listopada 2025. proveden je dodatni očevid radi pronalaska i prikupljanja uzoraka tla i vegetacije na širem području, pri čemu je prikupljeno 6 uzoraka tla i 4 uzorka vegetacije.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 8. listopada 2025., u razdoblju od 8. do 13. listopada 2025. proveden je očevid radi postavljanja piezometra B-3 na području k.o. Divoselo radi praćenja stanja podzemnih voda i uzorkovanja otpadnih voda.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 13. listopada 2025., u razdoblju od 14. do 16. listopada 2025. proveden je očevid radi postavljanja piezometra B-2 na području k.č. 599/1 k.o. Divoselo radi uzorkovanja podzemnih voda.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 24. listopada 2025., dana 24. listopada 2025. provedena su mjerenja parametara u piezometrima te dovršeno postavljanje piezometra B-2 radi osiguravanja kontinuiranog praćenja i uzorkovanja podzemnih voda.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 18. prosinca 2025., dana 19. prosinca 2025. provedena su mjerenja parametara i monitoring piezometara te su prikupljena 3 uzorka podzemnih voda radi daljnjih laboratorijskih analiza.



Sveučilište u Zagrebu **GEOTEHNIČKI FAKULTET**

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 23. listopada 2025., 11. studenoga 2025., 13. studenoga 2025., 1. prosinca 2025., 22. prosinca 2025., 3. veljače 2026. i 25. veljače 2026., po Nastavnom zavodu za javno zdravstvo „dr. Andrija Štampar“ provedena su fizikalno-kemijska i mikrobiološka vještačenja ukupno 99 uzoraka, i to 22 uzorka iskopa, 5 uzoraka iz bušotina, 50 uzoraka tla i vegetacije, 21 uzorka vode iz piezometara te 1 uzorka materijala (ambalaža i ulja), radi utvrđivanja kemijskog sastava i svojstava radi utjecaja na okoliš.

Nadalje, nalogima ovog Ureda od 23. listopada 2025. i 11. studenoga 2025. Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu naloženo je provođenje fizikalno - tehničkog vještačenja ukupno 27 uzoraka, odnosno 22 uzorka iskopa i 5 uzoraka iz bušotina pronađenih pretragom na lokaciji u Gospiću, radi utvrđivanja sastava i fizikalnih svojstva uzoraka te ocijene predstavlja li ispitivani materijal otpad i sl.

Temeljem naloga Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta broj Kis-US-12/2025 od 24. veljače 2026., dana 24. veljače 2026. provedena su daljnja mjerenja parametara i monitoring piezometara te je prikupljeno 18 uzoraka podzemnih voda radi laboratorijskih analiza.



Slika 1 Lokacija Gospić, Bilajska 50

Neposredno uz kompleks prolazi teretni dio željezničkog kolodvora s četiri kolosjeka. Na lokaciji se nalazi 6 objekata (A-G) te dio pristupnih cesta (asfaltiranih), dok je dio devastirane površine neasfaltiran (Slika 1).

Prilikom posjeta lokaciji, zatečen je veliki broj „big-bag“ vreća napunjenih otpadom na otvorenom između dva objekta smještenih na asfaltiranoj površini, napuštena oprema i vozila po cijeloj lokaciji. Obodno, na lokaciji i na nekim mjestima unutar lokacije smještena je



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



određena količina glomaznog otpada, otpadne ambalaže (IBC kontejnera), otpadnih guma i glomaznog proizvodnog otpada i drugih vrsta otpada na tlu (propusna površina). U objektima razne vrste otpada smještene su u „big-bag“ vrećama i rasutom stanju koje nije bilo moguće u potpunosti pregledati jer je pristup unutrašnjosti bio prepriječen samim „big-bag“ vrećama i drugim predmetima.

Neposredno iza objekta na otvorenom nalazi se velika hrpa rasutog sitnozrnatog otpada sive do crne boje, dok je bočno od objekta smještena manja hrpa rasutog sitnozrnatog otpada, a sve na neasfaltiranim površinama na otvorenom. Nastavno, iza objekta nalazi se veća površina na kojoj su vidljivi tragovi mljevene plastike izmiješani sa zemljom i kamenjem također na neasfaltiranim površinama. Iza objekata nalazi se površina bez vegetacije, pri hodu po površini primjećuje se da je ista stišljiva. Na površini su vidljivi ostatci sitne (usitnjene) plastike. Ova površina okružena je zelenilom i visokim drvećem. Određeni broj stabala je osušen i/ili polomljen.



1.3 Metodološki pristup u provedbi vještačenja

Za potrebe ovog vještačenja provedeni su slijedeće aktivnosti:

1.3.1 Neinvazivni istražni radovi

Cilj provedbe ovih istražnih radova bio je:

- a. Definiranje geološke i hidrogeološke strukture mikrolokacije
- b. Definiranje lokacije i broja piezometara za uzorkovanje podzemne vode
- c. Definiranje lokacije i broja bušotina na platou za uzimanje uzoraka
- d. Definiranje horizontalne i vertikalne rasprostranjenosti otpada ispod platoa
- e. Definiranje volumena glomaznog (kabastog) otpada na otvorenom.

Za potrebe definiranja geološke i hidrogeološke strukture mikrolokacije te utvrđivanja pozicija i broja piezometara za uzorkovanje podzemne vode provedena je terenska prospekcija terena, odnosno geološko i hidrogeološko rekognosciranje šireg područja predmetne lokacije u prostoru oko lokacije odloženog otpada.

Za potrebe definiranja lokacija i broja bušotina na platou za uzimanje uzoraka i definiranje horizontalne i vertikalne rasprostranjenosti otpada ispod platoa provedena su geofizička ispitivanja - snimanje geo radarom, geoelektrična tomografija, refrakcijska seizmika i MASW.

Također je izvršen i pregled vanjskog dijela lokacije koji je otvoren i moguće mu je pristupiti.

Za potrebe procjene količine otpada (glomazni, ambalažni i drugi otpad) odloženog na obodu lokacije provedena je vizualna prospekcija i fotodokumentiranje.

Rezultati provedenih neinvazivnih istražnih radova nalaze se u dokumentu: *Nalaz i mišljenje po nalogu Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9. svibnja 2025. i 2. srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, GFV, srpanj 2025.*

1.3.2 Invazivni istražni radovi

Invazivni istražni radovi uključivali su izradu tri piezometra (Slika 2) - jedan uzvodno N--B3 i dva nizvodno O --B2 i K--B1) te izvođenje širokih iskopa (I) i bušenje jezgri (H) na platou gdje je otpad zakopan (Slika 3) te su uzimani uzorci direktno iz crne hrpe (J).



Slika 2 Lokacije piezometara označene crvenom točkom

Mjesta širokih iskopa označene su I oznakama, lokacije bušenja jezgri označene su H oznakom, a lokacije uzimanja direktnih uzoraka (crnih hrpa) označeni su J oznakom.



Slika 3 Lokacije uzimanja uzoraka iskopa (I), bušenja (H) te uzoraka crnih hrpa (J)

Lokacije iskopavanja i bušenja jezgri te lokacije piezometara definirane su temeljem rezultata dobivenih provedbom neinvazivnih istražnih radova.

1.3.3 Uzorkovanje

Temeljem prije opisanih dokaznih radnji očevida i pretraga na lokaciji u Gospiću, u spisu predmeta nalaze se zapisnici o provedenim radnjama u kojima je evidentiran način, dinamika i lokacija uzorkovanja pojedinačne vrste otpada kako slijedi:

Zapisnik o očevidu od 27. svibnja 2025., Klasa: 214-02/25-22/2807 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-2; Zapisnik o pretrazi doma i drugih prostora od 29. rujna 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Kriminalističko-tehničko izvješće od 29. rujna 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o pretrazi doma i drugih prostora od 30. rujna 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Kriminalističko-tehničko izvješće od 30. rujna 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o očevidu od 3. studenoga 2025., Klasa: 214-02/25-22/2027 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-13; Kriminalističko-tehničko izvješće od 7. listopada 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o očevidu od 3. studenoga 2025., Klasa: 214-02/25-22/2807 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-14; Kriminalističko-tehničko izvješće od 7. listopada 2026., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o očevidu od 3. studenoga 2025., Klasa: 214-02/25-22/2807 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-15; Kriminalističko-tehničko izvješće od 14. listopada 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o očevidu od 3. studenoga 2025., Klasa: 214-02/25-22/2807 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-16; Kriminalističko-tehničko izvješće od 16. listopada 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o očevidu od 3. studenoga 2025., Klasa: 214-02/25-22/2807 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-17; te Kriminalističko-tehničko izvješće od 16. listopada 2025., Broj: 511-01-87-K-1/2025, Zapisnik o očevidu od 19. prosinca 2025. Klasa: 214-02/25-22/2807 K-1/25, Urbroj: 511-01-93-25-21, Kriminalističko-tehničko izvješće od 19. prosinca 2025. Klasa: 511-01-87-K-1/2025; Zapisnik o očevidu od 27. veljače 2026. Klasa: 214-02/25-22/2807- K-1/25, Urbroj: 511-01-93-26-28, Kriminalističko-tehničko izvješće od 25. veljače 2026. Klasa: 511-01-87-K-1/2025.

U nastavku se daje detaljan opis provedbe uzorkovanja. Kao osnova za provedbu vještačenja uzeti su uzorci podzemne vode, otpada, tla i biljaka.

Podzemna voda

Za potrebe određivanja utjecaja zakopanog otpada na podzemne vode izvedene su tri bušotine dubine 30 m i to na način da je jedna izvedena uzvodno od odlagališta B-3 (N-1) na cesti uz željezničku prugu, a dvije nizvodno od ilegalnog odlagališta: B-1 (K-1) i B-2 (O-1). Bušotine su izvedene rotacijskim bušenjem uz jezgrovanje kako bi se omogućila determinacija jezgre bušotine (vrsta stijenske mase, gustoća pukotinskih sustava). Prilikom determinacije jezgre bušotine jezgra je fotografirana i određen je njen geološki sastav te je izmjeren indeks kvalitete stijenske mase (engl. RQD – *rock quality designation*). RQD je indeks koji kvantitativno



procjenjuje kvalitetu stijenske mase na temelju jezgre iz bušotine. Izračunava se kao postotak ukupne duljine jezgre koju čine zdravi komadi duži od 10 cm u odnosu na ukupnu duljinu bušenja. RQD je ključan za procjenu stabilnosti, pukotina i čvrstoće stijena, a vrijednosti ispod 50% ukazuju na lošu, a iznad 75% na dobru kvalitetu stijene. Nakon toga je određen raspored filtarskih cijevi u piezometarskoj konstrukciji ovisno o položaju i gustoći pukotinskih zona kako bi se filtarske cijevi postavile na dionice bušotine koje su jače raspucale, odnosno u jače propusne zone bušotine.

Tablica 1. Determinacija jezgre bušotine za B-1 (oznaka K)

	Datum: 7. listopada 2025.
INTERVAL	OPIS
0,00-4,70	Nanos, glinovite naslage, visoko plastične, smeđe boje
4,70-5,00	Pjeskovite naslage
5,00-6,00	Vapnenačka breča, Jelar naslage
6,00-6,50	Glinovite naslage, kaverna ispunjena glinom
6,50-9,45	Vapnenačka breča, Jelar naslage
9,45-10,00	Pjeskovito-glinovite naslage i odlomci stijenske mase veličine do 7 cm, jako raspucana zona
10,00-30,00	Vapnenačka breča, Jelar naslage. U intervalima od 10,00-11,00 jače raspucano, 13,00-13,50 jače raspucano s dijagonalnim pukotinama, 26,00-30,00 jače raspucano s tim da u intervalima od 28,20-28,60 i od 29,00-29,50 pojava i dijagonalnih pukotina

Tablica 2. RQD za B-1 (oznaka K)

RQD		
0,00-4,70	-	-
4,70-5,00	-	-
5,00-6,00	73/100	73 %
6,00-6,50	-	-
6,50-9,45	269/295	91,2 %
9,45-10,00	0/15	0,0 %
10,00-11,00	41/100	41,0 %
11,00-12,00	86/100	86,0 %
12,00-13,00	69/100	69,0 %
13,00-14,00	42/100	42,0 %
14,00-15,00	95/100	95,0 %
15,00-16,00	96/100	96,0 %
16,00-17,00	74/100	74,0 %



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



17,00-18,00	93/100	93,0 %
18,00-19,00	93/100	93,0 %
19,00-20,00	74/100	74,0 %
20,00-21,00	84/100	84,0 %
21,00-22,00	78/100	78,0 %
22,00-23,00	96/100	96,0 %
23,00-24,00	95/100	95,0 %
24,00-25,00	91/100	91,0 %
25,00-26,00	51/100	51,0 %
26,00-27,00	62/100	62,0 %
27,00-28,00	77/100	77,0 %
28,00-29,00	53/100	53,0 %
29,00-30,00	26/100	26,0 %

Tablica 3. Ugradnja piezometarske bušotine B-1 (K)

UGRADNJA:	
0-3 m	PUNA
3-6 m	PUNA
6-9 m	PUNA
9-12 m	FILTER
12-15 m	FILTER
15-18 m	PUNA
18-21 m	FILTER
21-24 m	PUNA
24-27 m	FILTER
27-30 m	TALOŽNIK



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



0-5 m



5-10 m



10-15 m



15-20 m

20-25 m

25-30 m



Slika 4 Fotografije jezgre bušotine B-1 (oznaka K)

Tablica 4. Determinacija jezgre za B-2 (oznaka O)

	Datum: 16. listopada 2025.; 24. listopada 2025.
INTERVAL	OPIS
0,00-0,50	Glinovite naslage, površinske naslage, pokrivač
0,50-1,00	Vapnenačka breča, jako razlomljena, epikrška zona
1,00-2,00	Vapnenačka breča, kompaktna stijenska masa
2,00-2,50	Kaverna ispunjena glinom
2,50-15,80	Vapnenačka breča, jače raspucano u intervalima 13,20-13,60 i 14,60-14,70
15,80-18,00	Vapnenačka breča, jako rastročena zona
18,00-30,00	Vapnenačka breča, kompaktnija zona, jezgra izvađena u svijećama do 50 cm

Tablica 5. RQD za B-2 (oznaka O)

RQD:		
0,00-1,00	-	-
1,00-2,00	82/100	82,0 %
2,00-3,00	45/100	45,0 %
3,00-4,00	59/100	59,0 %
4,00-5,00	86/100	86,0 %
5,00-6,00	80/100	80,0 %



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



6,00-7,00	91/100	91,0 %
7,00-8,00	76/100	76,0 %
8,00-9,00	81/100	81,0 %
9,00-10,00	70/100	70,0 %
10,00-11,00	72/100	72,0 %
11,00-12,00	79/100	79,0 %
12,00-13,00	76/100	76,0 %
13,00-14,00	56/100	56,0 %
14,00-15,00	64/100	64,0 %
15,00-16,00	41/100	41,0 %
16,00-17,00	23/100	23,0 %
17,00-18,00	33/100	33,0 %
18,00-19,00	85/100	85,0 %
19,00-20,00	88/100	88,0 %
20,00-21,00	67/100	67,0 %
21,00-22,00	82/100	82,0 %
22,00-23,00	86/100	86,0 %
23,00-24,00	64/100	64,0 %
24,00-25,00	86/100	86,0 %
25,00-26,00	49/100	49,0 %
26,00-27,00	81/100	81,0 %
27,00-28,00	78/100	78,0 %
28,00-29,00	76/100	76,0 %
29,00-30,00	86/100	86,0 %
30,00-30,50	47/50	94,0 %

Tablica 6. Ugradnja piezometarske bušotine B-2 (oznaka O)

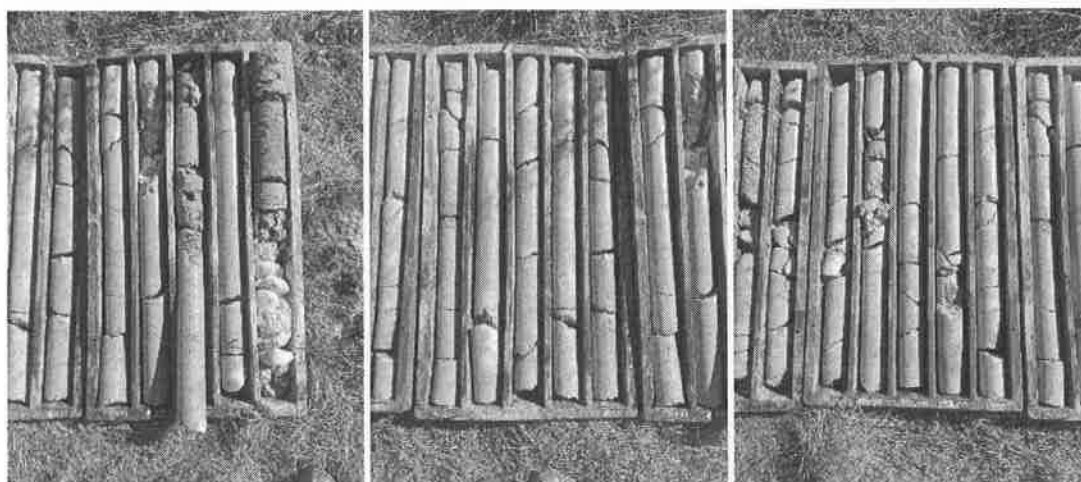
Ugradnja:	
0-2 m	PUNA
2-5 m	PUNA
5-8 m	PUNA
8-11 m	PUNA
11-14 m	FILTER
14-17 m	FILTER
17-20 m	PUNA
20-23 m	FILTER
23-26 m	PUNA
26-29 m	FILTER
29-30 m	TALOŽNIK



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

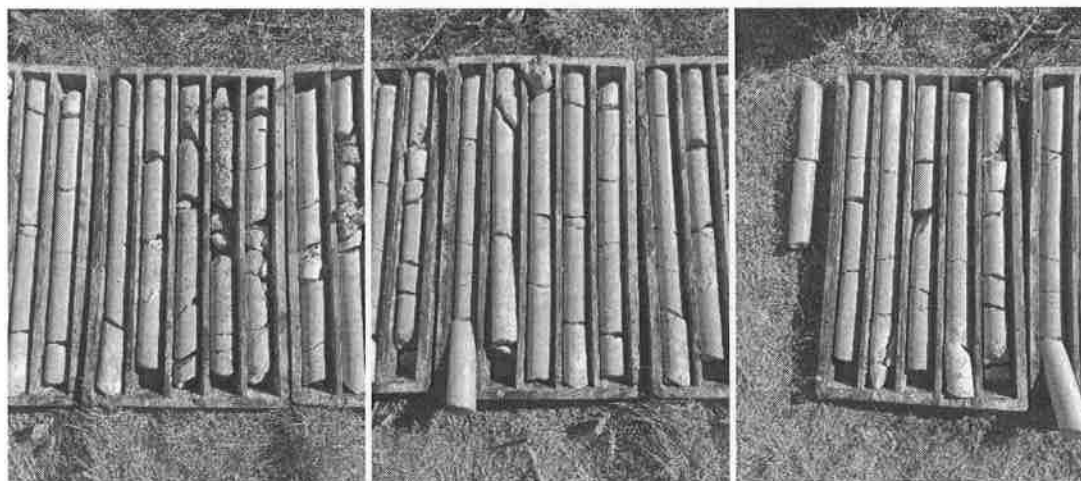
STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



0-5 m

5-10 m

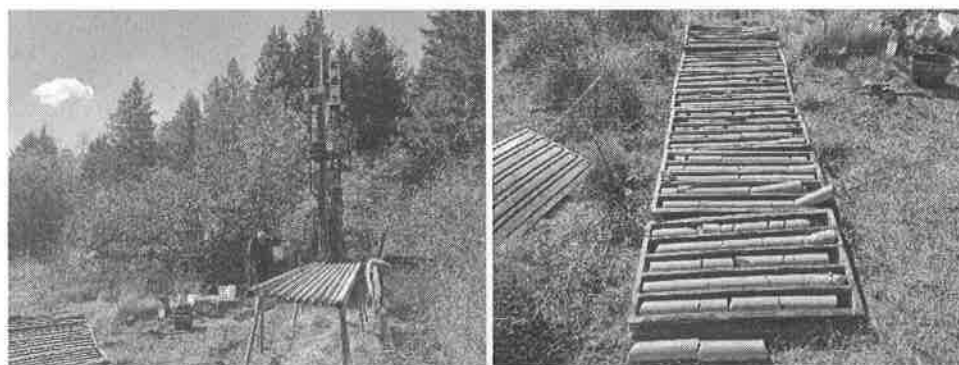
10-15 m



15-20 m

20-25 m

25-30 m



Slika 5 Fotografije jezgre bušotine B-2 (oznaka O)



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Tablica 7. Determinacija jezgre bušotine B-3 (oznaka N)

	Datum: 10. listopada 2025.
INTERVAL	OPIS
0,00-2,30	Nabačaj ceste
2,30-2,75	Glinovite naslage, plastična
2,75-4,15	Vapnena breča, Jelar naslage
4,15-4,45	Glinovite naslage
4,45-30,00	Vapnenačka breča, Jelar naslage. U intervalima od 14,60-15,00 i 22,00-30,00 jače raspucano

Tablica 8. RQD za B-3 (oznaka N)

RQD:		
0,00-1,00	-	-
1,00-2,00	-	-
2,00-3,00	-	-
3,00-4,00	-	-
4,00-5,00	-	-
5,00-6,00	73/100	73 %
6,00-7,00	0/100	0 %
7,00-8,00	269/295	91,2 %
8,00-9,00	0/100	0 %
9,00-10,00	0/100	0 %
10,00-11,00	41/100	41,0 %
11,00-12,00	86/100	86,0 %
12,00-13,00	69/100	69,0 %
13,00-14,00	42/100	42,0 %
14,00-15,00	95/100	95,0 %
15,00-16,00	96/100	96,0 %
16,00-17,00	74/100	74,0 %
17,00-18,00	93/100	93,0 %
18,00-19,00	93/100	93,0 %
19,00-20,00	74/100	74,0 %
20,00-21,00	84/100	84,0 %
21,00-22,00	78/100	78,0 %
22,00-23,00	96/100	96,0 %
23,00-24,00	95/100	95,0 %
24,00-25,00	91/100	91,0 %
25,00-26,00	51/100	51,0 %



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



26,00-27,00	62/100	62,0 %
27,00-28,00	77/100	77,0 %
28,00-29,00	53/100	53,0 %
29,00-30,00	26/100	26,0 %

Tablica 9. Ugradnja piezometarske bušotine B-3 (oznaka N)

UGRADNJA:	
0-2 m	PUNA
2-5 m	PUNA
5-8 m	PUNA
8-11 m	PUNA
11-14 m	FILTER
14-17 m	PUNA
17-20 m	FILTER
20-23 m	PUNA
23-26 m	FILTER
26-29 m	FILTER
29-30 m	TALOŽNIK



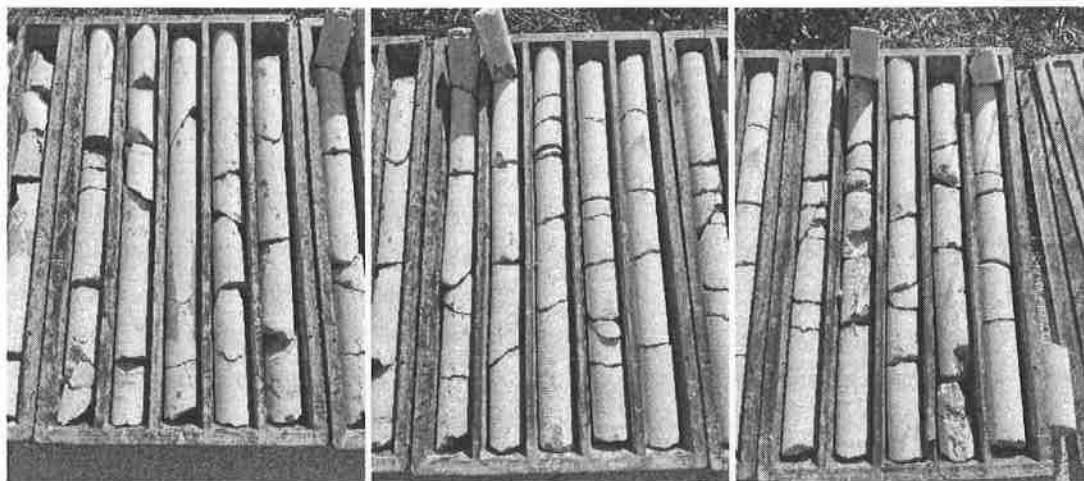
0-5 m



5-10 m



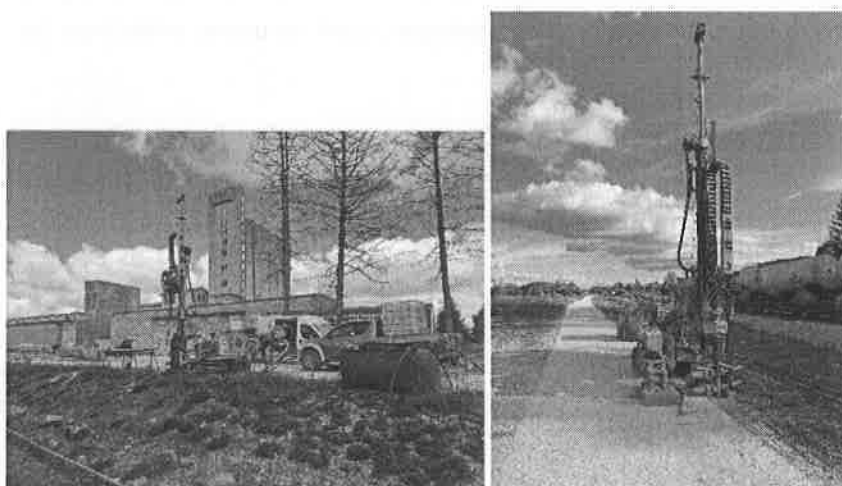
10-15 m



15-20 m

20-25 m

25-30 m



Slika 6 Fotografije jezgre bušotine B3-oznaka N

Nakon ugradnje filtarske piezometarske konstrukcije izmjereni su parametri podzemne vode (dubina do vode, električna vodljivost, temperatura). Nakon toga uzeti su uzorci iz bušotine na način da je uspostavljeno crpljenje kako bi se izmijenila voda u bušotini i dobio kvalitetni uzorak podzemne vode (minimalno izmjena tri volumena vode u pojedinoj bušotini). Po završetku crpljenja uzet je uzorak u staklenu bocu, boca je označena i ona je otpremljena u akreditirani laboratorij Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Andrija Štampar na analizu kakvoće. Ta ista procedura je ponovljena za svaku od tri piezometarske bušotine. U piezometarske bušotine

postavljeni su „loggeri“ koji mjere kontinuirano temperaturu, salinitet i vodljivost. U ovom mišljenju vještaka obrađeni su podaci za period od 19.12.2025 do 24.2. 2026. Uzorci vode uzeti su ponovno 24. veljače 2026.

Nakon ugradnje filtarske piezometarske konstrukcije izmjereni su parametri podzemne vode (dubina do vode, električna vodljivost, temperatura). Nakon toga uzeti su uzorci iz bušotine na način da je uspostavljeno crpljenje kako bi se izmijenila voda u bušotini i dobio kvalitetni uzorak podzemne vode (minimalno izmjena tri volumena vode u pojedinoj bušotini). Po završetku crpljenja uzet je uzorak u staklenu bocu, boca je označena i ona je otpremljena u akreditirani laboratorij Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Andrija Štampar na analizu kakvoće. Ta ista procedura je ponovljena za svaku od tri piezometarske bušotine. U piezometarske bušotine postavljeni su „loggeri“ koji mjere kontinuirano mjere temperaturu, salinitet i vodljivost. U ovom nalazu i mišljenju vještaka obrađeni su podaci za period od 19.12.2025. do 24.2. 2026. Uzorci vode uzeti su ponovno 24. veljače 2026.

Otpad

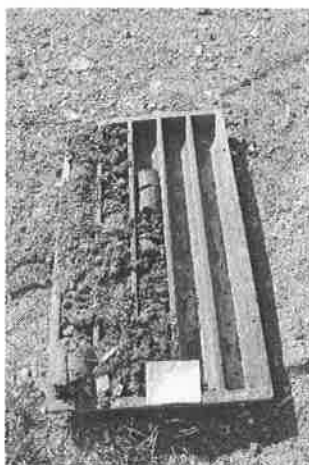
Za potrebe izrade vještačenja uzeti su uzorci pri iskopavanju platoa na kojem je otpad zakopan, uzorci izbušenih jezgri sa tijela prostora gdje je otpad zakopan, uzeti su uzorci crnih hrpa iza objekta i sa strane objekta.

Iskop je rađen s radnim strojem bagerom. Uzeti uzorci stavljeni su u plastične vrećice svaki zasebno i označeni, te zatvoreni i transportirani do analitičkog mjesta. Bušenje je obavljeno bušačom opremom. Svaki metar izbušene jezgre spremljen je u kutiju. Svaka kutija je označena prije transporta (Slika 7, slikano 29.09.2025. godine).

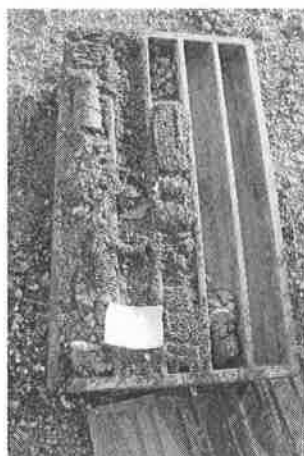


Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



H1



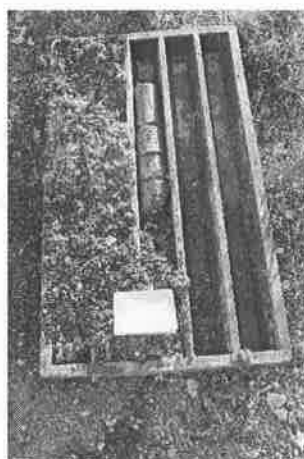
H2



H3



H4



H4



H5



I1



J3

Slika 7 Primjeri nabušenih jezgri H1 do H5, iskopa H1, i iskopa J3

Uzorci crne hrpe uzeti su na način da se radio raskop do 5 m dubine i 1 m širine po vertikali te su uzeti 1-3 uzorka po prokopu. Sve uzorke policija je dostavila u Nastavni zavod za javno zdravstvo i na Geotehnički fakultet.

Tlo i biljke

Uzorkovanje tla i biljaka provedeno je s ciljem utvrđivanja koncentracija toksičnih elemenata (teških metala):

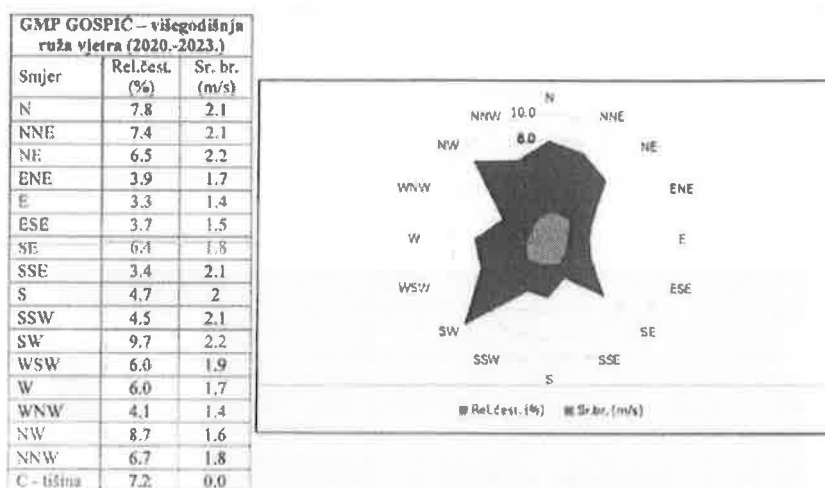
- na površini odlagališta;
- u okolini odlagališta;
- u okolini željezničkog kolodvora i uzduž pruge;
- ispitivanje mogućeg unosa toksičnih elemenata u biljke kao bazu hranidbene mreže i to:
 - u povrću (kupus) – mogući negativan utjecaj na ljudsko zdravlje,
 - u samoniklim biljkama (maslačak) – mogući negativni utjecaj na divlje i domaće životinje,
 - u drvu smreke - mogući uzrok sušenja smreka i drugih vrsta stabala uz rub odlagališta.

Sukladno ciljevima izrađen je plan uzorkovanja, koji je obuhvatio sljedeće:

- **Uzorkovanje supstrata na površini odlagališta.** Supstrat čini mješavina (u većoj ili manjoj mjeri) usitnjenog otpadnog materijala i pokrovno tlo.
- **Uzorkovanje tla na okolnim površinama tla u dvije dijagonale.** Dijagonale su određene prema ruži vjetrova i to prema prevladavajućoj relativnoj čestini vjetrova (Slika 8Error! Reference source not found.). Odabrane su dijagonale sa sjeverne strane odlagališta, jer na jugu odlagališta se nalaze zgrade koje djelomično štite okolicu od raznošenja čestica. Nadalje, s južne strane se nalazi željeznička pruga, željeznički kolodvor, cesta i naselje, gdje je moguće onečišćenje iz drugih izvora (željeznički i cestovni promet, razna antropogena onečišćenja). Dijagonale su odabrane i na način da su pozicionirane kroz relativno homogena staništa (koliko je bilo moguće).
- **Uzorkovanje tla uz željeznički kolodvor i paralelno uz prugu.**
- **Uzorkovanje tla okomito (u dijagonalu).**
- **Uzorkovanje drvenastih dijelova smreke (*Picea abies* (L.) H. Karst.) uz rub odlagališta i listova maslačaka (*Taraxacum officinale* agg.) u blizini odlagališta** kako bi se utvrdio eventualni unos toksičnih elemenata u biljke (biljke čine bazu hranidbene mreže).
- **Uzorkovanje vrtnog tla i kultiviranih biljaka u blizini odlagališta.**

- **Uzorkovanje tla i biljaka s kontrolnih lokacija** u okolini Gospića za koje se pretpostavlja da su izvan utjecaja bilo kakvog onečišćenja kako bi služile za usporedbu s uzorcima na i u blizini odlagališta.

Lokacije uzorkovanja tla i biljaka prilagođene su konstituciji terena i ruži vjetrova (slika 8).



Slika 8 Višegodišnja ruža vjetrova za GMP (glavna meteorološka postaja) Gospić (2020.-2023.). Kratice: Rel. čest. - relativna čestina za pojedini smjer vjetra (%), Sr. br. – srednja brzina za pojedini smjer vjetra (m/s). Izvor: Državni hidrometeorološki zavod, podaci dobiveni na zahtjev.

Uzorci tla uzimani su na način da je na svakoj predviđenoj točki za uzorkovanje uzet miješani odnosno kompozitni uzorak tla sastavljen od tri pojedinačna uzorka. Uzorci su uzeti na način da je jedan uzorak uzet na mjestu očitavanja geografskih koordinata, a na udaljenosti od po jedan metar u istoj liniji sakupljena su još dva uzorka. Sva tri pojedinačna uzorka su pomiješana i pohranjena u označene PVC vrećice i dostavljena u ovlaštenu laboratorij. Uzorci tla su sakupljeni (pomoću motike i lopatica) do dubine od 30 cm.

Geografske koordinate na mjestima uzorkovanja očitavane su uz pomoć GPS uređaja marke Garmin (model: GPSMAP 64s).

Uzorkovanje divlje samonikle biljne vrste maslačak (*Taraxacum officinale* agg.) provedeno je na način da su sakupljeni samo zeleni listovi u radijusu od oko 5 (najviše 10 m) od očitanih koordinata i uzetog uzorka tla. Listovi maslačka su pohranjeni u PVC vrećice i otpremljeni u ovlaštenu laboratorij. Na isti način sakupljen je i uzorak kupusa (*Brassica oleracea* L. var. *Capitata*).



Uzorci smreke (*Picea abies* L.) uzeti su na način da su odrezane grane na deblu na visini od 1-2 m od tla. Uzimane su grane čiji je promjer 3-5 cm. Odrezane su pomoću velikih vrtnih škara, izrezane u manje komade i pohranjene u PVC vrećice.

Svi sakupljeni uzorci tla i bilja (u PVC vrećicama) su numerirani i obilježeni. Prilikom sakupljanja uzoraka vođen je terenski dnevnik s opažanjima.

Na svim mjestima uzorkovanja tla i biljaka (Slika 9 do Slika 13 **Error! Reference source not found.**) prikupljena je fotodokumentacija bilo pomoću fotoaparata ili mobilnih uređaja. Sva prikupljena fotodokumentacija je obrađena, imenovana i sistematizirano pohranjena u digitalnom direktoriju koji je priložen uz izvješće. Sve uzorke policija je dostavila u Nastavni zavod za javno zdravstvo i na Geotehnički fakultet. Ukupno je uzeto 40 uzoraka tla i 10 uzoraka biljnog materijala.



Slika 9 Lokacije uzimanja uzoraka tla (1)



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Slika 10 Lokacije uzimanja uzoraka tla (2)



Slika 11 Lokacije uzimanja uzoraka tla (3)



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Slika 12 Lokacije uzimanja uzoraka biljaka (1)



Slika 13 Lokacije uzimanja uzoraka biljaka (2)



1.3.4 Mjerenje radioaktivnosti

Na svim uzorcima dostavljenim na Geotehnički fakultet provedeno je mjerenje radioaktivnosti. Radijacija je mjerena Geigerovim brojačem Gamma Scout GS2 uređajem s mjernim rasponom od 0,01 do 5000 $\mu\text{Sv/h}$ i točnošću mjerenja $\pm 5\%$.

1.3.5 Analiza uzoraka

U sklopu ovog vještačenja ukupno je analizirano 94 uzoraka otpada. Analize uzoraka proveo je Nastavni zavod za javno zdravstvo Andrija Štampar, a dio analiza proveo je Geotehnički fakultet.

Na temelju dostavljenih izvora, u nastavku je tablica koja prikazuje vrste analiza provedenih na pojedinačnim uzorcima i skupinama uzoraka (kompozitima) s lokacije Gospić.

Tablica 10. Popis naloga i vrste vještačenja, oznaka vrsta za uzete uzorke

Nalog Ureda Kis-US-12/2025	Datum naloga	Vrsta vještačenja	Oznake uzoraka i vrsta uzorka	Institucija
Kis-US-12/2025	23.10.2025	kemijsko-fizikalno mikrobiološko	I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I3.3, J1.1, J1.2, J1.3, J2.1, J2.2, J3.1, J3.2, J3.3, I4.1, I5.1, I6.1 – uzorci iskopa	NZJZ „dr. Andrija Štampar“
Kis-US-12/2025	23.10.2025	fizikalno-tehničko	I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I3.3, H1, H2, H3, H4, H5, J1.1, J1.2, J1.3, J2.1, J2.2, J3.1, J3.2, J3.3, I4.1, I5.1, I6.1 – iskop, bušotine	Geotehnički fakultet
Kis-US-12/2025	11.11.2025	fizikalno-tehničko	J4.1 – uzorak iskopa	Geotehnički fakultet
Kis-US-12/2025	11.11.2025	kemijsko-fizikalno mikrobiološko	J4.1 AŠ – uzorak iskopa	NZJZ „dr. Andrija Štampar“
Kis-US-12/2025	13.11.2025	kemijsko-fizikalno	L1.1, L2.1, L3.1, L4.1, L5.1, L6.1, L7.1, L8.1, L10.1, L12.1, L14.1, L15.1, L16.1, L17.1, L18.1, L19.1, L20.1, L21.1, L22.1, L23.1, L24.1, L25.1, L26.1, L27.1, L28.1, L29.1, L30.1, L31.1, L32.1, L33.1, L34.1, L35.1, L36.1, L37.1, L38.1, L39.1, L40.1, L41.1, L42.1, L43.1, L9.1, L11.1, L13.1,	NZJZ „dr. Andrija Štampar“



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



Nalog Ureda Kis-US-12/2025	Kis-Datum naloga	Vrsta vještačenja	Oznake uzoraka i vrsta uzorka	Institucija
			L15.2, L16.2, L22.2, L24.2, L25.2, L26.2, L28.2 – uzorci tla i vegetacije	
Kis-US-12/2025	01.12.2025	kemijsko-fizikalno	H1, H2, H3, H4, H5 – uzorci bušotina; M1.1 – ambalaža, kantice, ulja	NZJZ „dr. Andrija Štampar“
Kis-US-12/2025	22.12.2025	kemijsko-fizikalno mikrobiološko	K1, N1, O1 – uzorci vode iz piezometra	NZJZ „dr. Andrija Štampar“
Kis-US-12/2025	03.02.2026	kemijsko-fizikalno	L1.1, L2.1, L3.1, L4.1, L5.1, L6.1, L7.1, L8.1, L10.1, L12.1, L14.1, L15.1, L16.1, L17.1, L18.1, L19.1, L20.1, L21.1, L22.1, L23.1, L24.1, L25.1, L26.1, L27.1, L28.1, L29.1, L30.1, L31.1, L32.1, L33.1, L34.1, L35.1, L36.1, L37.1, L38.1, L39.1, L40.1, L41.1, L42.1, L43.1, L9.1, L11.1, L13.1, L15.2, L16.2, L22.2, L24.2, L25.2, L26.2, L28.2 – tlo i vegetacija (dodatno na antimon)	NZJZ „dr. Andrija Štampar“
Kis-US-12/2025	25.02.2026	kemijsko-fizikalno mikrobiološko	K2, K2.1–K2.5, N2, N2.1–N2.5, O2, O2.1–O2.5 – voda iz piezometara	NZJZ „dr. Andrija Štampar“

Tablica 11. Popis prevedenih analiza za pojedine uzorke

Naziv uzorka	Test procjeđivanja	Kvantitativna analiza (metali)	Energetska svojstva	Fizikalna svojstva (gustoća, vlažnost, granulometrija)	Mikroskopoliranje	Organski parametri (PAH, PCB, ulja, pesticidi)	Ekotoksičnost (akutna)/(H svojstva)	Mikrobiološka analiza	Sortiranje otpada	Temperatura, salinitet i vodljivost
J 1.1 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 1.2 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 1.3 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



J 2.1 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 2.2 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 3.1 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 3.2 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 3.3 AŠ	da	da	da	da	da	ne	ne	da	ne	ne
J 4.1 AŠ	da	ne	ne	da	da	ne	ne	da	ne	ne
Uzorci 1 - 5 crna hrpa (inspekcija)	da	da	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
I 1.1 AŠ do I 3.3 AŠ	da	ne**	ne**	da	ne	ne	ne	ne	da	ne
I 4.1 AŠ	da	da	da	da	ne	ne	ne	da	da	ne
I 5.1 AŠ	da	da	da	da	ne	ne	ne	da	da	ne
I 6.1 AŠ	da	da	da	da	ne	ne	ne	da	ne	ne
Kutija H1 do H5 (bušotine)	da	ne***	ne	da	da	ne	ne	ne	ne	ne
Omot L 1.1 do L 43.1 (tlo)	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Omot L 9.1 do L 28.2 (biljke)	ne	da	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Uzorak K1 - B1 (piezometar)	ne	da	ne	da****	ne	da	ne	ne/da	ne	da
Uzorak N1 - B3 (piezometar)	ne	da	ne	da****	ne	da	ne	ne/da	ne	da
Uzorak O1 - B2 (piezometar)	ne	da	ne	da****	ne	da	ne	ne/da	ne	da
J kompozit	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne
I kompozit	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne
H kompozit	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne	ne

1.3.5.1 Analiza crne hrpe – metodologija utvrđivanja parametara

Sveukupno je ispitano 9 uzoraka s oznakama od J1.1 do J4.1. Ispitani uzorci prikazani su na slikama 14 do 17, a grupirani su prema lokaciji uzorkovanja prikazanoj na slici 3. U iskopima J1 i J3 uzeto je po tri uzorka (vrh, sredina i dno). U iskopu J2 uzeta su dva uzorka (vrh i dno), dok je u iskopu J4 uzet jedan uzorak.



Slika 14 Iskop J1



Slika 15 Iskop J2



Slika 16 Iskop J3



Slika 17 Iskop J4

Nad prikupljenim uzorcima utvrđivani su sljedeći parametri:

- Vlažnost u zatečenom stanju
- Gustoća čvrstih čestica otpada
- Granulometrijski sastav
- Gustoća suhih uzoraka u rahlom stanju
- Gustoća suhih uzoraka u zbijenom stanju
- Udio metala
- Fizikalni sastav – ručno sortiranje
- Prisutnost mikroplastike – mikroskopiranje



Vlažnost u zatečenom stanju

Udio vlage u materijalu određen je gravimetrijskom metodom sušenja do konstantne mase. Reprezentativni uzorak najprije se izvaže, a zatim se suši u sušioniku pri temperaturi od (105 ± 5) °C do postizanja konstantne mase. Nakon sušenja uzorak se ohladi u eksikatoru i ponovno važe. Omjer mase isparene vode i ukupne mase uzorka prije sušenja definira maseni udio vode u uzorku u odnosu na ukupnu masu uzorka. Postupak se provodi sukladno relevantnoj normi za tlo, kao npr. ASTM D2216.

Gustoća čvrstih čestica otpada

Gustoća čvrstih čestica otpada određena je primjenom modificiranog plinskog piknometra. Metoda plinskog piknometra prilagođena je prema normi ASTM D 5550. Plinski piknometar koristi se za određivanje gustoće čvrstih čestica na temelju mjerenja volumena istisnutog plina. Uređaj radi na principu Boyle–Mariotteovog zakona, pri čemu se uzorak smješta u mjernu komoru poznatog volumena, a zatim se u sustav uvodi zrak (u idealnom slučaju inertni plin). Zrak prodire u sve dostupne pore između čestica, ali ne ulazi u zatvorene pore, čime omogućuje precizno određivanje stvarnog volumena čvrste faze. Mjerenjem promjene tlaka u referentnoj i mjernoj komori izračunava se volumen uzorka, a gustoća čvrstih čestica dobiva se kao omjer mase uzorka i izmjerenog volumena. Točnost korištenog plinskog piknometra iznosila je $\pm 3\%$, što se smatralo prihvatljivom točnošću (Petrović i sur., 2022a, 2022b).

Granulometrijski sastav

Postupak analize veličine čestica otpada prilagođen je ASTM D 422 normi za analizu granulometrijskog sastava tla. Uzorci su prosijani kroz niz sita s otvorima veličina: 16; 8; 4; 2; 1 i 0,5 mm. Dobivena granulometrijska krivulja uobičajeno se prikazuje u polulogaritamskom mjerilu.

Gustoća suhih uzoraka u rahlom stanju

Ispitivanje minimalne nasipne gustoće otpada prilagođeno je metodi „A” norme ASTM D-4254. Kako je definirano u navedenoj normi, minimalna nasipna gustoća predstavlja najrahlije stanje nekohezivnog materijala koje se može postići standardiziranim laboratorijskim postupkom. Uzorci su se nasipavali u kalup poznatog volumena pomoću ručne lopatice. Prije početka ispitivanja, volumen kalupa utvrđen je metodom izravnog mjerenja promjera i visine kalupa pomičnom mjerkom. Gustoća uzoraka u rahlom stanju određena je kao omjer odgovarajuće mase uzorka nasipanog u rastresitom stanju u kalup poznatog volumena.

Gustoća suhih uzoraka u zbijenom stanju

Ispitivanje maksimalne nasipne gustoće provedena je po vlastitoj metodi. Suhi uzorci su se zbijali statički utezima mase od 4,14 kg i 24,34 kg što predstavlja vertikalno naprezanje na uzorak od $16,5 \text{ kN/m}^2$ i $96,98 \text{ kN/m}^2$. Uz zapreminsku težinu otpada u najrahlijem stanju od 3,3

kN/m^3 , ovim naprezanjima simulirala se zbijenost otpada na dubinama od 5 i 30 metara. Maksimalna nasipna gustoća predstavlja najzbijenije stanje nekohezivnog materijala koje se može postići standardiziranim laboratorijskim postupkom zbijanja. Prije početka ispitivanja, volumen kalupa utvrđen je metodom izravnog mjerenja promjera i visine kalupa pomičnom mjerkom. Gustoća uzoraka u zbijenom stanju određena je kao omjer odgovarajuće mase uzorka u zbijenom stanju i odgovarajućeg volumena uzorka utvrđenog mjerenjem pomičnom mjerkom.

Udio metala

Udio magnetskih metala u uzorcima utvrđivan je prelaskom snažnog magneta iznad površine razasrtog uzorka otpada. Količina čestica privučenih na magnet uslijed djelovanja magnetskog polja (ukoliko ih bude) će se izvagati te izračunati maseni udio magnetskih čestica u ispitivanim uzorcima.

Sastav otpada

Metodologija utvrđivanja sastava otpada prilagođena je vrsti uzorka te su primijenjena dva pristupa i to ručno sortiranje i mikroskopiranje otpada.

Sortiranje otpada provedeno je prema standardiziranom postupku frakcioniranja na temelju veličine i materijalnog sastava. Cjelokupni početni uzorak najprije je prosijan kroz sito nominalnog otvora 16 mm, čime je odvojena sitna frakcija ($<16 \text{ mm}$) od krupnije frakcije ($>16 \text{ mm}$). Sav materijal koji je zaostao na situ činio je radni uzorak za daljnju analitičku podjelu.

Prosijavanje je provedeno kako bi se lakše evidentirali krupniji materijali karakteristični za određenu vrstu otpada. Iako su u frakciji $<16 \text{ mm}$ lokalno vidljivi fragmenti različitih materijala, sortiranje sitnice nije provedeno budući je primarna namjena ove frakcije bila utvrđivanje prisutnosti mikroplastike ($<5 \text{ mm}$) mikroskopiranjem. Frakcioniranje zaostalog materijala provedeno je ručnim sortiranjem uz pomoć vizualne identifikacije prema makroskopskim morfološkim obilježjima. Materijal je razvrstan u sljedeće kategorije:

- plastika (tvrdi polimeri, kruti fragmenti, obojeni komadi)
- folija (tanki polimerni listići i ambalažni filmovi)
- guma (elastični i spužvasti fragmenti elastomera)
- tekstil (tkanine, netkani materijali, sintetska i celulozna vlakna)
- građevinski otpad (keramika, cigla, beton, mort)
- kamen (prirodni mineralni agregati, šljunak)
- staklo (lomljeni fragmenti prozirnog i pigmentiranog stakla)



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



- metal (kompaktni metalni fragmenti, lim, žica)
- drvo (celulozni fragmenti, komadi obrađenog ili prirodnog drveta)

Nakon sortiranja, svaka frakcija je kvantificirana vaganjem. Mjerenje mase provedeno je na vagi G&G E15KY-1 preciznosti 1 gram, a mase pojedinih frakcija zabilježene su u radnu tablicu za potrebe daljnje obrade podataka. Podaci o masama korišteni su za izračun relativne zastupljenosti pojedinih kategorija otpada te za interpretaciju kompozicije ukupnog uzorka.

Mikroskopska analiza provedena je s ciljem utvrđivanja prisutnosti mikroplastike obzirom na veličinu čestica (bez određivanja vrste polimera), uz morfološku evaluaciju i određivanje materijalnog sastava opaženih čestica. Za analizu je korišten mikroskop Olympus SZX7, opremljen integriranom digitalnom kamerom Olympus EP50, koja omogućuje snimanje mikroskopskih slika visoke rezolucije.

Iz svakog uzorka otpada izdvojen je manji reprezentativni poduzorak, čija je veličina bila prilagođena objektnoj pločici i radnom području mikroskopa. Poduzorci su mikroskopirani pri povećanjima prilagođenima morfologiji materijala, pri čemu je mjerilo 500 μm korišteno kao referentna skala u analizama mikroplastike i mineralnih agregata.

Za svaki uzorak izrađene su mikrofotografije snimljene kamerom Olympus EP50. Mikroskopski pregled uključivao je:

- opažanje geometrije čestica (rubovi, lom, oblik)
- klasifikaciju površinske teksture (glatka, hrapava, porozna)
- identifikaciju boje i optičkih svojstava
- detekciju eventualnih vlaknastih struktura
- procjenu prisutnosti mineralnih i drugih inkluzija
- usporedbu opažanja s tipičnim morfološkim obilježjima poznatih polimera i prirodnih materijala

Zaključci o prirodi materijala (npr. plastika, tekstil, staklo, mineralni agregat, drvo) doneseni su na temelju morfološke analize mikroskopskih slika u kombinaciji s makroskopskim opažanjem uzoraka.

Za Uzorak J provedeno je samo mikroskopiranje obzirom na to da je veličina čestica kod svih uzoraka bila manja od 16mm.

Također treba napomenuti da je u mehanici otpada uobičajeno analize provoditi sukladno standardima za ispitivanje tla budući da odgovarajuće norme za ispitivanje otpada ne postoje.

Slijedom navedenog ispitni laboratorij, zbog razlika između uzoraka tla i otpada, može prilagoditi normirani postupak prirodi ispitnog uzorka ukoliko se za to ukaže potreba.

1.3.5.2 Analiza iskopa i bušotina – metodologija utvrđivanja parametara

Svi uzorci uzeti su sa istog područja – iz tijela odlagališta. Uzorci s oznakom I potječu od iskopa teškom mehanizacijom, bili su većeg inicijalnog volumena, dok uzorci s oznakom H potječu od bušotina promjera 10 cm, te su uzorci bili manjeg volumena.

Sveukupno je ispitano 13 uzoraka iz iskopa s oznakama od I1.1 do I6.1 te su ispitani uzorci iz 5 bušotina s oznakama H1 do H5. Ispitani uzorci iz iskopa prikazani su na Slika 18 do Slika 23 **Error! Reference source not found.**, a grupirani su prema lokaciji uzorkovanja prikazanoj na Slici 3. U iskopima I1, I3 uzeto je po tri uzorka (vrh, sredina i dno), dok je u iskopu I2 uzeto četiri uzorka. U iskopima I4, I5 i I6 uzet je po jedan uzorak. Ispitani uzorci iz bušotina prikazani su na slikama 24 do 25. U bušotini H1 izdvojena su tri sloja otpada. U bušotini H2 izdvojeno je sedam slojeva otpada. U bušotini H3 izdvojen je jedan sloj otpada. U bušotini H4 izdvojena su dva sloja otpada. U bušotini H5 izdvojeno je 10 slojeva otpada. Primarna svrha istražnih bušotina bila je utvrđivanje nasipne gustoće otpada radi utvrđivanja odložene mase otpada te dobivanja podataka o slojevitosti otpada. Dodatno uzet je uzorak M – neidentificirana ambalaža.



Slika 18 Iskop I1



Slika 19 Iskop I2



Slika 20 Iskop I3



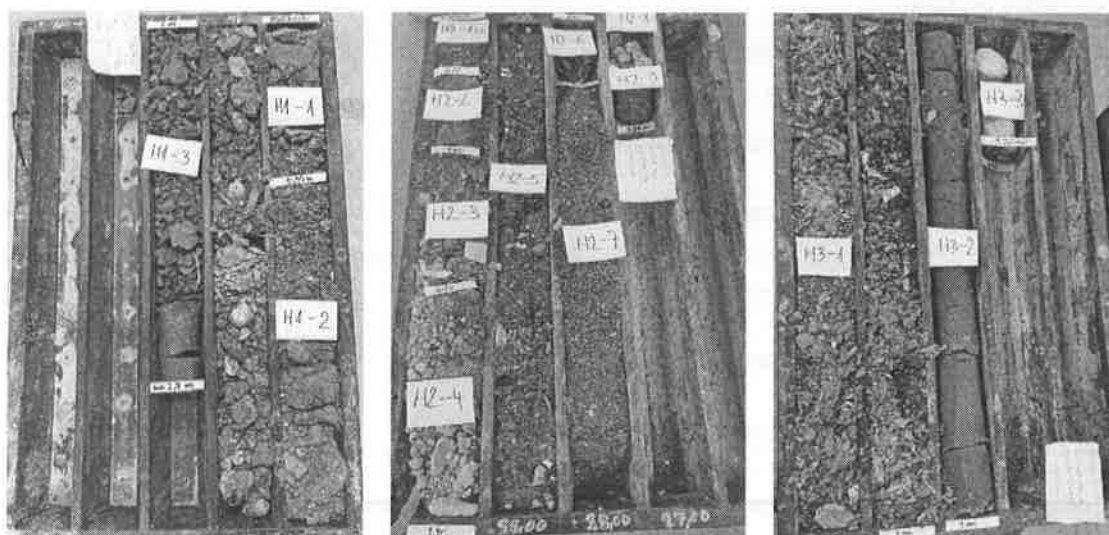
Slika 21 Iskop I4



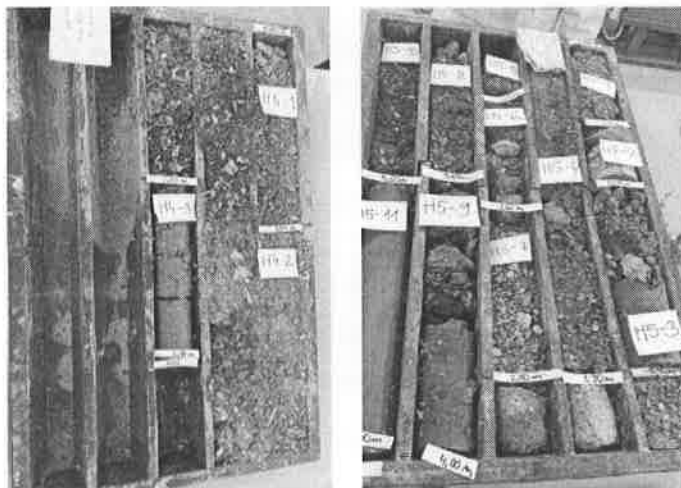
Slika 22 Iskop I5



Slika 23 Iskop I6 i M uzorka



Slika 24 Bušotine H1, H2 i H3



Slika 25 Bušotine H4 i H5

Nad prikupljenim uzorcima utvrđivani su sljedeći parametri:

- Vlažnost u zatečenom stanju
- Gustoća čvrstih čestica otpada
- Granulometrijski sastav
- Gustoća odloženog otpada (bušotine)
- Udio metala
- Fizikalni sastav – ručno sortiranje
- Prisutnost mikroplastike - mikroskopiranje
- Vodopropusnost glinenog sloja tla ispod otpada

Vlažnost u zatečenom stanju – kao i za crnu hrpu

Gustoća čvrstih čestica otpada – kao i za crnu hrpu

Granulometrijski sastav - kao i za crnu hrpu

Gustoća odloženog otpada (bušotine)

Gustoća odloženog otpada utvrđena je kao omjer mase nabušene jezgre i volumena nabušene jezgre. Volumen nabušene jezgre utvrđen je dužinom bušotine do pojave glinenog sloja i promjerom bušaće cijevi.

Udio metala – kao i za crnu hrpu

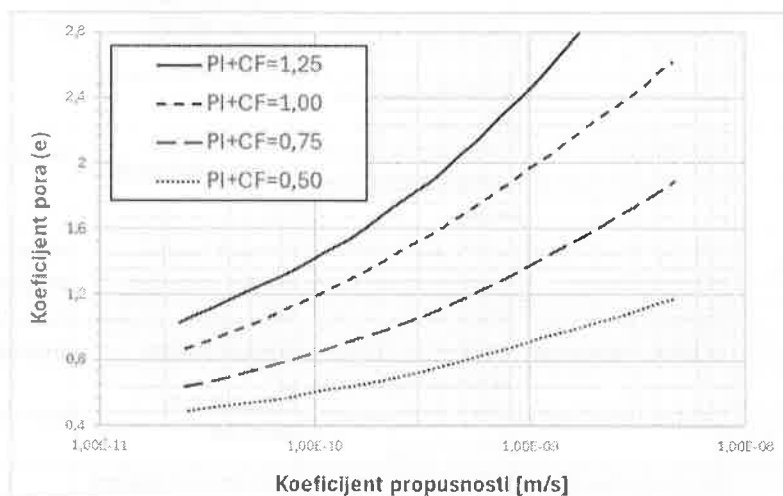
Sastav otpada



Za uzorke I provedeno je sortiranje i mikroskopiranje dok za uzorke H (uzorci bušotina) nije bilo moguće provesti sortiranje, jer je količina uzorka bila premala (promjer cijevi bušaće garniture bio je 10 cm), dok je mikroskopiranje je provedeno.

Vodopropusnost glinenog sloja tla ispod otpada

Vodopropusnost glinenog sloja tla u bušotini H3 utvrđena je direktnom metodom mjerenja. Kao direktna metoda mjerenja primijenjena je metoda promjenljivog potencijala u kompresijskom permeamtru (HRN CEN ISO/TS 17892-11). Kao indirektna metoda za procjenu vodopropusnosti u bušotinama H1 i H5 korišten je korelacijski odnos između indeksa plastičnosti (PI), udjela gline (CF), koeficijenta pora (e) i vodopropusnosti (k) kako je prikazano na slici 26.



Slika 26 Korelacijski odnos između PI , CF , e i k . (Tavenas i sur., 1983)

1.3.6 Utvrđivanje opasnih svojstava otpada

1.3.6.1 Opasna H svojstva otpada

Prema Direktivi 2008/98/EZ od 19. studenoga 2008. o otpadu definira se u čl. 3 st. 1 i st. 2

1. „otpad” znači svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje ili namjerava ili mora odbaciti;
2. „opasan otpad” znači otpad koji posjeduje **jedno ili više** opasnih svojstava navedenih u Prilogu III.;

Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) usklađen je s Direktivom 2008/98/EZ.

Provedbenom **Uredbom Komisije (EU) br. 1357/2014** zamjenjuje se Prilog III Direktive 2008/98/EZ i preciziraju kriteriji za 15 opasnih svojstava (HP1-HP15) koja otpad mogu učiniti

opasnim (Tablica 12). Uredba je izravno primjenjiva i odnosi se na kriterije klasifikacije otpada kao opasnog na temelju sadržaja opasnih tvari i njihove klasifikacije po kemijskim kriterijima.

Tablica 12. Opasna svojstva otpada (H1–H15 / HP1–HP15) s primjerima spojeva i aktivnosti

Oznaka	Naziv opasnog svojstva	Što se gleda	Kriteriji za utvrđivanje	Primjeri spojeva / aktivnosti	Nalaz
HP1	Eksplodivno	Potencijal eksplozije	Tvari klasificirane kao H200–H204, H240–H241 (CLP)	TNT, nitroglicerina, amonijev nitrat visoke čistoće, organski peroksidi	Nema indikacija
HP2	Oksidirajuće	Poticanje izgaranja	H270–H272 (CLP)	Kalijev permanganat, natrijev klorat, nitrati	Nema indikacija
HP3	Zapaljivo	Zapaljivost	Fizikalna svojstva (FP < 60 °C) i/ili H220–H226, H228, H250–H252, H260–H261	Benzin, toluen, aceton, uljni muljevi	Nema indikacija
HP4	Nadražujuće	Iritacija kože, očiju, dišnog sustava	H315, H319, H335 iznad pragova (CLP)	Cement, vapno, alkalni materijali	Nema utvrđenih tvari iznad pragova
HP5	Štetno	Toksični učinci na organe / aspiracija	H304, H335, H336, H370–H373 (CLP)	Uljni otpadi, otapala, dizelski muljevi	Nema utvrđenih tvari iznad pragova
HP6	Toksično	Akutna toksičnost	H300–H302, H310–H312, H330–H332 (LD ₅₀ / LC ₅₀)	Živa, cijanidi, pesticidi	Nema indikacija
HP7	Karcinogeno	Potencijal izazivanja raka	H350, H351 iznad pragova	PAH (benzo[a]piren), Cr(VI), arsen	Nema dokaza
HP8	Korozivno	Razaranje tkiva	H314 ≥ 5% ili pH ≤ 2 ili ≥ 11.5 (indikativno)	H ₂ SO ₄ , HCl, NaOH	Nema indikacija
HP9	Infektivno	Prisutnost patogena	Medicinski / sanitarni kriteriji	Medicinski i biološki otpad	Nema (mikrobiologija negativna)
HP10	Reprotoksično	Utjecaj na plodnost i fetus	H360 ili H361 iznad pragova (0,3% / 3% ovisno o klasi)	Olovo, ftalati	Nema utvrđenih tvari iznad pragova
HP11	Mutageno	Genetska oštećenja	H340, H341 iznad pragova	Cr(VI), epoksidni spojevi	Nema utvrđenih tvari iznad pragova
HP12	Otpušta toksične plinove	Reakcije s vodom/kiselinama	EUH029, EUH031, EUH032	Sulfidi (H ₂ S), cijanidi (HCN)	Nema indikacija
HP13	Senzibilizirajuće	Alergijske reakcije	H317, H334 iznad pragova	Izocijanati, nikal	Nema utvrđenih tvari iznad pragova
HP14	Ekotoksično	Toksičnost za vodení okoliš	H400–H413 + zbrajanje prema Uredbi (EU) 2017/997 ili ekotoks	Cu, Zn, Ni, Pb, pesticidi	Prisutni elementi, ali nije dokazana klasifikacija iznad



			testovi (npr. <i>Daphnia magna</i>)		pragova / potrebno dodatno vrednovanje
HP15	Naknadna opasnost	Sekundarna opasna svojstva	EUH001, EUH019, EUH044 ili dokaz nastanka opasnih eluata	Reaktivni pepeo, nestabilni otpadi	Potencijal postoji, procjenjuje se zasebno

HP14 je svojstvo otpada ekotoksično i znači da otpad sadrži tvari koje mogu uzrokovati štetne učinke na ekosustave, prvenstveno vodeni okoliš, u koncentracijama koje su same po sebi opasne, neovisno o lokaciji ili načinu odlaganja (to je svojstvo otpada).

Karakterizacija ekotoksičnosti za neki materijal (otpad) ima jasno značenje za okoliš. Ekotoksičnost može biti kratkoročna (akutno) i dugoročna (kronično). Procjena ovog svojstva važna je jer određuje može li otpad uzrokovati negativne posljedice u slučaju kontakta s okolišem, primjerice putem procjednih voda.

Akutna (kratkoročna) ekotoksičnost znači da otpad može u vrlo kratkom vremenu, u slučaju da dođe u kontakt s vodom, ispire se s oborinama ili dospije u kanalizaciju ili recipijent, uzrokovati uginuće vodenih organizama, gubitak biološke aktivnosti i poremećaj hranidbenog lanca (planktoni, alge, beskralježnjaci (*Daphnia magna*), ribe.

Kronična (dugoročna) ekotoksičnost znači da otpad može uzrokovati dugotrajne, kumulativne i teško reverzibilne učinke, čak i ako ne ubija odmah. Ovo uključuje bioakumulaciju (nakupljanje u organizmima povećanje koncentracije kroz hranidbeni lanac, smanjenje reprodukcije), promjenu biljne ili životinjske zajednice, onečišćenje sedimenta i/ili tla. (Rand et al 1995, Alloway 2013, Salomons, 1984)

Procjena opasnog svojstva **HP14 – ekotoksičnost** u europskom sustavu klasifikacije otpada primarno se temelji na **kemijskoj procjeni sastava otpada i regulatornom izračunu ekotoksičnosti**.

Ekotoksikološki biotestovi, poput testa s *Daphnia magna*, mogu se koristiti kao **dopunski alat za procjenu potencijalnog biološkog učinka eluata**, osobito kada kemijski sastav otpada nije potpuno poznat, kada je izrazito heterogen ili kada je potrebno dodatno procijeniti utjecaj smjese tvari.

Ekotoksikološki biotestovi (*Daphnia magna*) mjere stvarni biološki učinak eluata na organizam dok se kod računskog pristupa (izračun HP14) obavlja klasifikacija otpada prema kemijskom sastavu i CLP klasifikaciji.

Kemijska analiza određuje ukupnu koncentraciju tvari koje su potencijalno toksične, dok biotest mjeri biodostupnu frakciju, odnosno dio tvari koji je stvarno dostupan organizmima u okolišu.

Primjena ekotoksikoloških testova ima nekoliko važnih prednosti u procjeni ekotoksičnosti otpada. Za razliku od kemijskog izračuna koji promatra pojedinačne tvari, biotestovi omogućuju procjenu ukupnog biološkog učinka cijele smjese. Time je moguće detektirati sinergijske ili antagonističke interakcije između različitih spojeva koje se ne mogu predvidjeti samo na temelju koncentracija pojedinačnih tvari. Osim toga, biotestovi procjenjuju biodostupnost tvari, odnosno dio tvari koji je stvarno dostupan organizmima u okolišu. Kemijska analiza najčešće određuje ukupnu koncentraciju tvari, dok biotest registrira učinak samo onih tvari koje su dostupne organizmima. Ova razlika posebno je važna kod metala i organskih kontaminanata koji mogu biti vezani u matrici otpada i time smanjiti njihovu dostupnost organizmima. Dodatna prednost biotestova je mogućnost procjene učinka neidentificiranih tvari koje nisu obuhvaćene kemijskom analizom, ali mogu imati značajan utjecaj na organizme.

Posebno je važna činjenica da se potencijalni utjecaj otpada na okoliš u praksi najčešće manifestira kroz procjedne vode, odnosno eluate koji nastaju kontaktom otpada s vodom. Testiranje eluata omogućuje procjenu potencijalnog utjecaja takvih procjednih voda na vodene ekosustave. Na taj način biotestovi omogućuju realističniju procjenu potencijalnog utjecaja otpada na okoliš u odnosu na procjenu temeljenu isključivo na ukupnom kemijskom sastavu otpada.

U praksi se stoga često primjenjuje integrirani pristup koji kombinira obje metode. Ekotoksikološki biotestovi omogućuju procjenu stvarnog biološkog učinka otpada na organizme i ekosustave, dok kemijski izračun osigurava regulatornu klasifikaciju otpada u skladu s europskim zakonodavstvom.

Tablica 13. Usporedni prikaz ekotoksikološkog biotesta i kemijskog izračuna za definiranje ekotoksičnosti

Kriterij	Ekotoksikološki biotest (npr. test s <i>Daphnia magna</i>)	Kemijski izračun prema CLP klasifikaciji
Osnovni princip	Mjeri stvarni biološki učinak eluata otpada na organizam	Procjenjuje ekotoksičnost na temelju koncentracija opasnih tvari u otpadu



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Kriterij	Ekotoksikološki biotest (npr. test s <i>Daphnia magna</i>)	Kemijski izračun prema CLP klasifikaciji
Regulativna osnova	OECD i ISO ekotoksikološki standardi	Commission Regulation (EU) 2017/997
Vrsta procjene	Integrirani učinak cijele smjese	Zbroj pojedinačnih doprinosa identificiranih tvari
Biodostupnost tvari	Uključena u rezultat testa	Nije izravno uključena
Sinergijski učinci	Detektira ih	Ne uzima ih u obzir
Nepoznate tvari	Učinak se registrira kroz biološki odgovor	Nije moguće procijeniti
Fizikalno-kemijski utjecaji (pH, salinitet)	Mogu utjecati na rezultat	Ne uzima ih u obzir
Reproducibilnost	Ovisi o biološkim uvjetima testa	Visoka reproduktivnost
Zakonodavni okvir	Dopunska metoda	Primarna metoda u EU zakonodavstvu

1.3.6.2 Metoda utvrđivanja H14 - ekotoksičnost

Ključni parametar za određivanje opasnog svojstva koje utječe na okoliš je H14 – ekotoksičnost.

Za izračun H14 važno je uzeti u obzir Uredbu (EC) br. 1272/2008 ("CLP regulacija" – Classification, labeling and packaging - sustav Europske unije za razvrstavanje, označavanje i pakiranje kemikalija).

CLP uredba ne primjenjuje se izravno za otpad, ali se koristi za klasifikaciju opasnih svojstava otpada, jer se kriteriji za HP svojstva otpada u Uredbi 1357/2014 temelje na klasifikacijskim pravilima CLP-a (npr. H315, H318, EUH028 i sl.).

CLP uredba određuje:

1. je li neka tvar ili smjesa opasna



2. kojoj vrsti opasnosti pripada (npr. zapaljivo, toksično, karcinogeno, ekotoksično)
3. kako se ta opasnost komunicira (H-oznake, piktogrami, signalne riječi)

Otpad se ne razvrstava direktno prema CLP-u, ali se HP svojstva otpada određuju na temelju CLP klasifikacije tvari koje se u otpadu nalaze (primjeri dati u Tablici 12).

Za potrebe određivanja HP14 ključni elementi su bakar (Cu), cink (Zn) i olovo (Pb) koji su evidentirani u analizama za kompozitne uzorke, a koji mogu biti u različitim kemijskim formama. Obzirom na to da iz provedenih analiza nije moguće utvrditi spoj elementa, analizirani su najpojavniji oblici spojeva navedenih elemenata. Isključeni su svi spojevi koji sadrže kloride i sulfate jer u testovima procjeđivanja nisu pronađeni u značajnim koncentracijama. Ova isključenja poklapaju se sa pojavnošću ovih spojeva u određenim vrstama otpada – koje nisu evidentirane u ovom vještačenju. Isključeni su oblici spojeva Zn i Cu koji imaju slabu mobilnost jer su evidentirani u uzorcima tla izvan tijela odlagališta – stoga mobilnost postoji (u Tablici 14 narančastim označena isključenja). Za Pb nije utvrđena mobilnost u tlu izvan tijela stoga je kriterij - Pb u stabilnoj matrici (nema mobilnosti) uzet u obzir pri izračunu za definiranje HP14.

Narančastom bojom označeni su razlozi isključenja pojedinog spoja, dok su zelenom označeni spojevi koji su uzeti u obzir pri izračunima.

Tablica 14. Pojavni oblici Cu, Zn i Pb i njihova svojstva

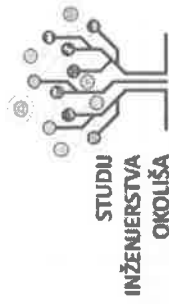
Metal	Spoj (reprezentativni oblik)	Tipična ekotoksičnost (CLP)	Mobilnost / topivost u vodi	Pojavnost u otpadu / okolišu	Relevantnost za HP14	U kojem scenariju se koristi	Obrazloženje
Cu	CuSO ₄ (bakrov sulfat)	vrlo visoka; H400/H410	vrlo topiv visoka mobilnost Cu ²⁺	kemijska industrija, biocidi, zaštita drva, galvanizacija	vrlo visoka	Najgori scenarij	predstavlja vrlo mobilan i ekotoksičan oblik bakra; koristi se kao konzervativna pretpostavka
Cu	CuCl ₂ (bakrov klorid)	vrlo visoka; H400/H410	vrlo topiv visoka mobilnost	galvanizacija, kloridni procesi, kemijska obrada metala	vrlo visoka	Najgori scenarij	topiv kloridni oblik; maksimalni potencijal oslobađanja Cu ²⁺
Cu	CuO (bakrov oksid)	visoka; često H410	umjereno topiv srednja mobilnost	pepeli, metalurški otpad, oksidni procesi, EE otpad, metalne frakcije	visoka	Realni scenarij	čest oblik bakra u čvrstim industrijskim otpadima
Cu	Cu u mineralnoj matrici (silikati, karbonati)	niska ili bez klasifikacije	vrlo slaba mobilnost	tlo, stabilizirani otpad	ograničena	Najbolji scenarij	pretpostavlja vezanje bakra u stabilnoj mineralnoj fazi
Zn	ZnSO ₄ (cinkov sulfat)	vrlo visoka; H400/H410	vrlo topiv visoka mobilnost Zn ²⁺	galvanizacija, kemijska industrija,	vrlo visoka	Najgori scenarij	mobilan i vrlo ekotoksičan oblik cinka
Zn	ZnCl ₂ (cinkov klorid)	vrlo visoka; H400/H410	vrlo topiv vrlo mobilan	metalna obrada, galvanizacija	vrlo visoka	Najgori scenarij	kloridni oblik s vrlo visokom topljivošću
Zn	ZnO (cinkov oksid)	visoka; često H410	umjerena topivost	spalionički pepeo, metalurški otpad, EE otpad, frakcije kablova, sitna prašina od industrijskih procesa	visoka	Realni scenarij	čest oblik Zn u industrijskim čvrstim otpadima
Zn	Zn u silikatima/karbonatima	niska	vrlo slaba mobilnost	mineralna matrica otpada, stariji otpad	ograničena	Najbolji scenarij	pretpostavlja stabilno vezan Zn



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Metal	Spoj (reprezentativni oblik)	Tipična ekotoksičnost (CLP)	Mobilnost / topivost u vodi	Pojavnost u otpadu / okolišu	Relevantnost za Hp14	U kojem scenariju se koristi	Obrazloženje
Pb	PbO (olovni oksid)	srednja do visoka; H410/H411	niska do umjerena topivost	metalurški otpad i otpadne baterije, frakcije od EE opreme	srednja	Najgori scenarij	korišti se za konzervativnu procjenu
Pb	PbCl ₂ (olovni klorid)	srednja do visoka; H410/H411	umjerena topivost	kloridni industrijski procesi	srednja	Najgori scenarij	mobilitiji oblik olova nego karbonati
Pb	PbCO ₃ (olovni karbonat)	kronična ekotoksičnost; H411	slabo topiv	tlo, korozijski produkti olova, produkt reakcije karbonatnog medija i olova, stariji otpad	srednja	Realni scenarij	tipičan okolišni oblik olova
Pb	PbSO ₄ (olovni sulfat)	kronična ekotoksičnost; H411	vrlo slabo topiv	baterijski i mineralni otpadi	srednja	Realni slučaj	stabilan ali kronično toksičan oblik
Pb	Pb u stabilnoj mineralnoj matrici	vrlo niska	minimalna mobilnost	stabilizirani otpad, mineralne frakcije	ograničena	Najbolji slučaj	pretpostavlja vrlo nisku bioraspoloživost



Temeljem provedene analize uzeti su u obzir slijedeći spojevi sa pripadajućim CLP:

- **CuO (bakrov oksid) - H410**
- **ZnO (cinkov oksid) - H410**
- **PbCO₃ (olovni karbonat) - H411¹**
- **PbO (olovni oksid) – H410**
- **Pb u stabilnoj mineralnoj matrici - bez relevantne H4xx klasifikacije za račun HP14, pa ne doprinosi računu.**

To znači da se HP14 račun radi s ovim pravilima:

- **CuO = H410, cut-off² 0,1 %, ponder 100**
- **ZnO = H410, cut-off 0,1 %, ponder 100**
- **PbCO₃ = H411, cut-off 1,0 %, ponder 10**
- **PbO = H410, cut.off 0,1% za uzorke I i H je ispod pa ne ulazi u proračun**

Formula prema kojoj se računa HP14:

$$100 \times \Sigma c(H410) + 10 \times \Sigma c(H411) + \Sigma c(H412) \geq 25\%$$

S tim da je izmjerene koncentracije potrebno pretvoriti u postotke prema formuli:

$$\% = \frac{\text{mg/kg}}{10\,000}$$

Za potrebe ovog vještačenja za kompozite J, I i H temeljem provedenih mjerenja utvrđeno je HP14 svojstvo. Uzorci J i H su isti uzorci i potječu iz otpada koji je zakopan. Jedina razlika je u tome što su H uzorci iz bušotine zakopanog otpada, a J uzorci iz iskopa zakopanog otpada.

¹ Konzervativan pristup

² Minimalnu koncentraciju tvari u otpadu ispod koje se ta tvar ne uzima u obzir u izračunu opasnog svojstva. Ako je koncentracija neke tvari u otpadu manja od cut-off vrijednosti, ta se tvar ignorira u računu HP svojstva, iako sama po sebi može imati opasnu CLP klasifikaciju, ovako se računa kako bi se izbjeglo da neka tvar u tragovima automatski utječe na označavanje nekog otpada opasnim.



1.3.6.3 Metodologija akutne toksičnosti (inhibicija pokretljivosti *Daphnia magna*)

Metoda određivanja ekotoksičnosti pomoću organizma *Daphnia magna* temelji se na standardiziranom ekotoksikološkom testu kojim se procjenjuje akutni toksični učinak uzorka na vodene organizme. *Daphnia magna* je planktonski slatkovodni račić koji se često koristi u ekotoksikologiji zbog svoje visoke osjetljivosti na promjene u kemijskom sastavu vode te zbog dobre reproducibilnosti laboratorijskih ispitivanja.

Metoda je standardizirana međunarodnim protokolima kao što su OECD Test Guideline 202 i ISO 6341. U postupku ispitivanja najprije se priprema eluat uzorka, odnosno vođeni ekstrakt dobiven postupkom izluživanja otpada u laboratorijskim uvjetima, čime se simulira moguće otpuštanje topljivih tvari iz otpada u okoliš.

Mlade jedinke *Daphnia magna* izlažu se različitim koncentracijama eluata tijekom standardnog razdoblja od 48 sati. Tijekom testa prati se imobilizacija organizama, odnosno gubitak sposobnosti aktivnog kretanja, koji predstavlja pokazatelj toksičnog učinka uzorka.

Na temelju rezultata određuje se EC50 vrijednost (Effective Concentration 50) (u rezultatima označena kao LID-D), odnosno koncentracija uzorka koja uzrokuje imobilizaciju 50 % testnih jedinki. Rezultat testa obično se izražava kao EC50 vrijednost ili kroz razrede toksičnosti, koji omogućuju jednostavniju interpretaciju rezultata. U takvom sustavu klasifikacije vrijednosti se mogu interpretirati na sljedeći način:

- 1 – bez toksičnog učinka (vrlo niska ili neznatna toksičnost)
- 2 – slaba toksičnost
- 3 – umjerena toksičnost
- 4 – izražena toksičnost
- 5 – vrlo visoka toksičnost

Niže EC50 vrijednosti i viši razredi toksičnosti ukazuju na veći toksični učinak uzorka na testne organizme. Metoda omogućuje procjenu ukupnog biološkog učinka uzorka jer organizmi reagiraju na sve prisutne tvari i njihove međusobne interakcije.

1.3.7 Geodetsko snimanje

Za potrebe vještačenja napravljeno je geodetsko snimanje crne hrpe (iza objekta i bočne hrpe) kako bi isto bilo osnova za izračun mase odloženog otpada. Kako bi se utvrdila količina otpada crne hrpe napravljeno je geodetsko snimanje volumena odloženog otpada na lokaciji -Gospić

crne hrpe (iza objekta i bočne hrpe) od strane
(prilog Geodetski snimak)

1.3.8 Druge relevantne informacije i podaci

Za potrebe vještačenja sakupljeni su dostupni podaci i informacije o lokaciji sa Bioportala (<https://bioportal.hr/>), službenih internetskih stranica Grada Gospića (<https://gospic.hr/>), Registra izvora prostornih podataka NIPP-a (http://registri.nipp.hr/izvori/view_xml.php?identifier=0236), provedena je stručna prospekcija šireg područja terena te su korišteni znanstveni i stručni izvori. Za potrebe vještačenja korišteni su i rezultati analiza koje je proveo Državni inspektorat Republike Hrvatske (u daljnjem tekstu: DIRH) za predmetnu lokaciju tijekom nadzora. Ortofoto podloge koje su korištene u izradi vještačenja uzete su sa Informacijskog sustava prostornog uređenja (<https://ispu.mgipu.hr/>).

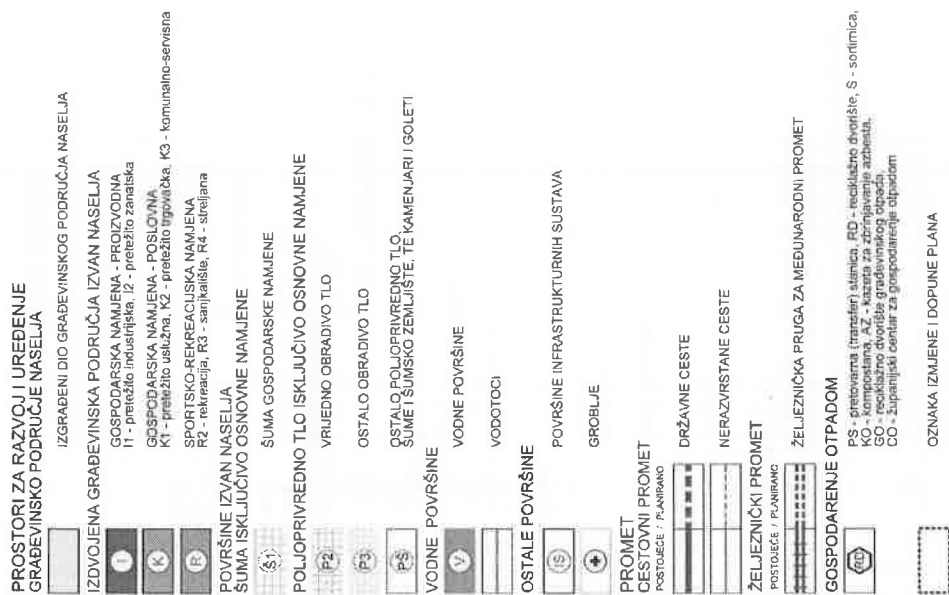
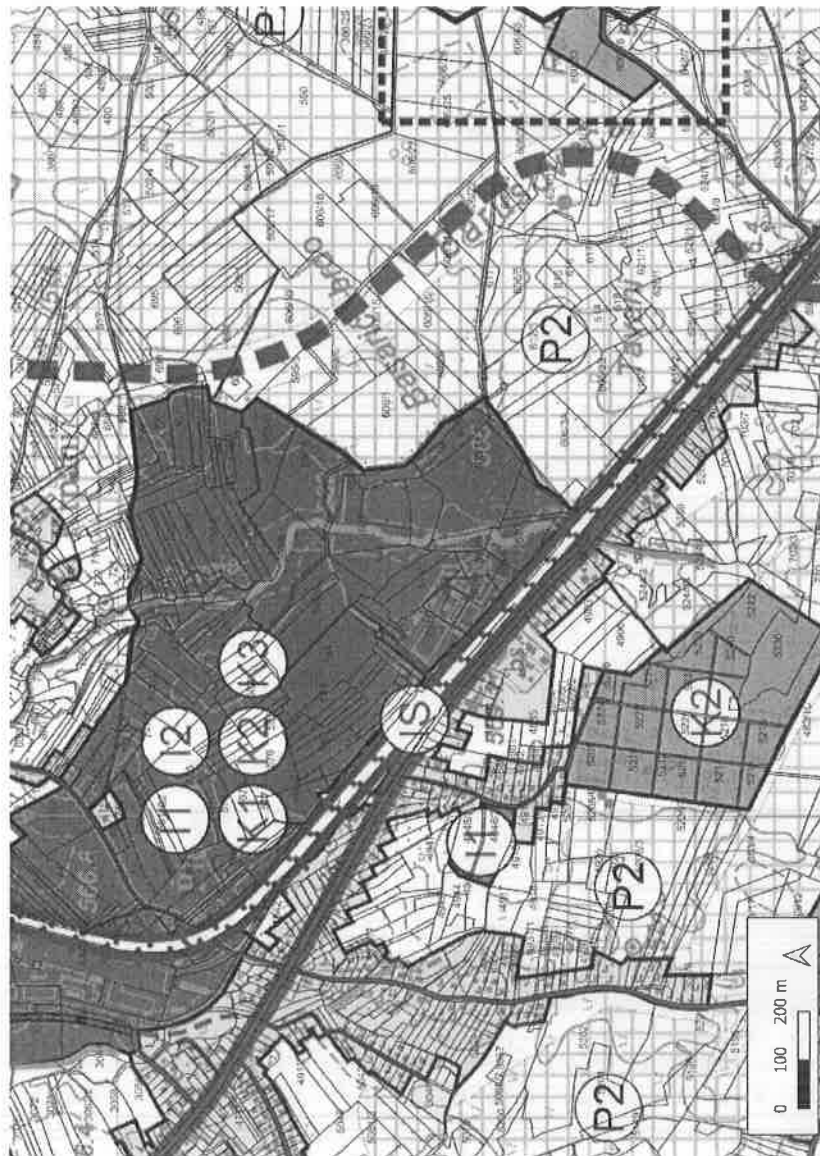
³ Geodetsko snimanje volumena odloženog otpada na lokaciji Gospić,



2 Opis stanja na lokaciji Gospić

2.1 Prostorno - planska dokumentacija

Za lokaciju Gospić koja je predmet ovog vještačenja relevantan je Prostorni plan uređenja Grada Gospića (Službeni vjesnik Grada Gospića broj 9/05, 1/06-ispravak, 4/09, 5/12, 3/14, 7/14, 2/15, 3/18, 2/22, 4/22-pročišćeni tekst i 3/23). U nastavku je dan izvod iz PP za područje vještačenja na karti 1. *Korištenje i namjena prostora* (Slika 27), 2.3. *Vodnogospodarski sustavi, obrada, skladištenje i zbrinjavanje otpada* (Slika 28 **Error! Reference source not found.**), 3. *Uvjeti korištenja i zaštite prostora* (Slika 29).



Slika 27 Urcrtano na izvodu iz Prostornog plana uređenja Grada Gospića — kartografski prikaz 1. Korštenje i namjena prostora



PROSTORI ZA RAZVOJ I UREĐENJE GRADEVINSKO PODRUČJE NASELJA

IZGRAĐENI DIO GRADEVINSKOG PODRUČJA NASELJA

IZDVOJENA GRADEVINSKA PODRUČJA IZVAN NASELJA

GOSPODARSKA NAMJENA - PROIZVODNA

I1 - pretežno industrijska, I2 - pretežno zanatska

GOSPODARSKA NAMJENA - POSLOVNA

K1 - pretežno uslužna, K2 - pretežno trgovačka, K3 - komunalno-servis

SPORTSKO-REKREACIJSKA NAMJENA

R2 - rekreacija, R3 - sanjkaliste, R4 - streljana

POVRŠINE IZVAN NASELJA

OSTALE POVRŠINE

GROBLJE

VODNE POVRŠINE

VODNE POVRŠINE

VODOTOCI

PROMET

CESTOVNI PROMET

POSTOJEĆE / PLANIRANO

DRŽAVNE CESTE

NERAZVRSTANE CESTE

ŽELJEZNIČKI PROMET

POSTOJEĆE / PLANIRANO

ŽELJEZNIČKA PRUGA ZA MEĐUNARODNI PROMET

INFRASTRUKTURNI SUSTAVI I MREŽE

VODNOGOSPODARSKI SUSTAV

VODOOP-SKRBA

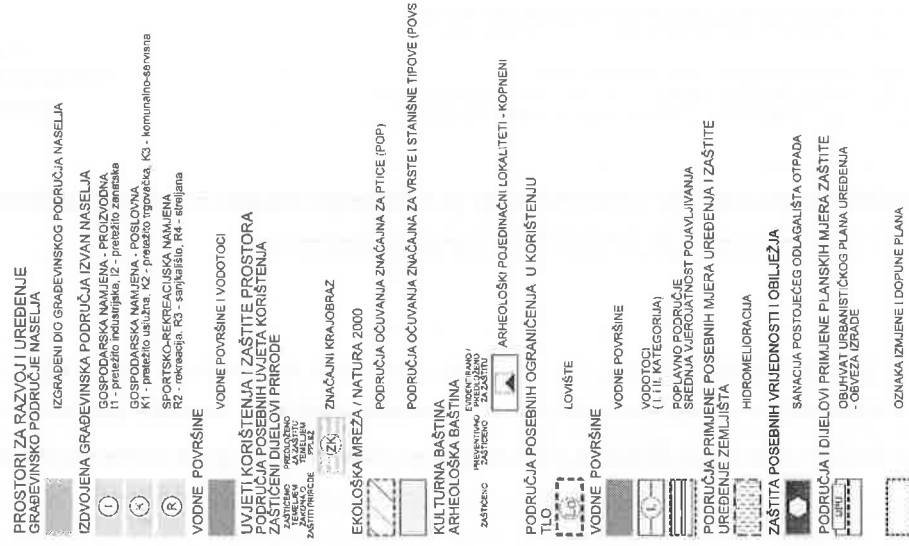
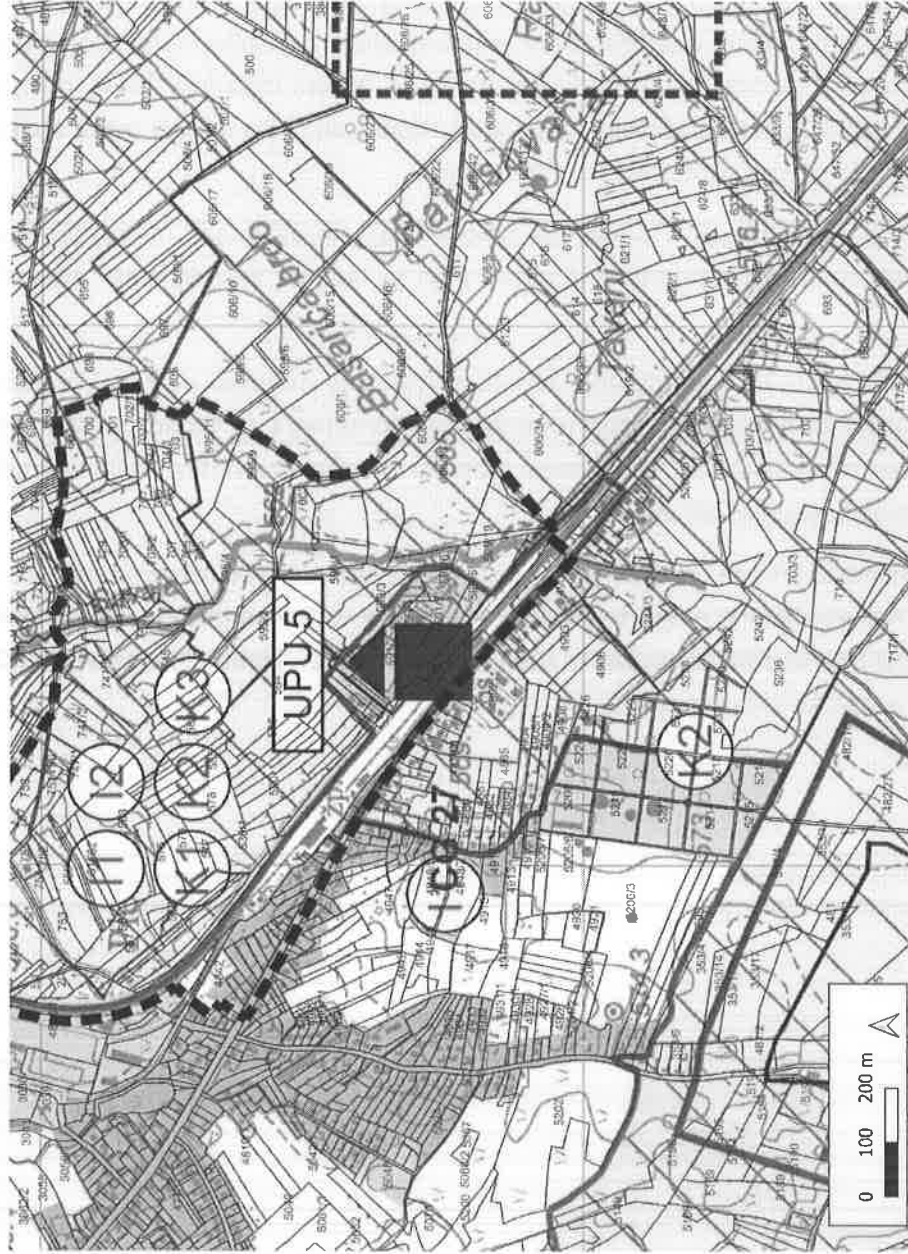
POSTOJEĆE / PLANIRANO

OSTALI VODOOPSKRBNI CJEVOVODI

VODOSPREMA

OZNAKA IZMJENE I DOPUNE PLANA

Slika 28 Ucrtno EP na izvodu iz Prostornog plana uređenja Grada Gospića – kartografski prikaz 2.3. Vodnogospodarski sustavi, obrada, skladištenje i zbrinjavanje otpada



Slika 29 Urtano EP na izvodu iz Prostornog plana uređenja Grada Gospića – kartografski prikaz 3. Uvjeti korištenja i zaštite prostora



Članak 57– odredbi za provođenje – navodi se da je odlaganje otpada na području obuhvata plana dopušteno samo na području odlagališta u sanaciji „Rakitovac“.

(2) Na lokaciji Gradskog odlagališta u sanaciji "Rakitovac" koja je označena na kartografskim prikazima 1.0.a Korištenje i namjena prostora, 3.0.a Uvjeti korištenja i zaštite prostora i 4.28. Građevinska područja – Novoselo Bilajsko, dozvoljeno je obavljati radnje na sanaciji postojećeg stanja i već odobreno odlaganje komunalnog otpada do trenutka izgradnje županijskog centra za gospodarenje otpadom. Na ovoj lokaciji nalazi se posebno izgrađena ploha za zbrinjavanje preuzetog građevnog otpada koji sadrži azbest, reciklažno dvorište te fiksno nadzirano mjesto za odvojeno odlaganje raznih otpadnih tvari koje nastaju u domaćinstvima. Dopušteno je planiranje pretovarne stanice, kompostane te sortirnice. Nakon izgradnje ŽGCO, odlagalište Rakitovac će se zatvoriti kao odlagalište neopasnog otpada, ali će na lokaciji ostati reciklažno dvorište, pretovarna stanica, kompostana i sortirnica.

U Članku 57. stavak 4 i stavak 7 navodi se također koje se aktivnosti mogu obavljati na građevinskoj čestici za gospodarenje otpadom, gdje je vidljivo da odlaganje otpada nije dopušteno.

(4) Na građevnoj čestici za gospodarenje otpadom nužno je osigurati potrebni manevarski prostor u svrhu postavljanja, pražnjenja i održavanja kontejnera za otpad, te kontrolirano prikupljanje oborinskih voda te zbrinjavanje istih na lokalno prihvatljiv način. Minimalna površina građevne čestice je 500 m².

(7) Reciklažna dvorišta i druge građevine za gospodarenje otpadom od lokalnog značaja, osim na lokacijama iz ovog članka, mogu se graditi i: - - - na površinama gospodarske namjene - proizvodne (I) na površinama gospodarske namjene - poslovne - komunalno-servisne (K3) na površinama za gospodarenje otpadom.

2.2 Determinacija otpada na odlagalištu

2.2.1 Glomazni otpad odložen na lokaciji

Popis, vrste i procjene količina glomaznog, ambalažnog i kabastog otpada odloženog na lokaciji navedena je u dokumentu: *Nalaz i mišljenje po nalogima Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9. svibnja 2025 i 2. srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, srpanj 2025.*

Temeljem provedene procjene na lokaciji (otvoreni prostor) nalazi se oko **1.077 m³** glomaznog, ambalažnog i kabastog otpada.

2.2.2 Crne hrpe

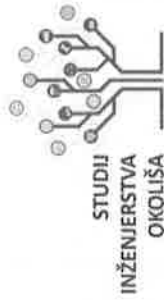
Pod nazivom „crna hrpa“ podrazumijeva se otpad na lokaciji smješten neposredno iza zgrade objekta i bočno od objekta na lokaciji na otvorenom.

Za potrebe izrade ovog vještačenja uzeti su J uzorci kako je prethodno navedeno te je napravljen test procjeđivanja, analiza sastava krute faze (ukupni sadržaj metala) i energetska svojstva materijala (otpada) te analiza prisutnosti patogenih mikroorganizama. Ove analize napravio je Nastavni zavod za javno zdravstvo Andrija Štampar u sklopu očevida. Dodatno, u ovom vještačenju korišteni su i analizirani rezultati analiza koje je napravio DIRH 18.4.2024. Na Geotehničkom fakultetu napravljeno je određivanje vlažnosti, suhe gustoće otpada u najrahljijem i najzbijenijem stanju, gustoće čvrstih čestica otpada, udio metala, granulometrijski sastav i mikroskopiranje otpada.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



2.2.2.1 Rezultati analize testa procjeđivanja

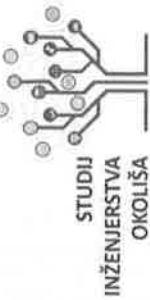
U nastavku dan je prikaz rezultata testa procjeđivanja za uzorke uzorkovane tijekom očevida (Tablica 15), dok su u Tablici 16 prikazani rezultati testa koje je obradio DIRH iz 2024. godine.

Tablica 15. Rezultati analiza testa procjeđivanja za crnu hrpu – uzorkovano tijekom očevida

Analitički broj	Oznaka uzorka	Koordinate (E / N)	Kloridi	Sulfati	Kadmij (Cd)	Bakar	Živa	Nikal	Barij	Krom	Molibden	Olovo	Antimon	Selen	Cink	Arsen	Suha tvar	pH	Fluorid	TDS	DOC
3/25	J 1.1 AŠ	Crna hrpa (Vrh J-1)	360	83	<0,3	5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,4	<0,050	<5,0	<0,20	81,8	8,3	<2,00	2800	576
01364/25	J 1.2 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-1)	1700	59	<0,3	61	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	0,98	<0,050	<5,0	<0,20	77,6	7,3	<2,00	7060	1950
01365/25	J 1.3 AŠ	Crna hrpa (Dno J-1)	380	54	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,8	<0,050	<5,0	<0,20	82,0	8,3	<2,00	3240	727
01366/25	J 2.1 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-2)	200	57	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,4	<0,050	<5,0	<0,20	79,6	8,3	<2,00	2480	470
01367/25	J 2.2 AŠ	Crna hrpa (Dno J-2)	160	59	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,2	<0,050	<5,0	<0,20	78,0	8,3	<2,00	2140	482
01368/25	J 3.1 AŠ	Crna hrpa (Vrh J-3)	150	84	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,0	<0,050	<5,0	<0,20	73,0	8,2	<2,00	1900	490
01369/25	J 3.2 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-3)	600	89	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,3	<0,050	<5,0	<0,20	79,2	8,1	<2,00	3620	618
01370/25	J 3.3 AŠ	Crna hrpa (Dno J-3)	360	96	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,7	<0,050	<5,0	<0,20	75,6	8,3	<2,00	1560	483
01480/25	J 4.1 AŠ	Crna hrpa bočna (J-4)	52	38	<0,3	10	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	0,46	<0,050	<5,0	<0,20	98,8	8,5	<2,00	1280	597
MDK Opasni*			25.000	50.000	5	100	2	40	300	70	30	50	5	7	200	25	—	inf.	500	—	1.000
MDK Neop.			15.000	20.000	1	50	0,2	10	100	10	10	10	0,7	0,5	50	2	—	inf.	150	—	800
MDK Inertni*			800	1.000	0,04	2	0,01	0,4	20	0,5	0,5	0,5	0,06	0,1	4	0,5	—	inf.	10	—	500



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 406 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

Tablica 16. Rezultati analiza testa procjeđivanja za crnu hrpu (DIRH)

Analiitički broj	Oznaka uzorka	Broj čestice	Kloridi	Sulfati	Arsen (As)	Barij (Ba)	Kadmij (Cd)	Krom (Cr)	Bakar (Cu)	Živa (Hg)	Molibden (Mo)	Nikal (Ni)	Olovo (Pb)	Antimon (Sb)	Selen (Se)	Cink (Zn)	Suha tvar (%)	pH	Fluorid	TDS	DOC
			mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	%	(-)	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.
00399/24	Uzorak crna hrpa1	k.č. 591/3	90	84	<0,20	<10	<0,05	<1	2,8	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	1,0	<0,050	<5,0	100,0	8,6	<2,00	5720	91,1
00400/24	Uzorak 2 crna hrpa	k.č. 591/3	270	140	<0,20	<10	<0,05	<1	3,2	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	499	<0,050	<5,0	92,0	8,3	2,33	7800	241
00401/24	Uzorak 3 crna hrpa	k.č. 599/18	590	87	<0,20	12	<0,05	<1	<1,0	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	0,90	<0,050	<5,0	90,5	8,2	<2,00	3420	100
00402/24	Uzorak 4 crna hrpa	k.č. 599/4	260	150	<0,20	<10	<0,05	<1	4,4	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	0,91	<0,050	<5,0	84,7	8,5	4,07	5880	141
00403/24	Uzorak 5 crna hrpa	k.č. 599/4	110	100	<0,20	<10	<0,05	<1	1,3	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	1,1	<0,050	<5,0	99,8	8,7	<2,00	3320	173
	MDK Opasni*		25.000	50.000	5	100	2	40	300	70	30	50	5	7	200	25	—	inf.	500	—	1.000
	MDK Neop.		15.000	20.000	1	50	0,2	10	100	10	10	10	0,7	0,5	50	2	—	inf.	150	—	800
	MDK Inertni*		800	1.000	0,04	2	0,01	0,4	20	0,5	0,5	0,5	0,06	0,1	4	0,5	—	inf.	10	—	500



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



2.2.2.2 Rezultati kvantitativne analize i energetske vrijednosti

Dobiveni rezultati kvantitativne analize i ogrjevnih vrijednosti prikazani su u Tablici 17 i Tablici 18.

Tablica 17. Rezultati analize crne hrpe (kvantitativna) - inspekcija

Analički broj	Oznaka uzorka	Broj čestice	Olovo (Pb)	Živa (Hg)	Nikal (Ni)	Berilij (Be)	Kadmij (Cd)	Vanadij (V)	Titan (Ti)
00399/24	Uzorak 1 crna hrpa	k.č. 591/3	90	84	<0,20	<10	<0,05	<1	2,8
00400/24	Uzorak 2 crna hrpa	k.č. 591/3	270	140	<0,20	<10	<0,05	<1	3,2
00401/24	Uzorak 3 crna hrpa	k.č. 599/18	590	87	<0,20	12	<0,05	<1	<1,0
00402/24	Uzorak 4 crna hrpa	k.č. 599/4	260	150	<0,20	<10	<0,05	<1	4,4
00403/24	Uzorak 5 crna hrpa	k.č. 599/4	110	100	<0,20	<10	<0,05	<1	1,3

Tablica 18. Rezultati kvantitativne analize i ogrjevnih vrijednosti crne hrpe

Analički broj	Oznaka uzorka	Koordinate (E / N)	Kadmij (mg/kg)	Krom (mg/kg)	Živa (mg/kg)	Nikal (mg/kg)	Olovo (mg/kg)	Vanadij (mg/kg)	PCB (mg/kg)	Ogrjevnost (MJ/kg s.t.)	Ogrjevnost (MJ/kg s.t.)	Sadržaj vode (%)	Klor (%)	Sumpor (%)	Pepec (%)
01453/25	J 1.1 AŠ	Crna hrpa (Vrh J-1)	10,1	43,5	0,324	61,4	1260	<10	<1	15,20	13,80	23,4	0,486	0,020	24,26
01454/25	J 1.2 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-1)	<3	<3	<0,2	<20	26,4	<10	<1	20,31	18,83	24,7	0,725	0,009	4,71
01455/25	J 1.3 AŠ	Crna hrpa (Dno J-1)	6,15	26,9	<0,2	27,6	945	<10	<1	16,68	15,19	17,3	0,928	0,043	24,38
01456/25	J 2.1 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-2)	6,91	14,5	0,372	30,8	730	<10	<1	14,42	12,88	20,7	0,600	0,023	20,18
01457/25	J 2.2 AŠ	Crna hrpa (Dno J-2)	9,59	21	0,282	45,7	1050	<10	1,8	13,72	12,22	23,0	0,603	0,044	23,41
01458/25	J 3.1 AŠ	Crna hrpa (Vrh J-3)	4,55	33,5	<0,2	27,1	2450	<10	<1	16,62	14,97	25,0	0,405	0,023	18,64
01459/25	J 3.2 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-3)	11,1	62,1	0,204	41,2	1250	<10	<1	13,28	11,71	21,5	0,605	0,042	21,99
01460/25	J 3.3 AŠ	Crna hrpa (Dno J-3)	9,86	28,3	0,254	55,3	1100	<10	<1	13,50	12,21	24,9	0,752	0,027	20,30



2.2.2.3 Rezultati analize - granulometrija, vodopropusnost, pepeo, vlažnost, udio metala i gustoća čvrstih čestica – crna hrpa (J uzorci)

Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 19 i tablici 20 i na slikama 30 do 33 granulometrijskih krivulja uzoraka J1.1, J1.2, J3.1 i J4.1.

Tablica 19. Vlažnost, gustoća čvrstih čestica, pepeo, udio metala

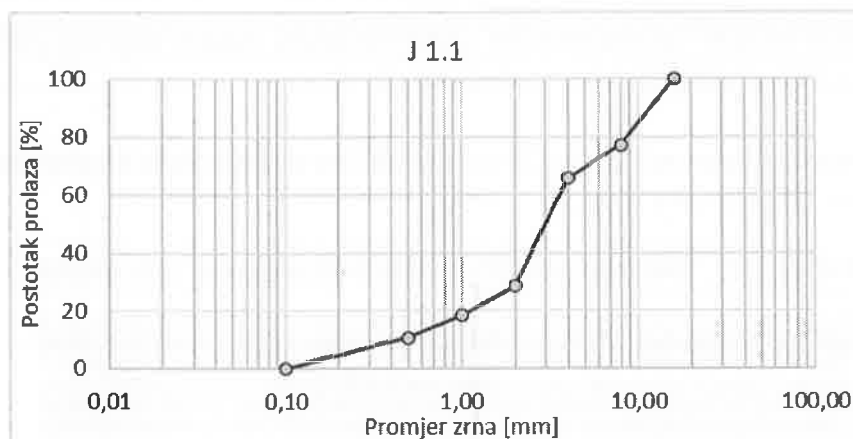
Oznaka uzorka	Vlažnost	Gustoća čvrstih čestica	Pepeo (800 °C) - preuzeto iz AŠ	Udio metala	Prosijano
	[%]	[g/cm ³]	[%±pogreška]	[%]	
J1.1	18,92	1,53	24,6 ± 1,6	Nije	DA
J1.2	16,50	1,30	4,71 ± 0,31	Nije	DA
J1.3	12,62	1,50	24,38 ± 1,61	Nije	Kao J1.1
J2.1	18,11	1,51	20,18 ± 1,33	Nije	Kao J1.1
J2.2	17,33	1,55	23,41 ± 1,55	Nije	Kao J1.1
J3.1	23,31	1,35	18,64 ± 1,23	Nije	DA
J3.2	18,89	1,53	21,99 ± 1,45	Nije	Kao J1.1
J3.3	21,55	1,54	20,30 ± 1,3	Nije	Kao J1.1
J4.1	1,83	1,54	36,14 ± 2,39	Nije	DA

Tablica 20. Gustoće suhih J uzoraka u rahlom i zbijenom stanju

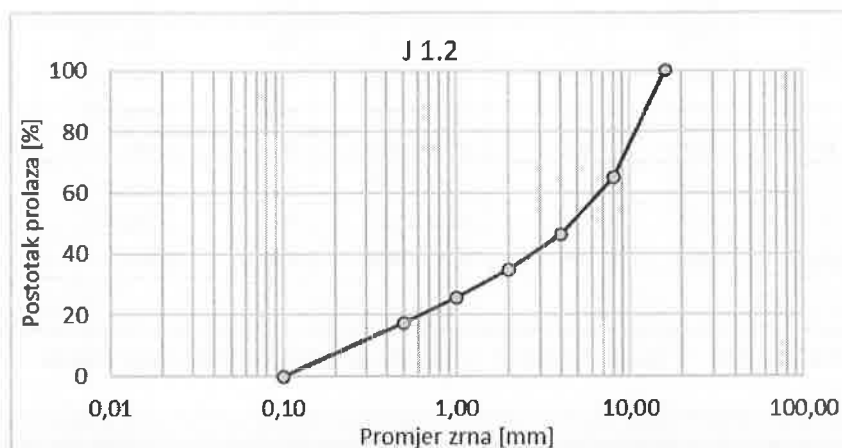
Uzorak	J1-1	J1-2 ⁴	J1-3	J2-1	J2-2	J3-1	J3-2	J3-3	J4-1 ⁵	Prosjek (bez J-1-2 i J4-1)
Gustoća rahlog uzorka [kg/m ³]	331,5	152,7	331,5	341,2	325,0	123,5	341,2	328,2	490,7	326,60
Gustoća uzorka na dubini od 5 m [kg/m ³]	476,3	254,6	499,2	479,2	483,6	223,7	554,0	477,1	538,1	466,40
Gustoća uzorka na dubini od 30 m [kg/m ³]	583,6	334,9	567,6	576,4	572,1	428,8	600,7	577,9	613,4	565,06
Prosjek [kg/m ³]	463,80	247,40	466,10	465,60	460,23	258,67	498,63	461,07	547,40	452,69

⁴ Uzorak J1-2 odnosi se na bijelu tvar koja je uzorkovana, a koja je zastupljena u zanemarivo maloj količini u crnoj hrpi i nije uzet u proračun prosjeka gustoće za veliku crnu hrpu

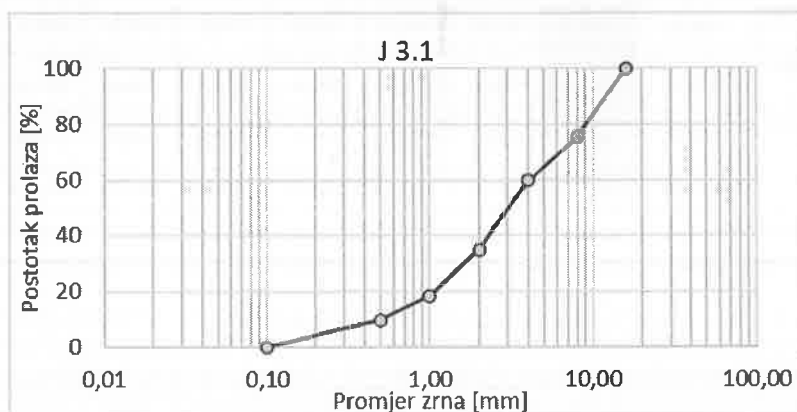
⁵ Uzorak J4-1 odnosi se na bočnu hrpu i nije uzet u proračun prosjeka gustoće



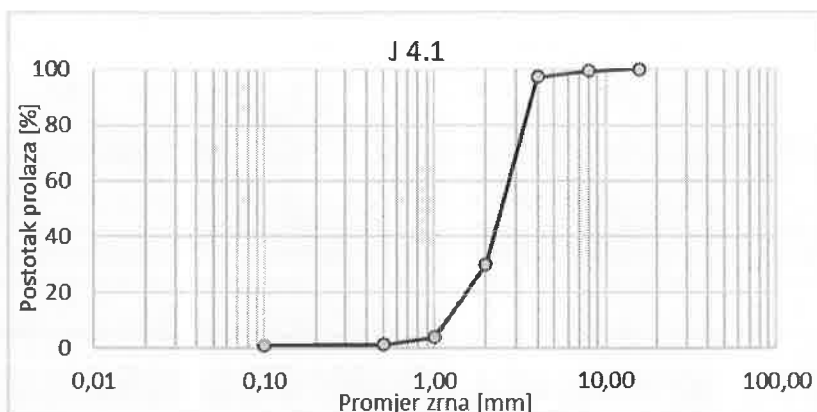
Slika 30 Granulometrijska krivulja uzorka J1.1



Slika 31 Granulometrijska krivulja uzorka J1.2



Slika 32 Granulometrijska krivulja uzorka J3.1

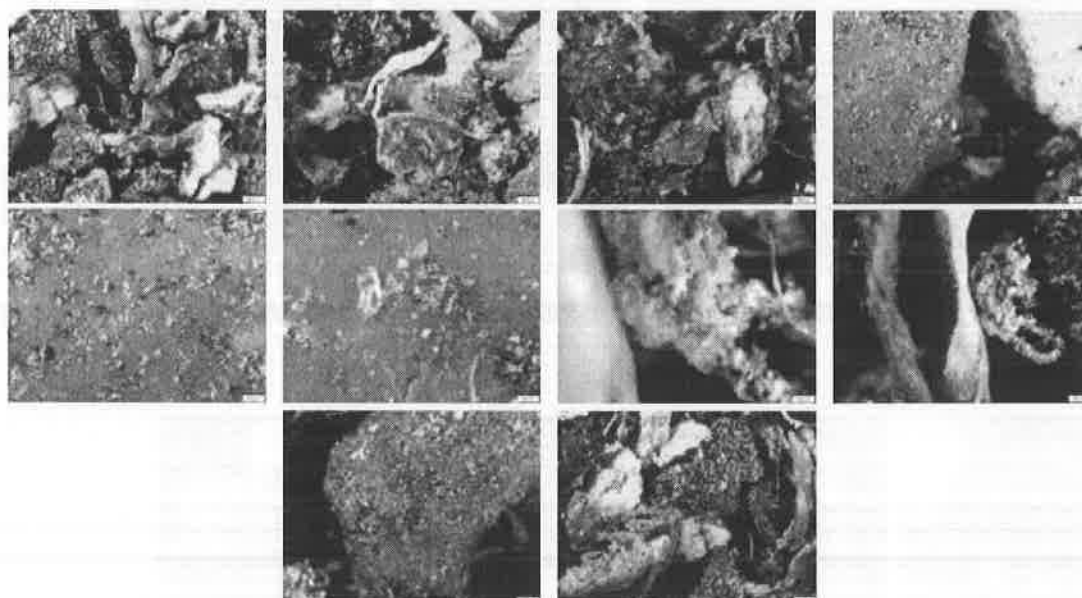


Slika 33 Granulometrijska krivulja uzorka J4.1

2.2.2.4 Mikroskopiranja crne hrpe

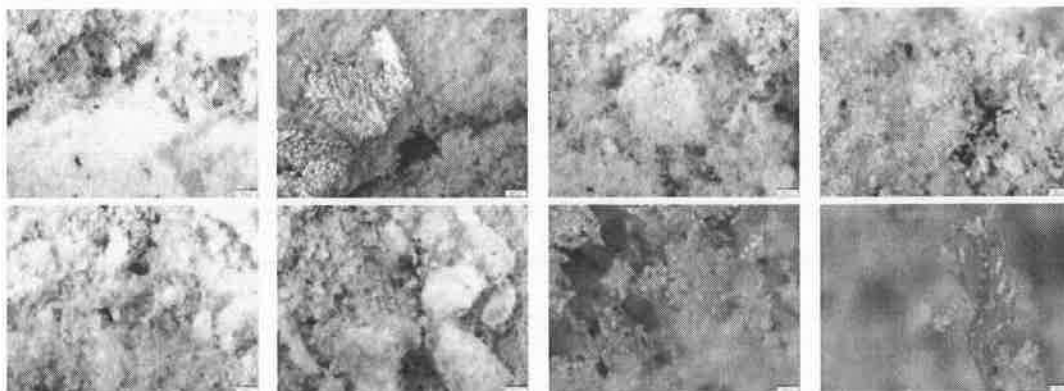
Rezultati mikroskopiranja (Slike 34-37) crne hrpe dani su u nastavku:

Uzorak J1.1 (uključuje i J1.3, J2.1, J2.2, J3.2, J3.3).



Slika 34 Uzorak J1.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak J1.2



Slika 35 Uzorak J1.2 – slike dobivene mikroskopirom u mjerilu 500 µm

Uzorak J3.1



Slika 36 Uzorak J3.1 – slike dobivene mikroskopirom u mjerilu 500 µm

Uzorak J4.1



Slika 37 Uzorak J4.1 – slike dobivene mikroskopirom u mjerilu 500 µm



2.2.2.5 H svojstvo – crna hrpa

Za potrebe određivanja H opasnih svojstava otpada napravljen je kompozitni uzorak od svih uzetih uzoraka crnih hrpa. Svi metali u ovoj tablici mjereni su tehnikom ICP-AES nakon razaranja zlatotopkom prema normi HRN EN 13657:2008.

Rezultati su prikazani u Tablicama 21 do 24.

Tablica 21. Rezultati ispitivanja sastava krute faze (metali)

Parametar	Mjerna jedinica	J kompozit
Aluminij (Al)	mg kg ⁻¹	22.300
Antimon	mg kg ⁻¹	2.030
Arsen	mg kg ⁻¹	2,42
Bakar	mg kg ⁻¹	22.500
Barij	mg kg ⁻¹	314
Berilij	mg kg ⁻¹	< 1
Bor	mg kg ⁻¹	64,6
Cink	mg kg ⁻¹	1.154,7
Kadmij	mg kg ⁻¹	8,1
Kalcij	mg kg ⁻¹	50.800
Kobalt	mg kg ⁻¹	13,3
Krom	mg kg ⁻¹	21,8
Magnezij (Mg)	mg kg ⁻¹	4.730
Molibden	mg kg ⁻¹	2,19
Natrij	mg kg ⁻¹	330
Olovo	mg kg ⁻¹	1.834,3
Selen	mg kg ⁻¹	1,38
Srebro	mg kg ⁻¹	4,51
Talij	mg kg ⁻¹	< 1
Vanadij	mg kg ⁻¹	2,85
Živa	mg kg ⁻¹	0,3
Stroncij	mg kg ⁻¹	11,6
Litij	mg kg ⁻¹	< 1

Tablica 22. Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)

Parametar	Mjerna jedinica	J kompozit
Ukupni PAH	mg kg⁻¹ s.t.	0,97
Naftalen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01
Acenaften	mg kg ⁻¹ s.t.	0,04
Fluoren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,08
Fenantren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,27
Antracen	mg kg ⁻¹ s.t.	0,03
Fluoranten	mg kg ⁻¹ s.t.	0,21
Piren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,17
Benzo(a)antracen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01
Krizen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01
Benzo(b)fluoranten	mg kg ⁻¹ s.t.	0,02
Benzo(k)fluoranten	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01
Benzo(a)piren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,01
Dibenz(a,h)antracen	mg kg ⁻¹ s.t.	0,03
Benzo(g,h,i)perilen	mg kg ⁻¹ s.t.	0,10
Indeno(1,2,3-c,d)piren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,01

Tablica 23. Pesticidi i ostali organski parametri

Parametar	Mjerna jedinica	J kompozit (01483/25)
Suma PCB (9 kongenera)	mg kg⁻¹	1,6
Mineralna ulja	mg kg⁻¹	579
BTEX (zbroj)	mg kg⁻¹	5,4
DDT (zbroj)	mg kg ⁻¹	< 0,1
Lindan (gamma-HCH)	mg kg ⁻¹	< 0,05
Heptaklor	mg kg ⁻¹	< 0,05



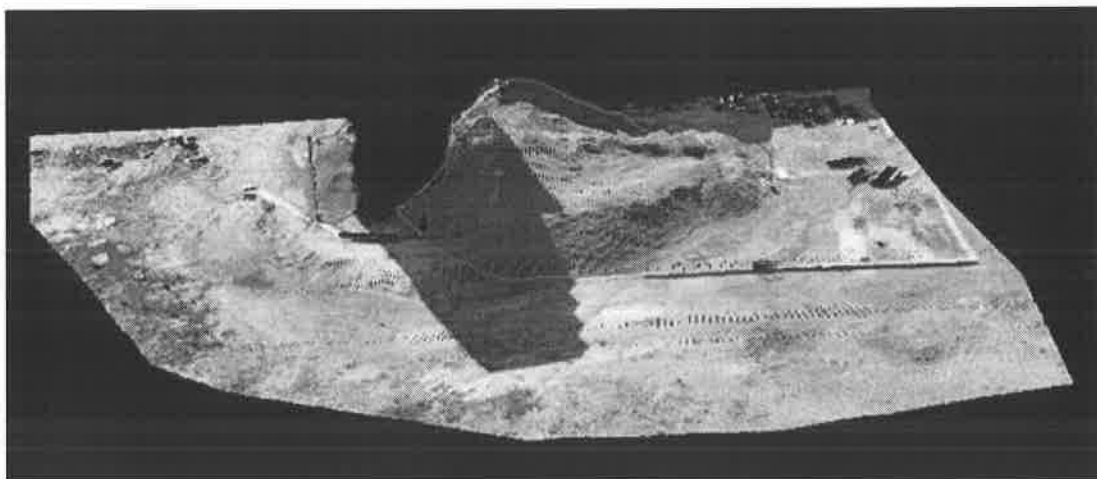
Tablica 24. Fizikalna svojstva, ekotoksičnost i mikrobiologija

Parametar	Mjerna jedinica	J kompozit
Suha tvar (105°C)	%	84,5
Akutna toksičnost	LID--D	3
Aerobni i anaerobni mikroorganizmi	n.n./10 g	nije nađeno
Patogeni mikroorganizmi	-	nisu izolirani

- **LID--D:** Jedinica za akutnu toksičnost koja označava najniže razrjeđenje eluata pri kojem nema štetnog učinka na ispitne organizme (*Daphnia magna*).
- **n.n./10 g:** "Nije nađeno" u 10 grama uzorka, što je granica detekcije za mikrobiološka ispitivanja krutih uzoraka.

2.2.2.6 Količina otpada - crnih hrpa

Rezultat geodetskog snimanja (Slika 38) ukazuje da velika crna hrpa smještena neposredno iza objekta ima volumen od 9101.78 m^3 te da je smještena na površini od 1855 m^2 . Druga, manja crna hrpa smještena bočno od objekta ima volumen od 313.02 m^3 , a smještena je na površini od 166 m^2 . Gustoća uzorka na dubini od 5 m [kg/m^3] uzeta je kao relevantna za izračun mase odloženog otpada i iznosila je $466,4 \text{ kg}/\text{m}^3$, dok je gustoća uzorka na dubini od 5 m za bočnu hrpu iznosila $538,1 \text{ kg}/\text{m}^3$ (gustoća uzorka J1.2 zbog njegove specifičnosti i male zastupljenosti nije uzeta u obzir). Temeljem navedenog masa crne hrpe (velike) iznosi $9.101,78 \text{ m}^3 \times 466,4 \text{ kg}/\text{m}^3 = 4.245,01 \text{ t}$, dok masa crne hrpe bočno smještene iznosi $313,02 \text{ m}^3 \times 538,1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 168,44 \text{ t}$.



Slika 38 Oblak točaka s prikazanim područjima obračuna volumena (crveno)⁶

2.2.3 Otpad zakopan na lokaciji

Uzorci koji su uzeti na području gdje je otpad zakopan uzeti su na dva načina. Prvi način je bio bušenjem strojevima na 5 točaka i u prikazu rezultata koristi se **oznaka H**.

Drugi način uzorkovanja odnosio se na iskopavanje bagerom do određene dubine (temeljem rezultata neinvazivnih istražnih radova). Ukupno je otpad uzorkovan na 6 lokacija i u prikazu

⁶ Geodetsko snimanje volumena odloženog otpada na lokaciji Gospić od strane 2025. godine



rezultata koristi se **oznaka I**. Stoga su uzorci I i H uzeti s iste lokacije, jedina razlika je način uzimanja uzoraka.

Za potrebe izrade ovog vještačenja uzeti su uzorci kako je prethodno navedeno te je napravljen test procjeđivanja, analiza sastava krute faze (ukupni sadržaj metala) i energetska svojstva materijala (otpada) te analiza prisutnosti patogenih mikroorganizama. Ove analize napravio je Nastavni zavod za javno zdravstvo Andrija Štampar u sklopu očevida. Dodatno, u ovom vještačenju korišteni su i analizirani rezultati analiza koje je napravio DIRH 18.4.2024. Na Geotehničkom fakultetu napravljeno je određivanje nasipne gustoće otpada, gustoće čvrstih čestica otpada, udio metala, granulometrijski sastav, vodopropusnost, sortiranje i mikroskopiranje otpada.

2.2.3.1 Rezultati analize testa procjeđivanja za iskope i bušotine (uzorci I i H)

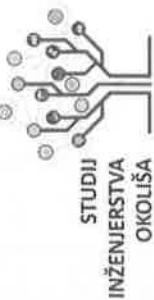
U Tablici 25 i Tablici 26 prikazani rezultati testa procjeđivanja za bušotine, odnosno iskopa sa predmetne lokacije. Na Tablici 27 dan je prikaz rezultata testa procjeđivanja napravljen od strane DIRH-a.

Tablica 25. Rezultati testa procjeđivanja za bušotine H

Analitički broj	Oznaka uzorka	Koordinat e (E / N)	Kloridi	Sulfati	Arsen (As)	Barij (Ba)	Kadmij (Cd)	Krom (Cr)	Bakar (Cu)	Živa (Hg)	Molibden (Mo)	Nikal (Ni)	Olovo (Pb)	Antimon (Sb)	Selen (Se)	Cink (Zn)	Suha tvar	pH	Fluorid	TDS	DOC	
			mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	%	(-)	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ s.t.			
01694/25	Kutija H1 Bušotina (1. uz.) 1 (1m)	E412423 N4933384	53	120	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,74	<0,050	<5,0	98,8	8,3	3,65	5430	500
01695/25	Kutija H1 Bušotina (2. uz.) 1 (2m)	E412423 N4933384	86	240	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	1,1	<0,050	<5,0	97,0	8,3	3,70	7540	301
01696/25	Kutija H1 Bušotina (3. uz.) 1 (3m)	E412423 N4933384	56	150	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,093	<0,050	<5,0	94,1	8,2	2,00	9720	490
01697/25	Kutija H2 Bušotina (1. uz.) 2 (1m)	E412458 N4933412	49	650	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	1	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,74	<0,050	<5,0	93,0	10,6	3,67	9520	137
01698/25	Kutija H2 Bušotina (2. uz.) 2 (2m)	E412458 N4933412	56	140	0,20	10	0,3	1,0	1,0	5	0,002	1,0	2	2,0	0,98	0,050	5,0	91,2	8,4	3,31	7000	409
01699/25	Kutija H2 Bušotina (3. uz.) 2 (3m)	E412458 N4933412	76	68	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	1,9	<0,050	<5,0	91,4	8,3	3,28	4300	204
01700/25	Kutija H3 Bušotina (1. uz.) 3 (1m)	E412468 N4933354	51	190	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,59	<0,050	<5,0	87,9	8,2	4,67	6740	601
01701/25	Kutija H3 Bušotina (2. uz.) 3 (2m)	E412468 N4933354	54	240	0,20	10	0,3	1,0	1,0	5	0,002	1,0	2	2,0	0,62	0,050	5,0	89,6	8,6	5,69	5040	554
01702/25	Kutija H3 Bušotina (3. uz.) 3 (3m)	E412468 N4933354	40	190	<0,20	<10	<0,3	<0,040	<5	<0,002	<1,0	<1,0	<2	<2,0	<0,070	<0,050	<5,0	85,2	8,0	4,19	4400	331
01703/25	Kutija H4 Bušotina (1. uz.) 4 (1m)	E412506 N4933342	58	100	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,77	<0,050	<5,0	90,3	8,4	5,08	3190	256
01704/25	Kutija H4 Bušotina (2. uz.) 4 (2m)	E412506 N4933342	83	100	0,20	10	0,3	1,0	1,0	5	0,002	1,0	2	2,0	1,1	0,050	5,0	85,3	8,3	2,32	1420	176
01705/25	Kutija H4 Bušotina (3. uz.) 4 (3m)	E412506 N4933342	59	170	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,33	<0,050	<5,0	85,6	7,9	<2,00	2260	464



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Halerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

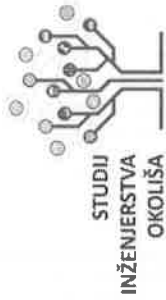
01706/25	Kutija H5 Bušotina (1. uz.)/5 (1m)	E412515 N4933266	46	150	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,25	<0,050	<5,0	83,0	8,0	3,41	2980	429
01707/25	Kutija H5 Bušotina (2. uz.)/5 (2m)	E412515 N4933266	39	170	0,20	10	0,3	1,0	5	0,002	1,0	2	2,0	0,40	0,050	5,0	80,0	8,2	3,22	2500	332
01708/25	Kutija H5 Bušotina (3. uz.)/5 (3m)	E412515 N4933266	53	120	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,74	<0,050	<5,0	98,8	8,3	3,65	5430	500
01709/25	Kutija H5 Bušotina (4. uz.)/5 (4m)	E412515 N4933266	86	240	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	1,1	<0,050	<5,0	97,0	8,3	3,70	7540	301
01710/25	Kutija H5 Bušotina (5. uz.)/5 (5m)	E412515 N4933266	56	150	<0,20	<10	<0,3	<1,0	<5	<0,002	<1,0	<2	<2,0	0,093	<0,050	<5,0	94,1	8,2	2,00	9720	490
	MDK Inert*		25.000	50.000	5	100	2	40	300	70	30	50	5	7	200	25	—	inf.	500	—	1.000
	MDK Neop.		15.000	20.000	1	50	0,2	10	100	10	10	10	0,7	0,5	50	2	—	inf.	150	—	800
	MDK Opasni*		800	1.000	0,04	2	0,01	0,4	20	0,5	0,5	0,5	0,06	0,1	4	0,5	—	inf.	10	—	500



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Halterova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Tablica 26. Rezultati testa procjeđivanja za iskope I

Analitički broj uzorka	Oznaka uzorka	Koordinate (E / N)	Kloridi (Cl) mg/kg	Sulfati (SO ₄) mg/kg	Kadmij (Cd) mg/kg	Bakar (Cu) mg/kg	Živa (Hg) mg/kg	Nikal (Ni) mg/kg	Barij (Ba) mg/kg	Krom (Cr) mg/kg	Molibden (Mo) mg/kg	Olovo (Pb) mg/kg	Antimon (Sb) mg/kg	Selen (Se) mg/kg	Cink (Zn) mg/kg	Arsen (As) mg/kg	Suha tvar %	pH	Fluorid (F) mg/kg	Otopljene krutine mg/kg	Organski ugljik mg/kg
			s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.	s.t.
01353/25	11.1 AŠ	E412435	67	78	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,6	<0,05	<5,0	<0,20	72,0	8,1	2,39	1380	237
01354/25	11.2 AŠ	E412435	50	57	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	2,0	<0,05	<5,0	<2,0	70,4	8,1	2,37	1380	449
		N4933379	47	82	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	4,0	<0,05	<5,0	<0,20	81,3	8,4	5,12	1460	518
01355/25	11.3 AŠ	E412435	340	170	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	2,1	<0,05	<5,0	<0,20	64,3	8,1	2,48	4560	633
		N4933392	370	130	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,6	<0,005	<5,0	<0,20	70,8	8,1	3,82	4020	352
01358/25	12.3 AŠ	E412481	1000	1900	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	0,27	<0,05	<5,0	<0,20	77,3	8,0	4,44	5120	819
		N4933392	80	2000	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,1	<0,05	<5,0	<0,20	73,3	8,0	6,15	3140	465
01360/25	13.1 AŠ	E412511	28	47	0,5	<5	<0,0022	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	0,35	<0,05	<5,0	<0,20	91,9	8,1	2,82	<1000	469
		N4933297	35	90	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	0,16	<0,05	<5,0	<0,20	67,9	8,3	4,44	<1000	490
01362/25	13.3 AŠ	E412511	68	330	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	<0,07	<0,05	<5,0	<0,20	75,0	9,0	4,12	1020	438
		N4933297	55	54	<0,3	<5	<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<2,0	1,4	<0,05	<5,0	<0,20	82,2	8,3	5,57	1360	500

01372/25	15.1 AŠ -5	62	48	<0,3	<5<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	1,1	<0,05	<5,0	<0,20	79,9	8,3	3,67	1720	524
01373/25	16.1 AŠ -6	1200	240	<0,3	15<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	0,21	<0,05	10	<0,20	77,4	7,7	<2,00	19940	6960
8	Omot-	41	66	<0,3	<5<0,002	<2	<10	<1,0	<1,0	<1,0	<2,0	<0,070	<0,050	<5,0	<0,20	99,8	7,8	<2,00	4460	3690
01712/25	M1.1	25.000	50.000	5	100	2	40	300	70	30	50	5	7	200	25	—	inf.	500	—	1.000
MDK Inert*		15.000	20.000	1	50	0,2	10	100	10	10	10	0,7	0,5	50	2	—	inf.	150	—	800
MDK Neop.		800	1.000	0,04	2	0,01	0,4	20	0,5	0,5	0,5	0,06	0,1	4	0,5	—	inf.	10	—	500
MDK Opasni*																				

Tablica 27. Test procjeđivanja, inspekcijski nalaz DIRH

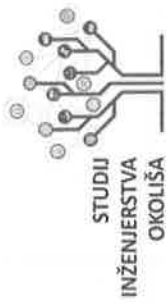
Analički broj	Oznaka uzorka	Koordinate (E / N)	Kloridi	Sulfati	Arsen (As)	Barij (Ba)	Kadmij (Cd)	Krom (Cr)	Bakar (Cu)	Živa (Hg)	Molibden (Mo)	Nikal (Ni)	Olovo (Pb)	Antimon (Sb)	Selen (Se)	Cink (Zn)	Suha tvar	pH	Fluorid	TDS	DOC
			mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	%	(-)	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.	mg kg ⁻¹ s.t.
00404/24	Uzorak 6	k.č. 591/2-599/3	56	100	<0,20	<10	<0,05	<1	1,6	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	3,5	<0,050	<5,0	77,9	8,4	2,80	2300	91,4
00405/24	Uzorak 7	k.č. 599/2-599/3	98	120	<0,20	12	<0,05	<1	2,6	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	2,5	<0,050	<5,0	75,9	8,4	4,85	7080	91,9
00407/24	Uzorak 9 iskop	k.č. 599/3	590	3000	<0,20	<10	<0,05	<1	<1,0	<0,002	<1,0	<2,0	<2,0	3,2	<0,050	<5,0	89,3	8,1	<2,00	5800	2360
00408/24	Uzorak 10 iskop	k.č. 599/3	200	320	<0,20	<10	<0,05	<1	1,0	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	<0,070	<0,050	14	57,5	7,3	4,30	5380	984
00410/24	Uzorak 12 iskop	k.č. 599/3	68	23	<0,20	<10	<0,05	<1	1,4	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	3,0	<0,050	<5,0	80,0	10,1	<2,00	5000	232
00411/24	Uzorak 13	k.č. 599/2	380	84	<0,20	10	<0,05	<1	1,2	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	1,5	<0,050	<5,0	93,3	8,1	2,55	3300	164



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



00413/24	Uzorak 15	k.č. 599/6	510	170	<0,20	<10	<0,05	<1	1,7	<0,002	<1,0	<1,0	<2,0	0,80	<0,050	<5,0	93,2	8,1	<2,00	2820	156
		MDK Inert*	25.000	50.000	5	100	2	40	300	70	30	50	5	7	200	25	—	inf.	500	—	1.000
		MDK Neop.	15.000	20.000	1	50	0,2	10	100	10	10	10	0,7	0,5	50	2	—	inf.	150	—	800
		MDK Opasni*	800	1.000	0,04	2	0,01	0,4	20	0,5	0,5	0,5	0,06	0,1	4	0,5	—	inf.	10	—	500

2.2.3.2 Rezultati kvantitativne analize i energetske vrijednosti iskopa

Rezultati kvantitativne analize i energetske vrijednosti iskopa prikazani su u tablicama u nastavku.

Tablica 28. Rezultati analize iskop (kvantitativna) - DIRH

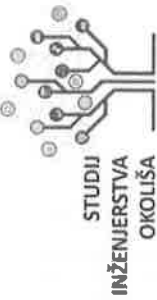
Analički broj	Oznaka uzorka	Broj čestice	Olovo (Pb)	Živa (Hg)	Nikal (Ni)	Berilij (Be)	Kadmij (Cd)	Vanadij (V)	Titan (Ti)
			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
			56	100	<0,20	<10	<0,05	<1	1,6
00404/24	Uzorak 6	k.č. 591/2-599/3	98	120	<0,20	12	<0,05	<1	2,6
00405/24	Uzorak 7	k.č. 599/2-599/3	590	3000	<0,20	<10	<0,05	<1	<1,0
00407/24	Uzorak 9 iskop	k.č. 599/3	200	320	<0,20	<10	<0,05	<1	1,0
00408/24	Uzorak 10 iskop	k.č. 599/3	68	23	<0,20	<10	<0,05	<1	1,4
00410/24	Uzorak 12 iskop	k.č. 599/3	380	84	<0,20	10	<0,05	<1	1,2
00411/24	Uzorak 13	k.č. 599/2	510	170	<0,20	<10	<0,05	<1	1,7



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Tablica 29. Rezultati kvantitativne analize i ogrjevne vrijednosti iskop I

Analitički broj	Oznaka uzorka	Koordinate (E / N)	Kadmij (mg/kg)	Krom (mg/kg)	Živa (mg/kg)	Nikal (mg/kg)	Olovo (mg/kg)	Vanadij (mg/kg)	PCB (mg/kg)	Ogrjevnost vrh (gornja) (MJ/kg s.t.)	Ogrjevnost vrh (donja) (MJ/kg s.t.)	Sadržaj vode (%)	Klor (ukupni) (%)	Sumpor (ukupni) (%)	Pepeo (800°C) (%)
01450/25	I 1 kompozit	E412435 N4933379	4,09	33,4	0,798	35,8	773	<10	<1	15,77	14,15	23,9	0,171	0,014	20,27
01451/25	I 2 kompozit	E412481 N4933392	<3	48,9	0,216	53,9	385	19,3	<1	5,89	4,81	34,4	0,154	0,050	35,52
01452/25	I 3 kompozit	E412511 N4933297	<3	6,87	<0,2	<20	63,8	<10	<1	22,17	20,82	8,3	<0,005	0,013	28,78
01461/25	I 4.1 AŠ	Četvrti iskop (I-4)	5,91	98,1	0,44	75,7	1750	14,5	1,9	21,84	20,16	24,5	0,182	0,048	31,09
01462/25	I 5.1 AŠ	Peti iskop (I-5)	6,09	103	0,47	93	828	16,1	<1	10,10	8,95	19,5	0,046	0,014	44,15
01463/25	I 6.1 AŠ	Šesti iskop (I-6)	<3	<3	<0,2	<20	<20	<10	<1	27,97	25,73	20,7	0,139	0,139	6,20
8 01712/25	Omot M1.1		<3	<3	0,017	<20	<10	<10	<1	22,30	19,71	0,520	<0,005	0,008	80,44

2.2.3.3 Rezultati analize - granulometrija, vodopropusnost, pepeo, vlažnost, udio metala

Dobiveni rezultati prikazani su Tablici 30 i Tablici 31 i na slikama 39 do 52 granulometrijskih krivulja uzoraka I1.1, I1.2, I2.1 i I4.1, I5.1, I6.1, H1.1, H2.1, H2.5, H2.7, H3.1, H4.2, H5.4, H5.6 i H5.10. Preostali I i H uzorci nisu prosijavani zbog sličnosti s već prethodno prosijanim uzorcima ili zbog prevelikih čestica nisu bili prikladni za prosijavanje.

Tablica 30. Vlažnost, gustoća čvrstih čestica, pepeo i udio metala na uzorcima iz iskopa

Oznaka uzorka	Vlažnost	Gustoća čvrstih čestica	Pepeo (800 °C) – preuzeto iz AŠ	Udio metala	Prosijano
	[%]	[g/cm ³]	[%± pogreška]	[%]	
I1.1	11,43	1,53	20,27 ± 1,34 - kompozit	Nije detektirano	DA
I1.2	18,27	1,41		Nije detektirano	DA
I1.3	6,56	1,34		Nije detektirano	NE ⁷
I2.1	20,07	1,92	35,52 ± 2,34 - kompozit	Nije detektirano	DA
I2.2	13,98	1,92		Nije detektirano	Kao 2.1
I2.3	17,36	1,89			NE*
I2.4	13,78	1,89			NE*
I3.1	4,38	1,53	28,78 ± 1,9 - kompozit	Nije detektirano	NE*
I3.2	17,77	2,25		Nije detektirano	NE*
I3.3	13,64	2,59		Nije detektirano	NE*
I4.1	11,11	1,63	31,09 ± 2,05	Nije detektirano	DA
I5.1	16,14	1,54	44,15 ± 2,91	Nije detektirano	DA
I6.1	20,63	1,41	6,20 ± 0,41	Nije detektirano	DA
M			80,44 ± 5,31	Nije detektirano	NP ⁸

⁷ Prevelike čestice za prosijavanje

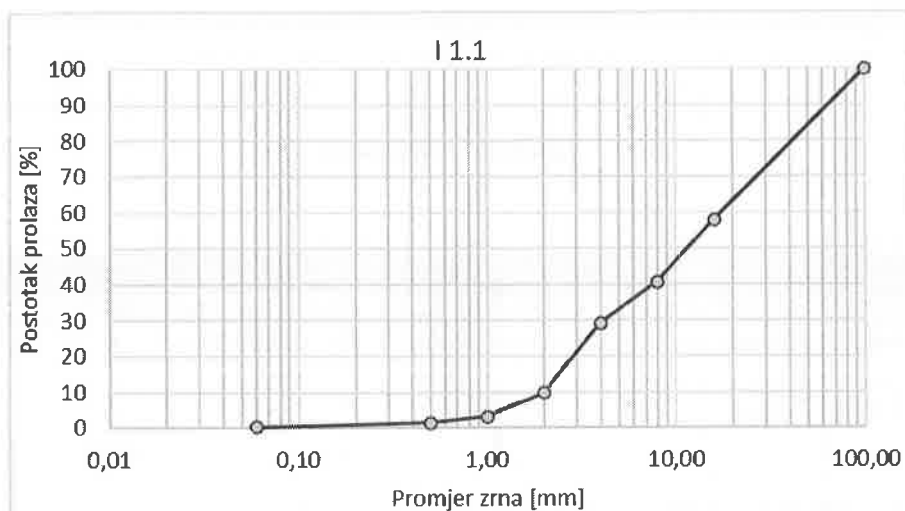
⁸ Nije promjenjivo – cjelovita ambalaža

Tablica 31. Vlažnost, gustoća čvrstih čestica, pepeo, udio metala i vodopropusnost na uzorcima iz bušotina

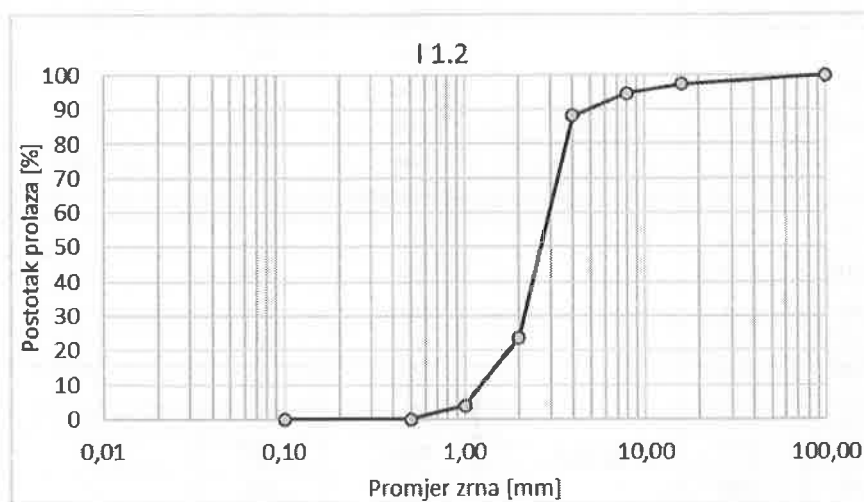
Oznaka uzorka	Vlažnost [%]	Gustoća [g/cm ³]	Nasipna [kg/m ³]	Udio metala [%]	Prosijano	Vodopropusnost [m/s]	Dubina [m]
H1.1	2,35	2,62	823,51	Nije	DA	/	2,7
H1.2	5,67	2,46		Nije	DA	/	
H1.3	6,37	2,92		Nije	DA	/	
H1 glina						$\approx 1 \times 10^{-11}$	>2,7
H2.1	6,03	1,78	841,04	Nije	DA	/	3,0
H2.2	5,86	2,43		Nije	NE*	/	
H2.3	5,93	2,41		Nije	DA	/	
H2.4	8,12	2,71		Nije	DA	/	
H2.5	8,16	1,77		Nije	DA	/	
H2.6	12,12	2,45		Nije	NE*	/	
H2.7	7,96	1,55		Nije	DA	/	
H3.1	11,02	1,66	469,70	Nije	DA	/	2,0
H3 glina	/	/	/	Nije detektirano		$2,7 \times 10^{-11}$	>2,0
H4.1	6,48	2,62	639,59	Nije	DA	/	2,3
H4.2	13,46	1,77		Nije	DA	/	
H5.1	3,44	2,55	817,87	Nije	DA	/	4,5
H5.2	2,08	2,63		Nije	NE*	/	
H5.3	5,50	2,86		Nije	DA	/	
H5.4	8,56	1,96		Nije	DA	/	
H5.5	10,96	2,77		Nije	NE*	/	
H5.6	8,73	1,88		Nije	DA	/	
H5.7	10,34	2,29		Nije	DA	/	
H5.8	12,12	2,23		Nije	DA	/	
H5.9	37,39	2,05		Nije	NE*	/	
H5.10	18,50	1,97		Nije	DA	/	
H5 glina						$\approx 1 \times 10^{-11}$	>4,5

*nije prikladno za prosijavanje

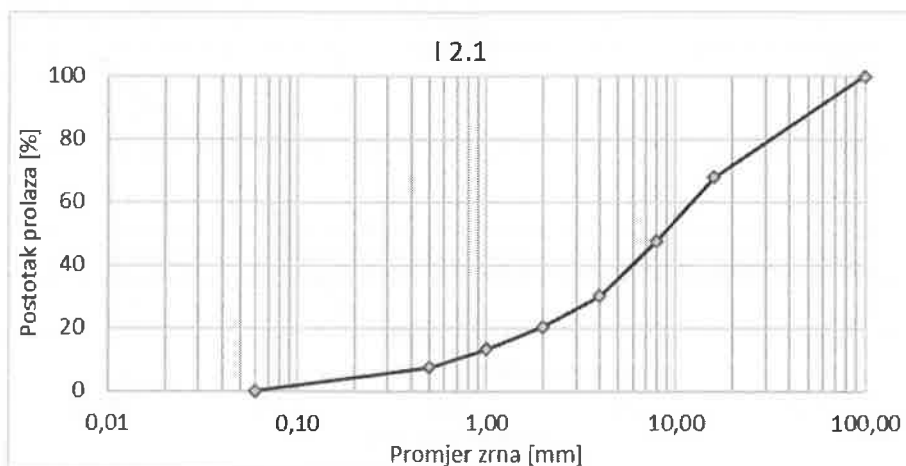
U nastavku su prikazane granulometrijske krivulje uzoraka s gustoćom čvrstih čestica < 2,00 g/cm³, odnosno uzorci sa značajnim primjesama organskih komponenata.



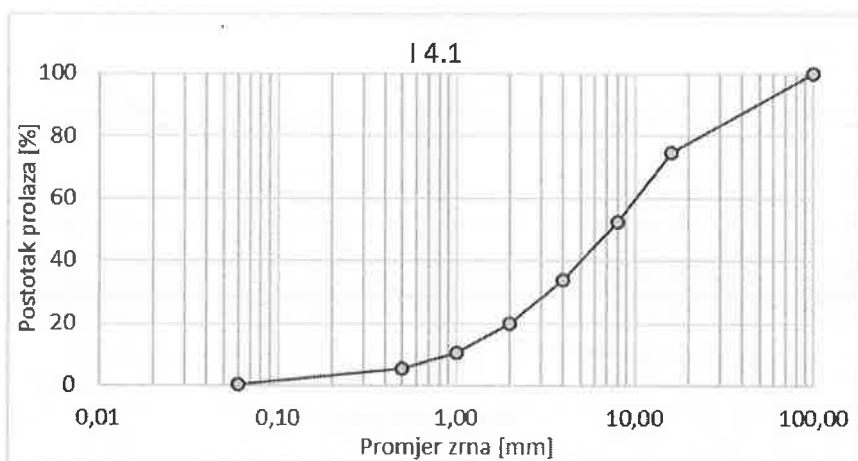
Slika 39 Granulometrijska krivulja uzorka I1.1



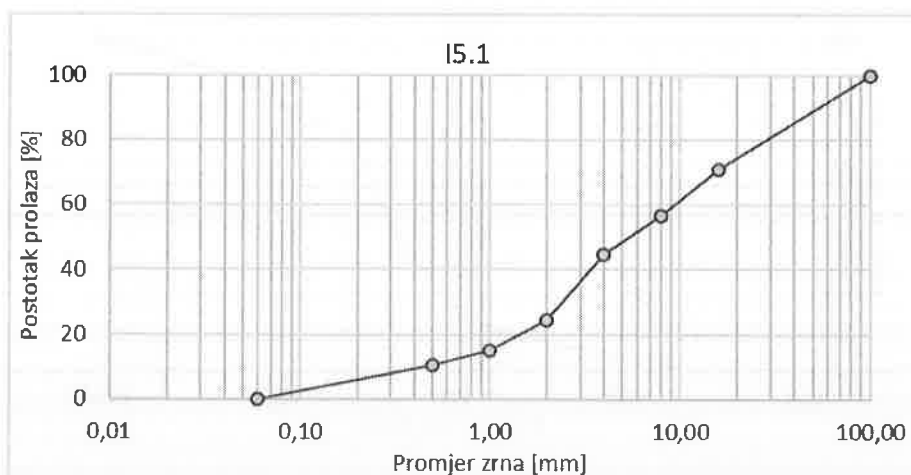
Slika 40 Granulometrijska krivulja uzorka I1.2



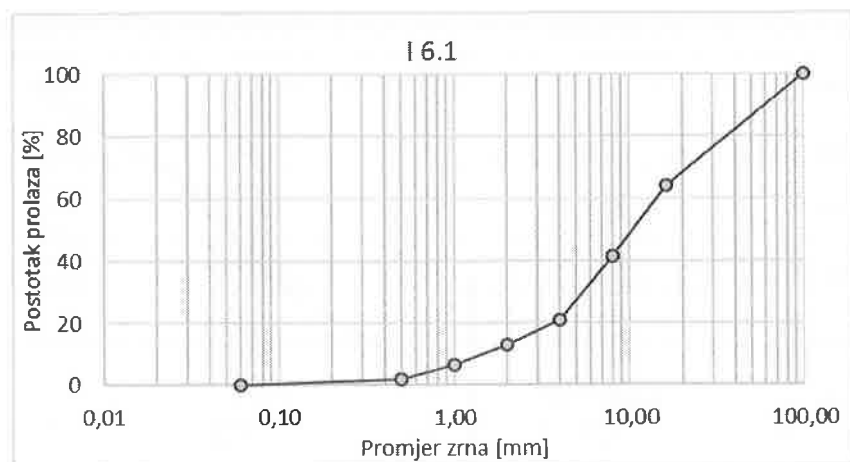
Slika 41 Granulometrijska krivulja uzorka I2.1



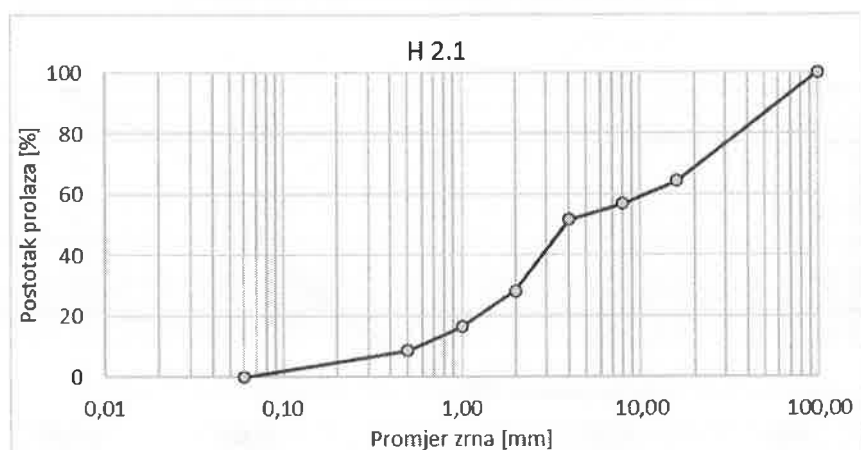
Slika 42 Granulometrijska krivulja uzorka I4.1



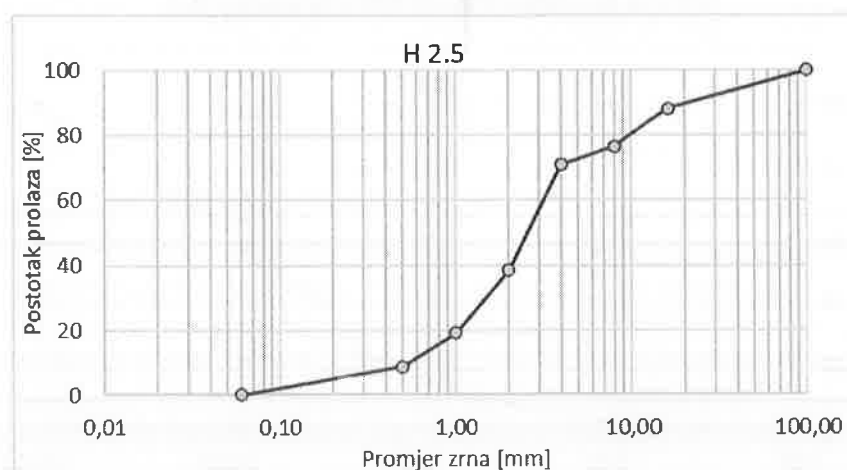
Slika 43 Granulometrijska krivulja uzorka I5.1



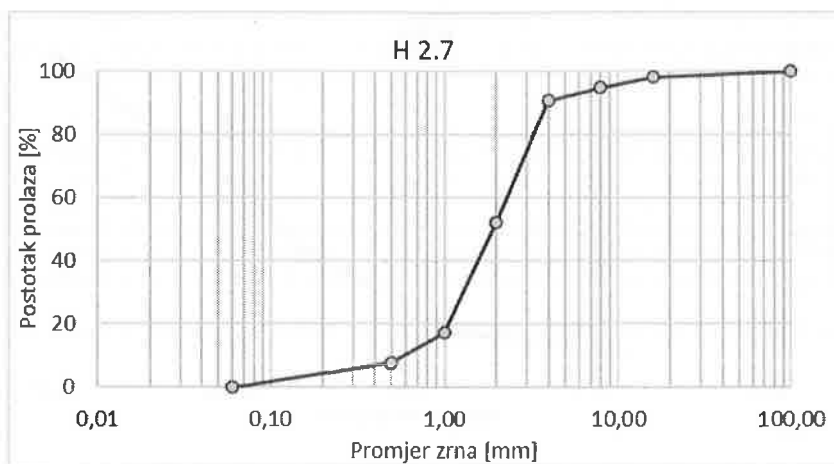
Slika 44 Granulometrijska krivulja uzorka I 6.1



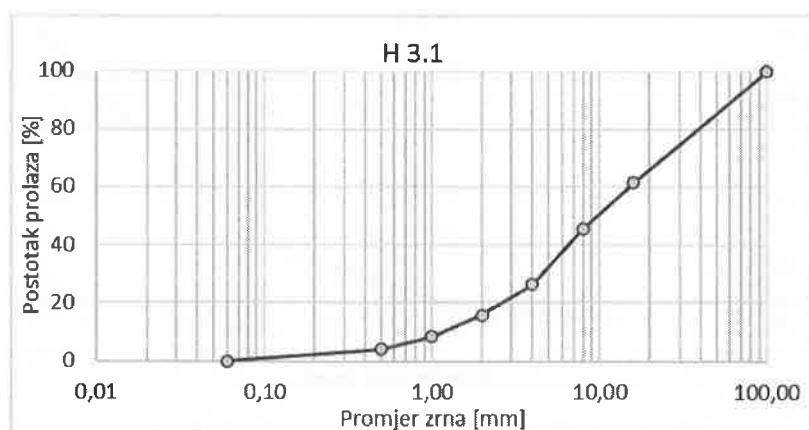
Slika 45 Granulometrijska krivulja uzorka H2.1



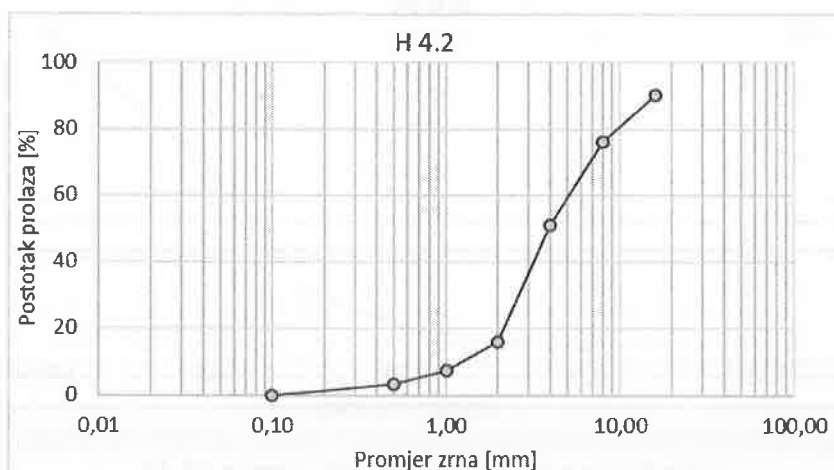
Slika 46 Granulometrijska krivulja uzorka H2.5



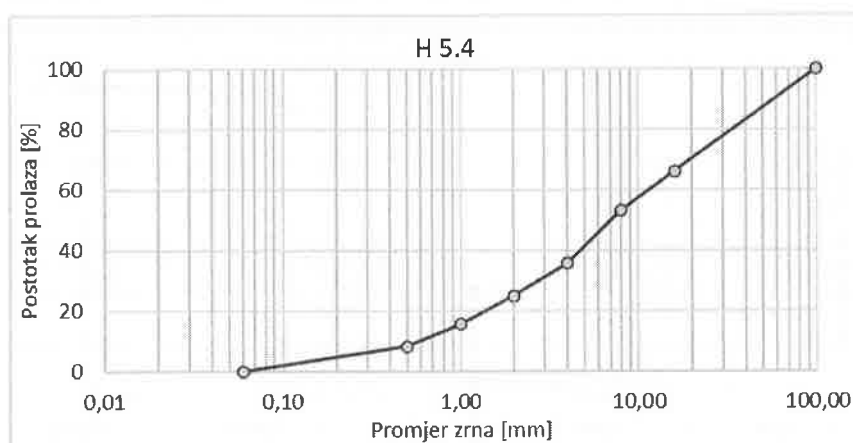
Slika 47 Granulometrijska krivulja uzorka H2.7



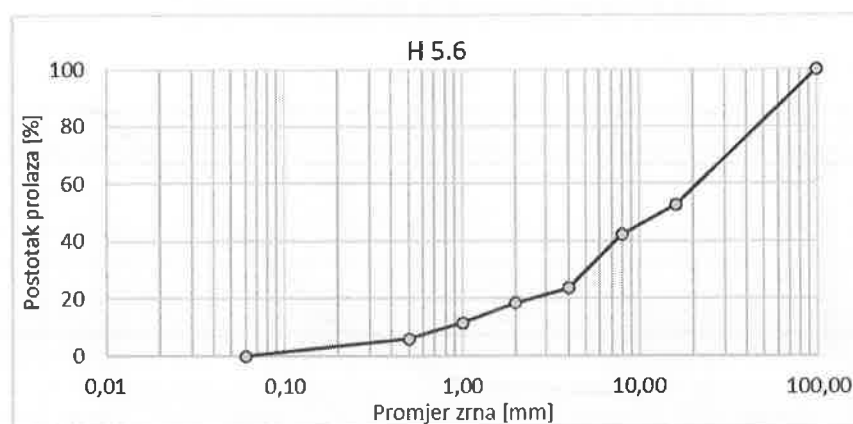
Slika 48 Granulometrijska krivulja uzorka H3.1



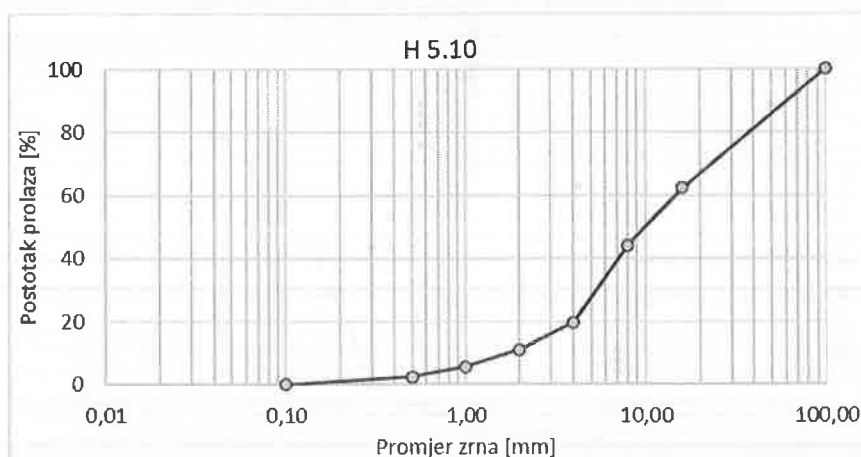
Slika 49 Granulometrijska krivulja uzorka H4.2



Slika 50 Granulometrijska krivulja uzorka H5.4



Slika 51 Granulometrijska krivulja uzorka H5.6



Slika 52 Granulometrijska krivulja uzorka H5.10



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



2.2.3.4 Rezultati sortiranja zakopanog otpada

Za potrebe provedbe vještačenja za uzorke iskopa I provedeno je sortiranje, dok su se bušotine H samo karakterizirale vizualno.

Iskopi (I)

Rezultati sortiranja zakopanog otpada prikazani su u Tablici 32.

Tablica 32. Raspodjela sastavnica u zakopanom otpadu

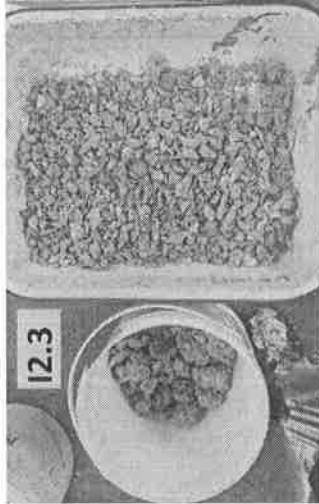
Naziv uzorka	Sitnica <16 mm	Plastika	Folija	Građevinski otpad	Guma	Staklo	Drvo	Jalovina/ neidentificirano
	%	%	%	%	%	%	%	%
I1.1.	57	18	0	25	0	0	0	
I1.2	92	7	0	0	0	0	0	
I1.3	35	56	0	4	3	1	0	
I2.1	90	0	8	0	1	0	1	
I2.2	96	4						
I2.3	41	—	—	—	—	—	—	58
I2.4	—	—	—	—	—	—	—	100
I3.1	10	80	0	2	4	0	0	
I3.2	51	27	2	16	2	0	0	
I3.3	7	0	1	92	0	0	0	
I4.1	95	5	0	0	0	0	0	
I5.1	79	—	—	—	—	—	—	21
I6.1	76							24

Tablica 33. Rezultati sortiranja zakopanog otpada

Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I.1.1	Heterogeni materijal u kojem dominira sitna mineralna frakcija (<16 mm) koja nakon prosijavanja čini 57 % mase uzorka. Plastična frakcija (>16 mm) zastupljena je s 18 % te uključuje nepravilno fragmentirane polimere različitih boja i oblika, dok građevinski agregati (>16 mm) čine 25 % mase i prepoznaju se kao krupniji mineralni i keramički komadi. Oblik plastičnih fragmenata upućuje na mehaničko drobljenje.	Mješavina zemljanog materijala (jalovine)/građevinskog otpada i plastike iz obrade od EE opreme	19 12 12 17 01 07 pomiješano	
I.1.2	Sitnozrnati i relativno homogen otpadni materijal mrvičaste strukture. Dominira frakcija veličine od nekoliko milimetara, uz povremene inkluzije nešto krupnije plastike.	Ostatak od mehaničke obrade (EE ili kablova)	19 12 12	

Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I1.3	Heterogeni uzorak sastavljen pretežito od krutih, pigmentiranih i mehanički lomljenih plastičnih fragmenata različitih dimenzija (>16 mm) i oblika. Fragmenti su angularni, pločasti i nepravilni, često tamnih i sivih tonova. Krupnija zrna građevinskog otpadnog materijala, gume i stakla zastupljena su u manjem udjelu te ne mijenjaju dominantni „plastični“ karakter uzorka. Prisutna je i značajnija količina sitne frakcije (<16 mm) – 35%. U sitnozrnatoj frakciji također je uočljiva prisutnost plastike.	Otpad kompatibilan s fragmentiranim električnim i elektroničkim otpadom (EE otpad)	19 12 04 19 12 12	 I1.3

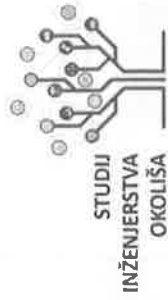
Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I2.1	Uzorak s pretežito sitnozrnatom frakcijom (<16 mm), vlaknaste strukture. Sitnozrnata frakcija sadrži komade degradirane plastike, tekstilnih vlakana i tankih folijastih polimera, često formiranih u zbijene nakupine. Ova frakcija prema sadržaju odgovara mehanički obrađenom i steriliziranom medicinskom otpadu (uočavaju se cjevčice koje se tipično rabe u medicini). U krupnozrnatijoj frakciji dominiraju plastični folijasti (2D) materijali.	Otpad porijeklom iz obrade medicinskog otpada	19 12 04 19 12 12 19 12 11*	I2.1

Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I2.2	Uzorak s pretežito sitnozrnatom frakcijom (<16 mm). Sitnozrnata frakcija sadrži komade degradirane plastike među kojima posebno ističu komponente obrađenog medicinskog otpada (fragmentirane cjevčice koje se tipično rabe u medicini). U krupnozrnatij frakciji dominiraju plastični (3D) materijali.	Otpad porijeklom iz obrade medicinskog otpada	19 12 04 19 12 12 19 12 11 *	
I2.3	Srednje do krupnozrnatiji otpadni kompozitni materijal sastavljen od mineralnog (vezivnog) materijala i komponenata antropogenog porijekla (plastika, komadi žice). Osim u dimenzijama, između sitne i krupne komponente ne uočavaju se bitnije razlike. Vrlo lagan. Uzorak je nakon sušenja zadržao strukturu te nije došlo do usitnjavanja materijala. Vizualno nije	Tehnološka mješavina mineralnog i antropogenog otpada – porijeklo se ne može pouzdano utvrditi	19 12 12	



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
	moгуće pouzdano odrediti sastav otpada no utvrđena gustoća čvrstih čestica od 1,89 g/cm ³ potvrđuje da se ne radi o čisto mineralnom materijalu.			
12.4	Brečasti materijal sastavljen od mineralnog (vezivnog) materijala i komponenata antropogenog porijekla (plastika, komadi žice). Osim u dimenzijama, između sitne i krupne komponente ne uočavaju se bitnije razlike. Vrlo lagan. Uzorak je nakon sušenja zadržao strukturu te nije došlo do usitnjavanja materijala. Vizualno nije moguće pouzdano odrediti sastav otpada no utvrđena gustoća čvrstih čestica od 1,89 g/cm ³ potvrđuje da se ne radi o čisto mineralnom materijalu.	Tehnološka mješavina mineralnog i antropogenog otpada – porijeklo se ne može pouzdano utvrditi	19 12 12	

Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I3.1	Uzorak s vrlo visokim udjelom krute plastike, prisutne u obliku krupnih (>16 mm), deformiranih i mehanički slomljenih fragmenata. Plastični elementi pokazuju morfološke značajke tipične za tehničke polimere iz EE otpada (ABS/HIPS, tehnički PP/PE). Sitna frakcija, guma i mineralna komponenta prisutne su u manjem udjelu.	Otpad kompatibilan s fragmentiranim električnim i elektroničkim otpadom (EE otpad)	19 12 04 19 12 12	
I3.2	Uzorak u kojem su po masenim udjelima podjednako zastupljene i sitna i krupna frakcija, uz jasno prepoznatljiv udio krute plastike i građevinskog otpada (opeka, keramika, mort). Uzorak predstavlja mješavinu inertnog građevinskog otpada, plastike i sitnozrnate frakcije u kojoj se također mogu uočiti komponente mineralnog i antropogenog porijekla.	Mineralni otpad s dominantnom EE komponentom	17 05 04 19 12 12	

Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I3.3	Pretežito mineralni uzorak većinski sastavljen od krupnih (>16 mm) i masivnih fragmenata građevinskog otpada (opeke, betona i prirodnog kamen), s vrlo ograničenim udjelom sitne frakcije (<16 mm). Plastična komponenta prisutna je samo u tragovima, uglavnom u obliku tankih, mehanički deformiranih folijastih (2D) fragmenata, dok se u sitnozrnatoj frakciji uočavaju komponente svojstvene građevinskom otpadu.	Nerazvrstani građevinski otpad (inertni otpad)	17 01 07 15 01 06	
I4.1	Mješavina prašinatog materijala mineralnog porijekla i antropogenih komponentenata (plastika). Dominira udio sitne frakcije (<16 mm). Krupnozrnata frakcija sastavljena je od krutih fragmentiranih plastičnih elemenata prekrivenih mineralnom prašinom, što upućuje na dulje miješanje ovih materijala. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od 1,63 g/cm ³ potvrđuje da se radi o mješavini mineralne i polimerne komponente.	Mješavina mineralnog i polimernog otpada	17 05 04 19 12 12	

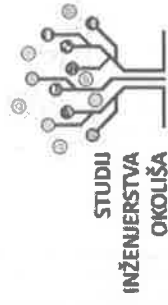
Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I5.1	Mješavina prašinatog materijala mineralnog porijekla i antropogenih komponenata (plastika). Značajan udio uzorka otpada na sitnu frakciju (<16 mm). U krupnozrnatijoj frakciji nije moguće identificirati pojedine komponente. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od 1,98 g/cm ³ potvrđuje da se radi o mješavini mineralne i polimerne komponente.	Mješavina mineralnog i polimernog otpada	17 05 04 19 12 04	



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gtv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gtv.unizg.hr

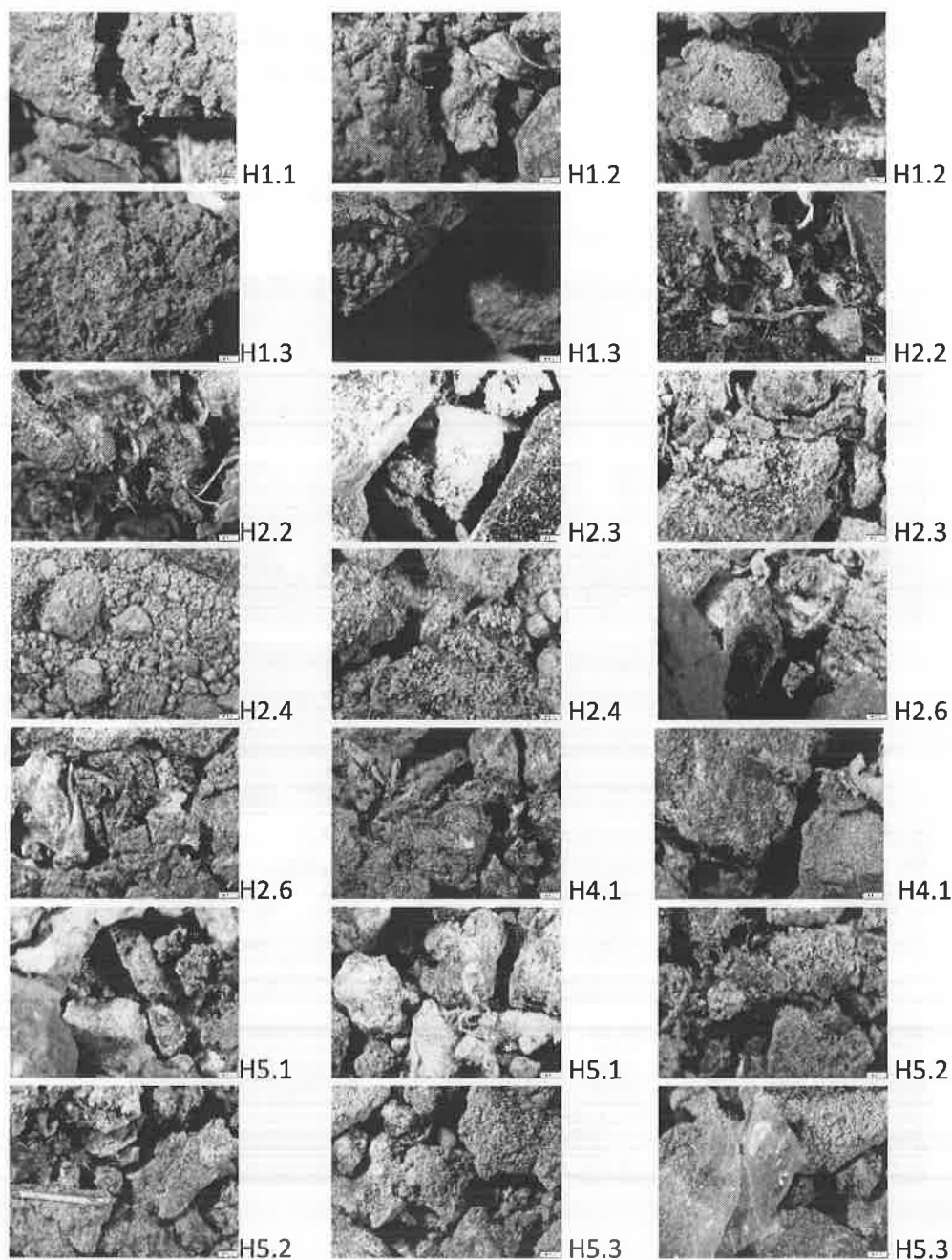


Oznaka uzorka	Prošireni opis uzorka	Vrsta otpada (stručna kvalifikacija)	Potencijalni ključni brojevi otpada temeljem sortiranja	Slika uzorka
I6.1.	Uzorak s pretežito sitnozrnatom frakcijom (<16 mm), vlaknaste strukture. Sitnozrnata frakcija sadrži komade degradirane plastike, tekstilnih vlakana i tankih folijastih polimera. Ova frakcija prema sadržaju odgovara obrađenom medicinskom otpadu.	Otpad porijeklom iz obrade medicinskog otpada	19 12 12 19 12 11*	

Bušotine (H)

Rezultati mikroskopiranja (Slika 53 i Slika 54) bušotina i iskopa dani su u nastavku:

Uzorci H1.1, H1.2, H1.3, H2.2, H2.3, H2.4, H2.6, H4.1, H5.1, H5.2, H5.3 i I3.3 (utvrđena gustoća čestica $\rho_s \approx 2,6 \text{ g/cm}^3$)

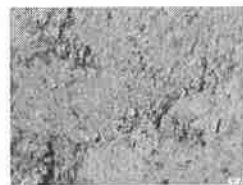




H5.5



I3.3



I3.3

Slika 53 Uzorci H1.1, H1.2, H1.3, H2.2, H2.3, H2.4, H2.6, H4.1, H5.1, H5.2, H5.3, H5.5 i I3.3 - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

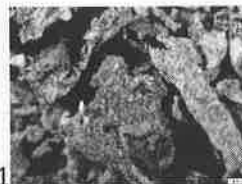
Uzorci H2.1, H2.5, H2.7, H3.1, H4.2, H5.4, H5.6, H5.8, H5.9 i H5.10, I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I4.1, I5.1, I6.1 ($\rho_s < 2,3 \text{ g/cm}^3$)



H2.1



H2.1



H2.5



H2.5



H2.7



H2.7



H3.1



H3.1



H4.2



H4.2



H5.4



H5.4



H5.6



H5.6

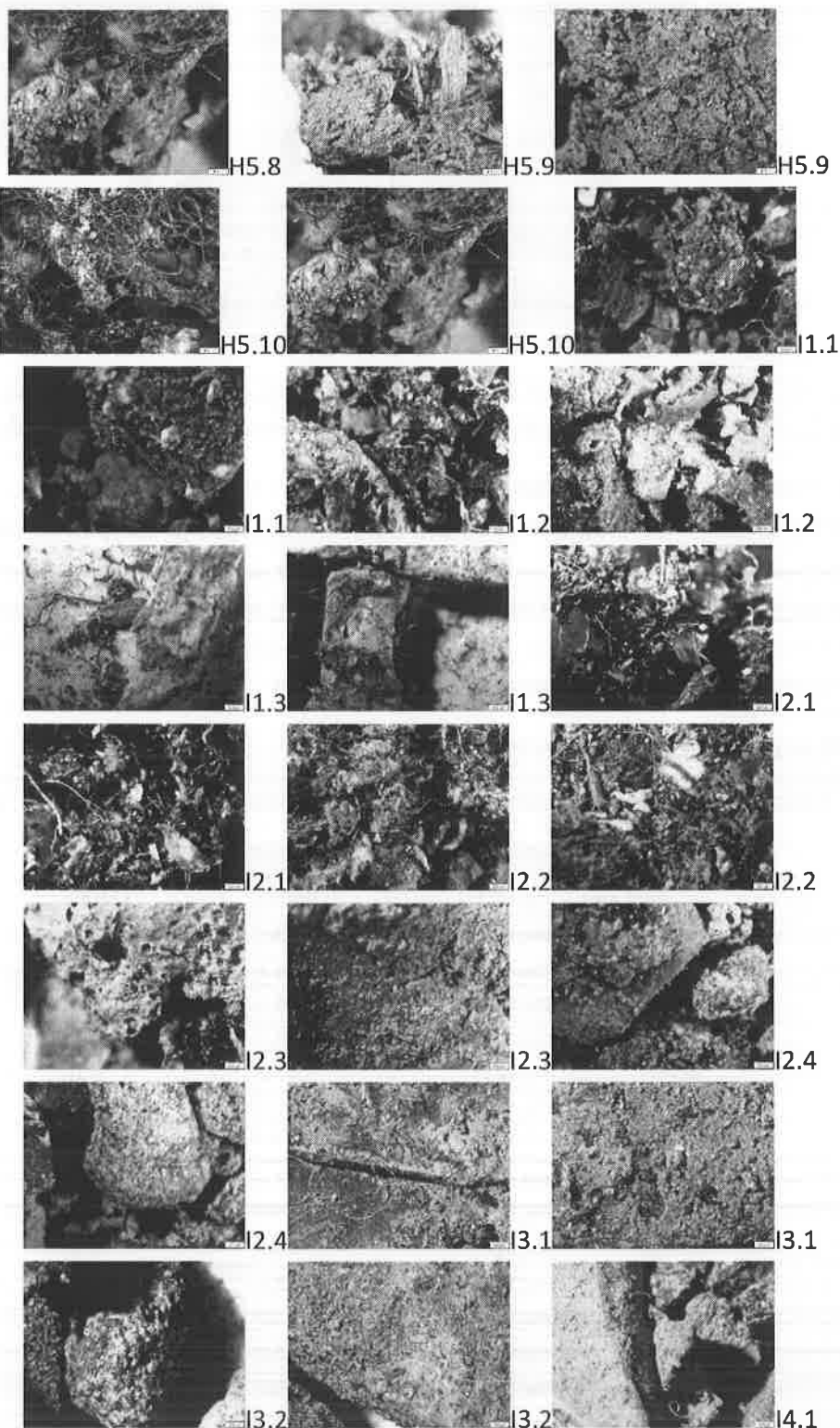


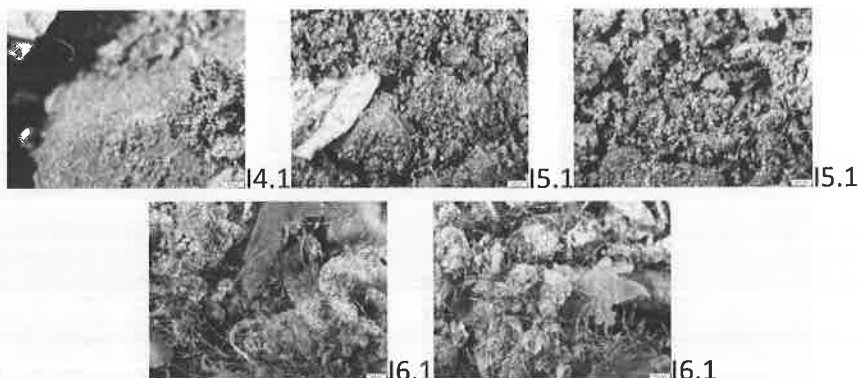
H5.8



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr





Slika 54 H2.1, H2.5, H2.7, H3.1, H4.2, H5.4, H5.6, H5.8, H5.9 i H5.10, I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I4.1, I5.1, I6.1 - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

2.2.3.5 H svojstva bušotine i iskopi

Za potrebe određivanja H opasnih svojstava otpada napravljen je kompozitni uzorak od svih uzetih uzoraka bušenja i iskopa. Uzorci I i H su uzeti sa iste lokacije samo drugačijom metodom. Uzorci I su iskopavani bagerom i bilo ih je maseno više, nego H uzoraka. H uzorci su uzorci dobiveni bušenjem na lokaciji. Svi metali u ovoj tablici mjereni su tehnikom ICP-AES nakon razaranja zlatotopkom prema normi HRN EN 13657:2008.

Rezultati su prikazani u Tablicama 34, 35, 36 i Tablica 1.

Tablica 34. Rezultati ispitivanja sastava krute faze (metali) - bušotine i iskopi

Parametar	Mjerna jedinica	I kompozit	H kompozit
Aluminij (Al)	mg kg ⁻¹	14900	12800
Antimon	mg kg ⁻¹	767	11,1
Arsen	mg kg ⁻¹	< 1	1,86
Bakar	mg kg ⁻¹	9328,5	7929,1
Barij	mg kg ⁻¹	46,6	222
Berilij	mg kg ⁻¹	47,3	< 1
Bor	mg kg ⁻¹	75,8	5,04
Cink	mg kg ⁻¹	909	839,5
Kadmij	mg kg ⁻¹	< 1	2,8
Kalcij	mg kg ⁻¹	46700	70900
Kobalt	mg kg ⁻¹	28,9	< 1
Krom	mg kg ⁻¹	1278,5	151,5
Magnezij (Mg)	mg kg ⁻¹	47	4230
Molibden	mg kg ⁻¹	32,2	1,4
Natrij	mg kg ⁻¹	45,1	441
Olovo	mg kg ⁻¹	748,2	802,2
Selen	mg kg ⁻¹	< 1	< 1

Srebro	mg kg ⁻¹	46,7	1,31
Talij	mg kg ⁻¹	48,3	< 1
Vanadij	mg kg ⁻¹	13,7	12,1
Živa	mg kg ⁻¹	0,7	0,019
Stroncij	mg kg ⁻¹	14,8	14,9
Litij	mg kg ⁻¹	2,89	< 1

Tablica 35. Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)

Parametar	Mjerna jedinica	I kompozit iskop (01479/25)	H kompozit bušenje (01711/25)
Ukupni PAH	mg kg⁻¹ s.t.	0,60	1,01
Naftalen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01	0,15
Acenaften	mg kg ⁻¹ s.t.	0,03	< 0,01
Fluoren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,04	0,02
Fenantren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,14	0,19
Antracen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01	0,06
Fluoranten	mg kg ⁻¹ s.t.	0,14	0,14
Piren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,14	0,14
Benzo(a)antracen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01	0,02
Krizen	mg kg ⁻¹ s.t.	< 0,01	0,13
Benzo(b)fluoranten	mg kg ⁻¹ s.t.	0,03	0,03
Benzo(k)fluoranten	mg kg ⁻¹ s.t.	0,01	0,01
Benzo(a)piren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,02	0,02
Dibenz(a,h)antracen	mg kg ⁻¹ s.t.	0,02	0,02
Benzo(g,h,i)perilen	mg kg ⁻¹ s.t.	0,02	0,06
Indeno(1,2,3-c,d)piren	mg kg ⁻¹ s.t.	0,01	0,02

Tablica 36. Pesticidi i ostali organski parametri

Parametar	Mjerna jedinica	I kompozit iskop (01479/25)	H kompozit bušenje (01711/25)
Suma PCB (9 kongenera)	mg kg⁻¹	< 1	< 1
Mineralna ulja	mg kg⁻¹	445	< 200
BTEX (zbroj)	mg kg⁻¹	5,5	< 1
DDT (zbroj)	mg kg ⁻¹	< 0,1	< 0,05
Lindan (gamma-HCH)	mg kg ⁻¹	< 0,05	< 0,05
Heptaklor	mg kg ⁻¹	< 0,05	< 0,05



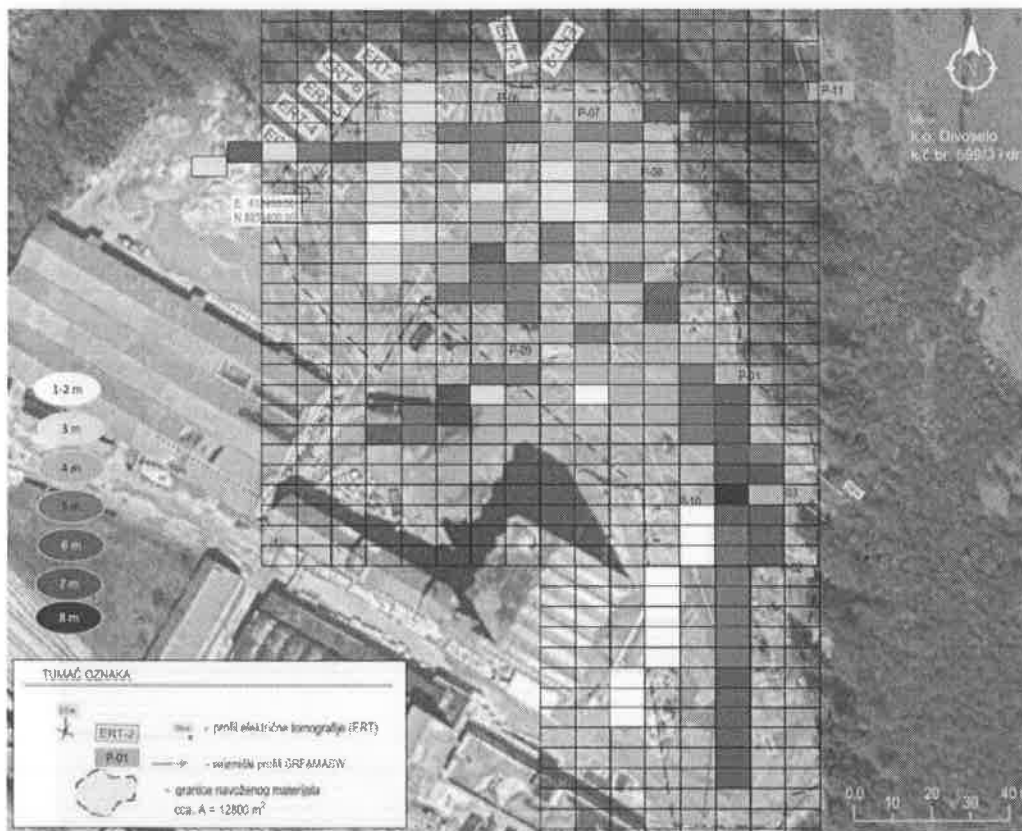
Tablica 37. Tablica 1 Fizikalna svojstva, Ekotoksičnost i Mikrobiologija

Parametar	Mjerna jedinica	I kompozit iskop (01479/25)	H kompozit bušenje (01711/25)
Suha tvar (105°C)	%	83,4	93,7
Akutna toksičnost	LID--D	2	1
Aerobni mikroorganizmi	n.n./10 g	nije nađeno	nije nađeno
Patogeni mikroorganizmi -		nisu izolirani	nisu izolirani

- **LID--D:** Jedinica za akutnu toksičnost koja označava najniže razrjeđenje eluata pri kojem nema štetnog učinka na ispitne organizme (*Daphnia magna*).
- **n.n./10 g:** "Nije nađeno" u 10 grama uzorka, što je granica detekcije za mikrobiološka ispitivanja krutih uzoraka.

2.2.3.6 Količina otpada zakopanog na lokaciji

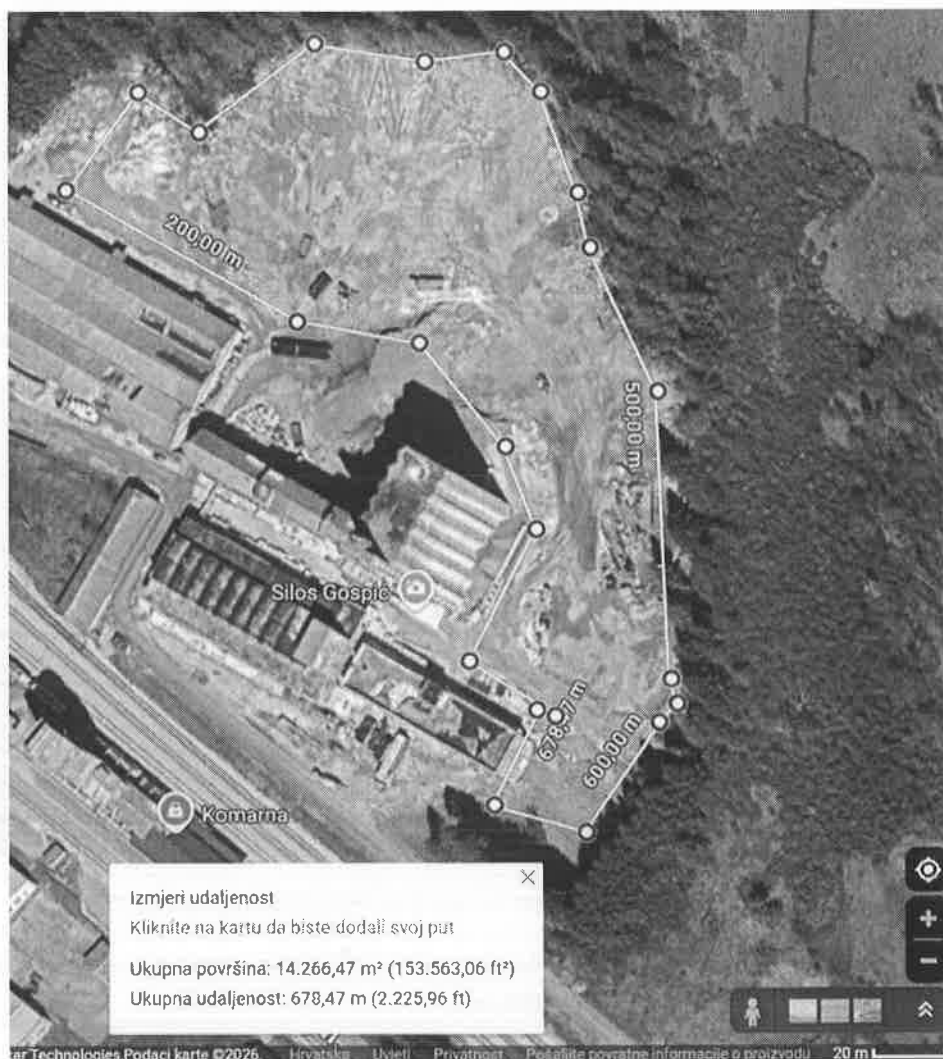
Temeljem provedenih neinvazivnih istražnih radova (*Nalaz i mišljenje po nalogima Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9.svibnja 2025 i 2. srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, GFV, srpanj 2025.*) površina terena određena je rasterom na karti (Slika 55). Površina je procijenjena na cca 12.800 m². Geofizičkim istražnim radovima procijenjena prosječna dubina tijela odlagališta je kretala se od 1-8 metara, pa je prosječna dubina procijenjena između 4 i 5 metara.



Slika 55 Prikaz dubina procijenjenih geofizičkim istražnim radovima

Za takve dubine raspon odložene količine otpada/materijala kretao se od $4\text{ m} \times 12.800\text{ m}^2$ do $5\text{ m} \times 12.800\text{ m}^2$ odnosno od 51.200 do **64.000 m³**.

Površina prostora na kojem je odložen otpad određena pomoću alata Google Maps iznosi 14.266,47 m² (Slika 56).



Slika 56 Procjena površine obuhvaćene tijelom odlagališta

Na temelju dubina bušotina H1 (2,7 m), H2 (3,0 m), H3 (2,0 m), H4 (2,3 m) i H5 (4,5 m) utvrđuje se prosječna dubina tijela odlagališta od 2,9 m. Iz navedenog proizlazi da je količina odloženog volumena iznosi $\approx 14.267 \times 2,9 = 41.374 \text{ m}^3$. Uz prosječnu gustoću odloženog otpada utvrđenu istražnim bušenjem od $793,7 \text{ kg/m}^3$ približna masa odloženog otpada iznosi $\approx 41.374 \text{ m}^3 \times 794,73 \text{ kg/m}^3 = 32.915 \text{ tone}$. Iznos od $793,73 \text{ kg/m}^3$ dobiven je kao prosjek gustoća svih podataka iz svih bušotina.

Površina na Slika 56 proširena je u odnosu na površinu na Sliku 55 temeljem rezultata istraživanja, gdje su utvrđeni različiti oblici onečišćenja na proširenjima, a dodatno se uzeo u



obzir i uklonjeni sloj biljnog pokrova koji je razvidan iz povijesne analize lokacije uklanjanja biljnog pokrova.

Procijenjena dubina tijela odlagališta dobivena geofizičkim istražnim radovima (GPR, geoelektrika, refrakcijska seizmika i MASW) veća je od dubine utvrđene istražnim bušotinama zbog razlika u metodološkom pristupu, fizikalnoj osnovi mjerenja te prostornoj heterogenosti podzemlja.

Istražne bušotine predstavljaju točkaste podatke i daju informaciju o litološkom sastavu isključivo na lokaciji bušenja.

Nasuprot tome, geofizičke metode omogućuju kontinuirani 2D/3D prikaz podzemlja te registriraju promjene fizikalnih svojstava materijala u prostoru. Granica definirana geofizičkim mjerenjima temelji se na kontrastu fizikalnih parametara (električna otpornost, brzina seizmičkih valova, brzina smičnih valova, dielektrična svojstva), a ne nužno isključivo na litološkoj granici. U situacijama gdje je podloga ispod odlagališta djelomično zasićena procjednim vodama, mehanički poremećena ili kontaminirana, dolazi do promjene fizikalnih svojstava koja se može interpretirati kao produžetak tijela odlagališta na veću dubinu.

Dodatno, geofizički podaci obrađuju se postupkom inverzije koji podrazumijeva određeno modelno izgladivanje prijelaznih zona, što može rezultirati interpretacijom dublje i difuznije granice.

Razlika između dubina utvrđenih bušotinama i geofizičkim metodama stoga je posljedica kombinacije:

- točkaste prirode bušotinskih podataka,
- lateralne i vertikalne heterogenosti tijela odlagališta,
- postojanja prijelazne ili kontaminirane zone ispod otpada,
- interpretacijskih i modelskih ograničenja geofizičkih metoda.

Stvarna dubina tijela odlagališta najpouzdanije se definira integracijom rezultata bušotinskih i geofizičkih istraživanja, pri čemu bušotine služe za kalibraciju i verifikaciju geofizičkog modela.

2.2.4 Rezultati mikrobiološke analize otpada

Određeni suspekti uzorci i kompoziti analizirani su na patogene mikroorganizme. U nastavku su prikazani rezultati u Tablici 38.

Tablica 38. Rezultati mikrobiološke analize otpada

Analitički broj	Oznaka uzorka	Koordinate / Lokacija	Izolacija mikroorganizama (aerobni i anaerobni)	Identificirani mikroorganizmi (MALD-TOF / identifikacija)	Izolacija specifičnih patogenih mikroorganizama*
			(n.n. / 10 g)	(vrsta / grupa)	(kultivacija)
01464/25	I 1 kompozit	E412435.324 N4933379.355	nađeno	<i>B. cereus, simplex, subtilis, circulans</i>	nisu izolirani
01465/25	I 2 kompozit	E412481.373 N4933392.115	nađeno	<i>Bacillus cereus, Bacillus simplex</i>	nisu izolirani
01466/25	I 3 kompozit	E412511.735 N4933297.457	nađeno	aerobni mikroorganizmi	nisu izolirani
01467/25	J 1.1 AŠ	Crna hrpa (Vrh J-1)	nađeno	<i>B. simplex, Pseudomonas stutzeri</i>	nisu izolirani
01468/25	J 1.2 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-1)	nađeno	<i>P. aeruginosa, V. proomii, P. agglomerans</i>	nisu izolirani
01469/25	J 1.3 AŠ	Crna hrpa (Dno J-1)	nađeno	<i>Pseudomonas mendocina</i>	nisu izolirani
01470/25	J 2.1 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-2)	nađeno	aerobni mikroorganizmi	nisu izolirani
01471/25	J 2.2 AŠ	Crna hrpa (Dno J-2)	nađeno	<i>Bacillus cereus</i> grupa	nisu izolirani
01472/25	J 3.1 AŠ	Crna hrpa (Vrh J-3)	nađeno	aerobni mikroorganizmi	nisu izolirani
01473/25	J 3.2 AŠ	Crna hrpa (Sredina J-3)	nađeno	aerobni mikroorganizmi	nisu izolirani
01474/25	J 3.3 AŠ	Crna hrpa (Dno J-3)	nađeno	aerobni mikroorganizmi	nisu izolirani
01475/25	I 4.1 AŠ	Iskop I-4	nađeno	<i>B. cereus gr., P. mendocina/oleovorans</i>	nisu izolirani
01476/25	I 5.1 AŠ	Iskop I-5	nađeno	aerobni mikroorganizmi	nisu izolirani
01478/25	I 6.1 AŠ	Iskop I-6	nađeno	<i>Providencia rettgeri</i>	nisu izolirani
01482/25	J 4.1 AŠ	Crna hrpa bočna (J-4)	nije nađeno	-	nisu izolirani

2.2.5 Kumulativni prikaz rezultata analiza za crnu hrpu i otpad zakopan na lokaciji

Na slikama 57 do 59 su označeni rezultati dobiveni testom procjeđivanja za lokacije crne hrpe, iskopa, bušenja i inspeksijskih nalaza.



Slika 57 Vrijednosti parametara testa procjeđivanja koji odstupaju od zahtjeva za neopasan otpad (bušenje, iskop i crna hrpa)



Slika 58 Vrijednosti parametara testa procjeđivanja koji odstupaju od zahtjeva za neopasan otpad (inspeksijski nalaz)



Slika 59 Vrijednosti parametara testa procjeđivanja koji odstupaju od zahtjeva za neopasan otpad kumulativni prikaz

2.2.6 Otpad u objektima i u „big-bag“ vrećama

Pod otpadom u objektima i u „big-bag“ vrećama podrazumijeva se otpad u unutrašnjosti dvaju silosa te u unutrašnjosti dviju poslovnih zgrada (proizvodne hale i skladišta) na katastarskim česticama brojeva 591/3 upisanoj u z.k. uložak broja 3254 k.o. Divoselo i 599/4 upisanoj u z.k. uložak broja 3137 k.o. Divoselo, te otpad skladišten na otvorenom dvorišnom prostoru industrijskog kompleksa odloženog u hrpama, na katastarskim česticama brojeva: 591/3 upisanoj u z.k. uložak broja 3254 k.o. Divoselo, 599/4 upisanoj u z.k. uložak broja 3137 k.o. Divoselo, 599/18 upisanoj u z.k. uložak broja 1920 k.o. Divoselo te 599/17 upisanoj u z.k. uložak broja 3205 k.o. Divoselo. U dokumentu Preliminarni izvještaj vještačenja zaštite okoliša za



lokaciju industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, rujan 2025. navedeno je da ovaj otpad nema utjecaj na sastavnice okoliša stoga se nije dalje niti razmatrao.

2.3 Geološke i hidrogeološke karakteristike lokacije

Geološke i hidrogeološke karakteristike lokacije opisane su u dokumentu *Nalaz i mišljenje po nalozima Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9.svibnja 2025 i 2. srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, GFV, srpanj 2025.*

Tablica 39. Oznaka uzorka, lokacija i GPS koordinate

Oznaka uzorka	Uzorak K1 -B1	Uzorak N1 -B3	Uzorak O1 – B2
Lokacija (Opis traga)	Pijezometarska bušotina (Trag K)	Pijezometarska bušotina (Trag N)	Pijezometarska bušotina (Trag O)
Koordinate (GPS - N / E)	N 44°32.182 E 015°23.905	N 44°32.003 E 015°23.917	N 44°32.132 E 015°23.978

Temperatura

Temperatura podzemne vode je parametar koji se u krškim vodonosnicima mjeri po dubini vodonosnika. Promjene u temperaturi po dubini vodonosnika mogu ukazivati, uz ostale parametre, na zone jače dinamike tečenja vode (ako dođe do smanjenja vrijednosti), ali i na određene prodore onečišćenja ili zaslanjenja ukoliko se radi o priobalnim vodonosnicima (ako dođe do povišenja vrijednosti).

U bušotinama se nakon završetka bušenja temperatura podzemne vode kretala u bušotini B-1 od 11,2 do 10,5 °C pri čemu je viša temperatura zabilježena u najplićem dijelu bušotine (10 m dubine), a najniža u najdubljem (29 m dubine). Nisu izmjerene anomalije po dubini bušotine B-1. U bušotini B-2 temperatura se kretala nakon završetka bušenja u rasponu od 10,7 do 9,7 °C pri čemu je viša temperatura zabilježena u najplićem dijelu bušotine (10 m dubine), a najniža u najdubljem (29 m dubine). Nisu izmjerene anomalije po dubini bušotine B-2. Na B-3 temperatura se kretala nakon završetka bušenja u rasponu od 11,7 do 10,3 °C pri čemu je viša temperatura zabilježena u najplićem dijelu bušotine (10 m dubine), a najniža u najdubljem (29

m dubine). Nisu izmjerene anomalije po dubini bušotine B-3. Obzirom da je temperatura podzemne vode mjerena neposredno po završetku bušenja moguć je utjecaj i vode koja se koristi prilikom bušenja. Za dobivanje kvalitetnije slike distribucije temperature po dubini bušotina potrebno je više mjerenja, a postavljeni su i automatski mjerači koji svakih 30 minuta izmjere temperaturu podzemne vode.

Električna vodljivost

Slično, kao i kod temperature, vrijednost električne vodljivosti upućuje na zone jače dinamike podzemne vode (ukoliko dođe do npr. smanjenja vrijednosti u određenom intervalu). Obično je vrijednost električne vodljivosti po dubini vodonosnika odgovarajuća vrsti vodonosnika i količini otopljenih tvari (mineralizaciji) podzemne vode. U zonama priobalnih vodonosnika koji su podložni zaslanjenju, vrijednost električne vodljivosti je dobar indikator zaslanjenja. Također, može biti i indikator određenog prodora u podzemne vode, npr. iz pojedinih vrsta topljivih naslaga, ili od prodora onečišćenja.

Nakon završetka bušenja, izmjerena je vrijednost električne vodljivosti po dubini bušotina. Na bušotini B-1 izmjerene vrijednosti su se kretale u rasponu od 0,414 mS/cm u gornjoj zoni bušotine (10 m dubine) do 0,316 mS/cm (29 m dubine). U bušotini B-2 izmjerene vrijednosti su se kretale u rasponu od 0,392 mS/cm u gornjoj zoni bušotine (10 m dubine) do 0,610 mS/cm (29 m dubine). U bušotini B-3 izmjerene vrijednosti su se kretale u rasponu od 0,564 mS/cm u gornjoj zoni bušotine (10 m dubine) do 0,629 mS/cm (29 m dubine).

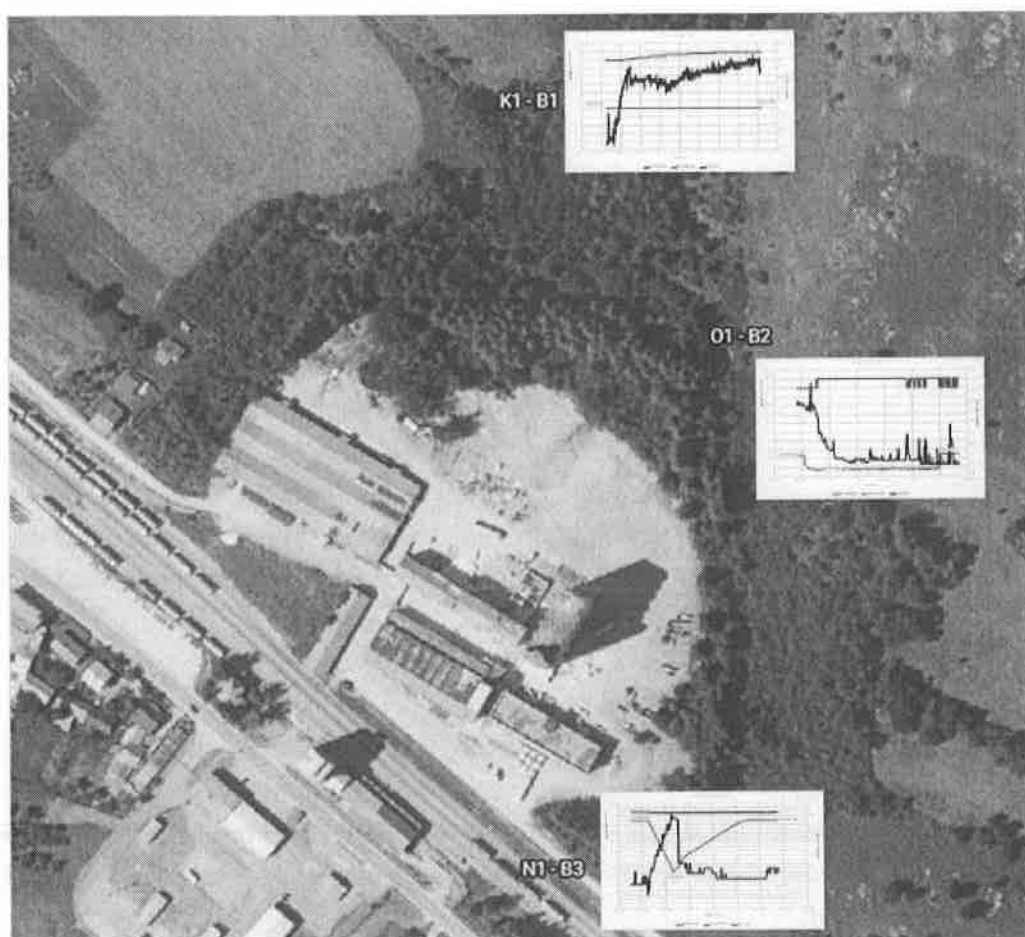
Razina

Razina podzemne vode je vrlo indikativan podatak koji govori o dinamici vodonosnika i propusnosti bušotine. Nakon završetka bušenja dubine do podzemne vode izmjerene su na svakoj od tri bušotine, ali su u bušotine ugrađeni automatski mjerači temperature, električne vodljivosti koji kontinuirano mjere svakih 30 minuta te parametre i pohranjuju u unutrašnju memoriju. Rezultati su dani u nastavku.

Prilikom crpljenja na bušotini B-1, kod uzimanja uzoraka, temperatura podzemne vode kretala se u početku od 10,9 °C do konačnih 11,8 °C nakon crpljenja trajanja 11 minuta. Za razliku od ostalih bušotina, izmjeren je određeni rast temperature podzemne vode, ali i porast vrijednosti električne vodljivosti tijekom samog crpljenja. To ukazuje da je crpljenje aktiviralo vodonosnik u zoni bušotine B-1 i povuklo podzemnu vodu nešto više mineralizacije i temperature što može ukazivati i na to da je „povuklo“ određeno onečišćenje. Također, prilikom crpljenja na bušotini B-1 nije zabilježeno sniženje razine podzemne vode što ukazuje na vrlo aktivan vodonosnik.

Prilikom bušenja na B-2 zabilježeno je sniženje od 15-tak centimetara, ali s vrlo malom crpnom količinom (0,27 l/s). Nakon početnog sniženja dolazi do ustaljenja razine podzemne vode, a

nakon isključenja crpke, vrlo brzo do povrata u početnu razinu podzemne vode. Prilikom crpljenja nije zabilježena promjena temperature podzemne vode, a zabilježeno je određeno smanjenje vrijednosti električne vodljivosti od oko 0,480 mS/cm do 0,420 mS/cm što ukazuje na dotok svježije vode u bušotinu.



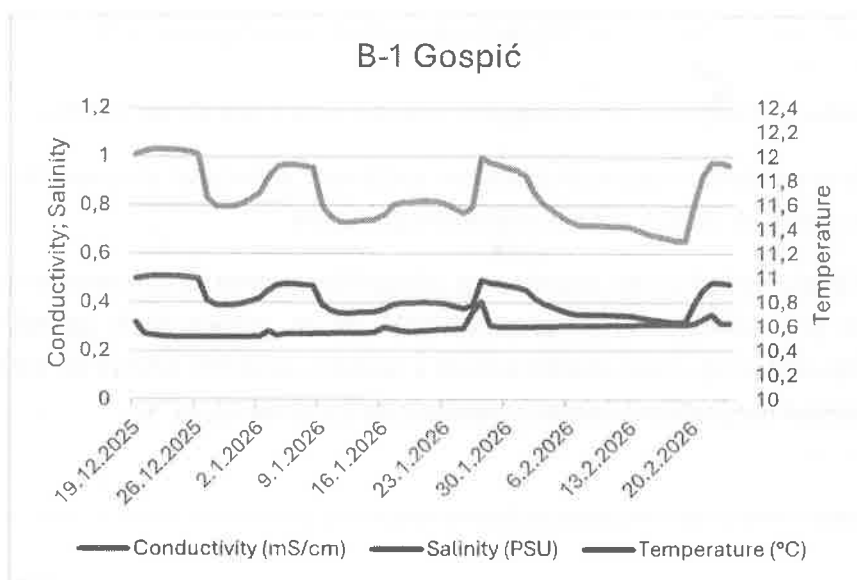
Slika 60 Piezometri sa dobivenim vrijednostima mjerenja

Na bušotini B-3 vrlo brzo je zabilježeno sniženje razine podzemne vode i „pražnjenje“ bušotine te je crpka morala biti isključena te je mjeren povrat. Temperatura podzemne vode se nije mijenjala tijekom crpljenja i povrata, a zabilježen je određeni porast vrijednosti električne vodljivosti tijekom snižavanja razine podzemne vode, ali i brzi povrat na početne vrijednosti po završetku crpljenja.

Bušotina B-3 ima najslabiju povezanost s vodonosnikom i crpljenjem 0,26 l/s, u razdoblju od svega tri minute zabilježen je pad razine podzemne vode za 4,43 m. Nakon toga je mjeren povrat u trajanju od 8 minuta dok se razina nije vratila u početnu vrijednost.

Daleko najbolju povezanost s vodonosnikom ima bušotina B-1 na kojoj tijekom 10 minuta crpljenja potopnom crpkom kapaciteta 0,26 l/s nije zabilježeno sniženje razine niti promjena temperature podzemne vode.

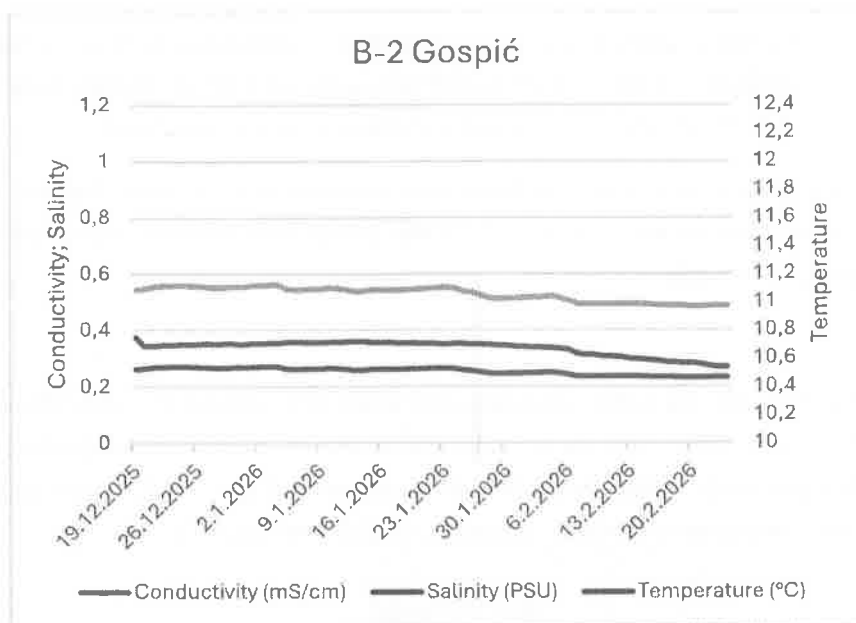
Na bušotini B-1 (zapadno od šume, nizvodno od odlagališta; oznaka K) automatska mjerenja su pokazala da se u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 24. veljače 2026. godine vrijednost električne vodljivosti (engl. *conductivity*) kretala u rasponu od 0,653 mS/cm do 1,033 mS/cm, dok se vrijednost temperature kretala u rasponu od 10,51 do 10,81 °C.



Slika 61 Vodljivost, temperatura i salinitet na B-1 (19.12-24.2.2025)

Na slici 61 vide se promjene električne vodljivosti, saliniteta i temperature ovisno o hidrološkim uvjetima u vodonosniku. Bušotina B-1 (oznaka K) izvedena je u najaktivnijem dijelu vodonosnika na području ilegalnog odlagališta u odnosu na ostale dvije bušotine.

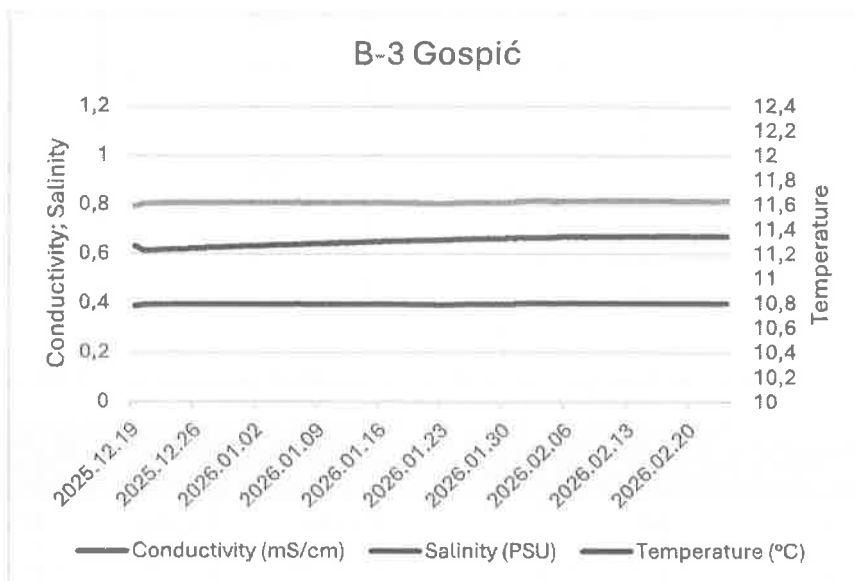
Na bušotini B-2 (istočno od šume, nizvodno od odlagališta; oznaka O) automatska mjerenja su pokazala da se je u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 24. veljače 2026. godine vrijednost električne vodljivosti (engl. *conductivity*) kretala u rasponu od 0,484 mS/cm do 0,562 mS/cm, dok se je vrijednost temperature kretala u rasponu od 10,54 do 10,75 °C.



Slika 62 Vodljivost, temperatura i salinitet na B-2 (19.12-24.2.2025)

Na slici 62 vide se ustaljene vrijednosti električne vodljivosti, saliniteta i temperature bez obzira na hidrološke uvjete, ali su ipak uočene određene promjene.

Na bušotini B-3 (na cesti uz prugu, uzvodno od odlagališta; oznaka N) automatska mjerenja su pokazala da se je u razdoblju od 19. prosinca 2025. do 24. veljače 2026. godine vrijednost električne vodljivosti (engl. *conductivity*) kretala u rasponu od 0,795 mS/cm do 0,817 mS/cm, dok se je vrijednost temperature kretala u rasponu od 11,23 do 11,35 °C.



Slika 63 Vodljivost, temperatura i salinitet na B-3 (19.12-24.2.2025)

Na slici 63 vide se potpuno ustaljene vrijednosti električne vodljivosti, saliniteta i temperature tijekom cjelokupnog razdoblja mjerenja. Bušotina B-3 (oznaka N) je i tijekom crpljenja pokazala izuzetno malo prihranjivanje jer je uz relativno malu količinu crpljenja došlo do velikog sniženja razine podzemne vode.

Tablica 40. Rezultati mjerenja kvalitete vode iz piezometara (uzorkovano 19.12.2025. i 24.2.2026.)

Oznaka uzorka		Bušotina B-1 (oznaka K)		Bušotina B-3 (oznaka N)		Bušotina B-2 (oznaka O)	
		Uzorak K-1 19.12.2025.	Uzorak K-2 26.02.2026	Uzorak N-1 19.12.2025.	Uzorak N-2 26.02.2026	Uzorak O-1 19.12.2025.	Uzorak O-2 26.02.2026
Cink	(µg/L)	< 5,00	< 5,00	22,5	< 5,00	15,4	< 5,00
Nikal	(µg/L)	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Olovo	(µg/L)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Živa	(µg/L)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Arsen	(µg/L)	< 0,50	0,86	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Kadmij	(µg/L)	< 0,20	0,29	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Krom	(µg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Molibden	(µg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Kobalt	(µg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Barij	(µg/L)	47	22,2	22	9,97	14	9,56
Antimon	(µg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Selen	(µg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	20
Vanadij (V)	(µg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	nema propisano
Bor (B)	(µg/L)	186	7,4	5,9	1500
PCB (Poliklorirani bifenili)	(µg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,0005
DOC (Organski ugljik)	(mg/L)	3,27	1,28	1,17	nema

Tablica 41. Fizikalno-kemijski i mikrobiološki rezultati (uzorkovano 26.02.2026.)

Naziv analize	Jedinica	Uzorak K1 -B1	Uzorak N1 -B3	Uzorak O1 – B2	MDK pitka voda
Koncentracija H ⁺ iona	pH	-	7,2 ±0,1	7,2 ±0,1	6,5 – 9,5
Suspendirana tvar (105°C)	mg/L	-	< 2,0	9,7 ±1,4	nema
Fluoridi	mg/L F ⁻	-	0,031 ±0,003	0,047 ±0,005	1,5
Kloridi	mg/L Cl ⁻	-	8,8 ±0,9	12 ±1	250
Sulfati	mg/L SO ₄ ²⁻	-	5,4 ±0,5	4,7 ±0,4	250
Ukupno otopljene krutine (TDS)	mg/L	423	291	293	1500 (indikativno)
Ukupni ostatak sušeni (180°C)	mg/L	427,0	212,0	242,0	nema
Elektrovodljivost (20°C)	µS/cm	631 ±13	434 ±9	439 ±9	2500
Nitriti	mg/L NO ₂	< 0,030	< 0,030	2,8 ±0,3	0,50
Nitrati	mg/L NO ₃	2,2 ±0,2	4,3 ±0,4	< 0,030	50
Ukupni fosfor	mg/L P	0,024 ±0,003	0,016 ±0,002	< 0,003	nema
<i>Escherichia coli</i>	cfu/100mL	< 1	2	6	0/100 mL
Broj kolonija (36°C/48h)	cfu/1mL	176	120	192	nema izravnog MDK
Broj kolonija (22°C/72h)	cfu/1mL	680	360	810	bez abnormalne promjene
<i>Clostridium perfringens</i>	cfu/100mL	35	22	16	0/100 mL



<i>Salmonella</i>	L ⁻¹	nije izolirana	izolirana	nije izolirana	mora biti odsutna*
<i>Shigella</i>	L ⁻¹	nije izolirana	nije izolirana	nije izolirana	mora biti odsutna*
<i>Campylobacter spp.</i>	cfu/mL	< 1	< 1	< 1	mora biti odsutna*
<i>Listeria monocytogenes</i>	cfu/mL	< 1	< 1	< 1	mora biti odsutna*
<i>Candida albicans</i>	cfu/mL	< 1	< 1	< 1	mora biti odsutna*
Stafilokoki (koag. poz.)	cfu/mL	< 1	< 1	< 1	mora biti odsutna*

2.4 Karakterizacija tla

U Tablici 42 prikazani su rezultati analize tla.

Tablica 42. Rezultati analize tla

R. br.	Analički broj ^a	Analički broj ^b	Oznaka uzorka	Opis uzorka	Povezani biljni uzorak	Koordinate (GCS)	Antimon (Sb) mg kg ⁻¹ s.t.	Arsen (As) mg kg ⁻¹ s.t.	Bakar (Cu) mg kg ⁻¹ s.t.	Cink (Zn) mg kg ⁻¹ s.t.	Kadmij (Cd) mg kg ⁻¹ s.t.	Kobalt (Co) mg kg ⁻¹ s.t.	Krom (Cr) mg kg ⁻¹ s.t.	Molibden (Mo) mg kg ⁻¹ s.t.	Nikal (Ni) mg kg ⁻¹ s.t.	Olovo (Pb) mg kg ⁻¹ s.t.	Živa (Hg) mg kg ⁻¹ s.t.	pH u 1M KCl	Funkcionalna površina na kojoj je uzorkovano tlo
1	058 01496/25	058 00207/25	Omot L 1.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.116' E E 015°23.852'	2,52	0,69	71	16	7,4	23	14	< 0,5	28	61,2	0,015	8,8	površina odlagališta
2	058 01497/25	058 00208/25	Omot L 2.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.122' E E 015°23.865'	9,48	2,83	680	143	0,84	20	15	0,55	31	158	0,144	7,9	površina odlagališta
3	058 01498/25	058 00209/25	Omot L 3.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.087' E E 015°23.899'	115	2,45	7162	456	5,9	22	12	0,54	31	298	0,098	8,8	površina odlagališta
4	058 01499/25	058 00210/25	Omot L 4.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.090' E E 015°23.931'	144	2,75	9945	644	5,4	15	33	1,96	42	1051	0,27	7,7	površina odlagališta
5	058 01500/25	058 00211/25	Omot L 5.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.118' E E 015°23.920'	47,7	3,68	1888	215	6	19	21	1,14	42	220	0,179	7,4	površina odlagališta
6	058 01501/25	058 00212/25	Omot L 6.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.084' E E 015°23.946'	31,7	2,2	1518	656	0,73	6,8	7,3	2,5	14	195	0,12	8,5	površina odlagališta
7	058 01502/25	058 00213/25	Omot L 7.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.039' E E 015°23.954'	3,39	5,9	354	31	< 0,50	13	10	0,7	13	33	0,154	7,4	površina odlagališta
8	058 01503/25	058 00214/25	Omot L 8.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.048' E E 015°23.940'	52,5	3,9	1336	283	3,4	20	19	7,14	29	176	0,13	7,6	površina odlagališta
9	058 01504/25	058 00215/25	Omot L 10.1	tlo (miješani uzorak)	Omot L 9.1	N 44°32.048' E E 015°23.971'	306	4,6	3338	530	11	17	17	1,43	42	745	0,232	7,5	rub odlagališta
10	058 01505/25	058 00216/25	Omot L 12.1	tlo (miješani uzorak)	Omot L 11.1	N 44°32.137' E E 015°23.922'	2,01	4,3	136	11	2,5	19	19	0,8	38	85,6	0,189	7,4	rub odlagališta
11	058 01506/25	058 00217/25	Omot L 14.1	tlo (miješani uzorak)	Omot L 13.1	N 44°32.138' E E 015°23.884'	95,6	32,3	3008	339	3,9	17	19	0,98	33	368	0,24	7,3	rub odlagališta
23	058 01518/25	058 00229/25	Omot L 26.1	tlo (miješani uzorak)	Omot L 26.2	N 44°32.014' E E 015°23.925'	140	5,5	1647	661	4,4	12	81	0,74	35	486	0,24	7,5	rub odlagališta
24	058 01519/25	058 00230/25	Omot L 27.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.025' E E 015°23.935'	4,97	6	450	180	3	26	22	1,2	37	115	0,24	7,9	rub odlagališta, graba ispod drvoreda smreka
33	058 01528/25	058 00239/25	Omot L 36.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.081' E E 015°23.965'	24,1	3,77	466	2100	1,9	20	25	0,89	25	92	0,16	7,4	diagonala NNE, na 1 m udaljenosti od odlagališta
32	058 01527/25	058 00238/25	Omot L 35.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.092' E E 015°23.973'	1,97	8,63	57	80	< 0,50	18	34	1	29	46,4	0,13	5,9	diagonala NNE, na 10 m udaljenosti od odlagališta
31	058 01526/25	058 00237/25	Omot L 34.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.101' E E 015°23.973'	1,51	9,9	29	64	< 0,50	20	39	1,1	33	44,4	0,14	5,8	diagonala NNE, na 25-30 m udaljenosti od odlagališta
30	058 01525/25	058 00236/25	Omot L 33.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.138' E E 015°24.002'	1,32	8,2	13	36	3	24	25	< 0,5	17	52,9	< 0,1	5,3	diagonala NNE, na 100 m udaljenosti od odlagališta
29	058 01524/25	058 00235/25	Omot L 32.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.173' E E 015°24.024'	1,19	9,6	12	41	< 0,50	18	33	0,98	23	44,2	0,1	5,1	diagonala NNE, na 150 m udaljenosti od odlagališta
28	058 01523/25	058 00234/25	Omot L 31.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.212' E E 015°24.047'	1,14	7,6	15	55	< 0,50	15	29	0,75	24	32,9	0,12	5	diagonala NNE, na 250 m udaljenosti od odlagališta
27	058 01522/25	058 00233/25	Omot L 30.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.335' E E 015°24.127'	1,09	6,5	13	53,5	< 0,50	20	23	< 0,5	21	30,1	< 0,1	4,6	diagonala NNE, na 500 m udaljenosti od odlagališta
34	058 01529/25	058 00240/25	Omot L 37.1	tlo (miješani uzorak)		N 44°32.132' E E 015°23.870'	4,53	8,5	47	75	< 0,50	17	39	0,79	30	42,9	0,11	6,7	diagonala NW, na 1 m udaljenosti od odlagališta

35	058	01530/25	058	00241/26	Omot L 38.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'132" E 015°23'869" E	1,63	7,4	18	61	<0,50	15	24	<0,5	21	38	0,11	5,5	dijagonala NW, na 10 m udaljenosti od odlagališta
36	058	01531/25	058	00242/26	Omot L 39.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'146" E 015°23'861" E	1,46	8,2	50	72	<0,50	16	31	0,8	30	45,3	<0,1	5,1	dijagonala NW, na 25 m udaljenosti od odlagališta
37	058	01532/25	058	00243/26	Omot L 40.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'153" E 015°23'850" E	1,25	5,9	17	49	<0,50	9,4	20	<0,5	15	27,8	<0,1	5,6	dijagonala NW, na 50 m udaljenosti od odlagališta
38	058	01533/25	058	00244/26	Omot L 41.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'174" E 015°23'827" E	1,32	7,8	18	48	<0,50	17	32	0,6	26	33	0,14	5,1	dijagonala NW, na 100 m udaljenosti od odlagališta
39	058	01534/25	058	00245/26	Omot L 42.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'233" E 015°23'750" E	1,3	8,3	20	74	<0,50	17	41	1	30	37,4	0,11	5,2	dijagonala NW, na 250 m udaljenosti od odlagališta
40	058	01535/25	058	00246/26	Omot L 43.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'335" E 015°23'636" E	1,3	7,8	17	57	3,5	19	29	0,65	25	42,3	0,13	5,3	dijagonala NW, na 500 m udaljenosti od odlagališta
13	058	01508/25	058	00219/26	Omot L 16.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'140" E 015°23'655" E	1,37	7,6	21	59	<0,50	21	26	8,4	29	35	0,14	7	paralelno sa željezničkom prugom
12	058	01507/25	058	00218/26	Omot L 15.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'047" E 015°23'803" E	0,9	3,4	21	52	2,4	5,2	16	0,6	33	45	0,05	7,3	paralelno sa željezničkom prugom
19	058	01514/25	058	00225/26	Omot L 22.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°31'962" E 015°23'950" E	1,19	7,5	14	48	8,4	19	33	1,4	22	31,8	0,21	7,3	paralelno sa željezničkom prugom
20	058	01515/25	058	00226/26	Omot L 23.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°31'856" E 015°24'133" E	1,62	<0,5	26	43	1,1	16	27	1,3	25	31	0,17	7,2	paralelno sa željezničkom prugom
14	058	01509/25	058	00220/26	Omot L 17.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'185" E 015°23'622" E	1,27	9,5	26	56	<0,50	16	37	1	31	38	0,11	7,3	okomito na željeznički kolodvor, 1 m
15	058	01510/25	058	00221/26	Omot L 18.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'187" E 015°23'625" E	1,24	9,4	18	44	4	17	33	2,9	24	34,7	0,11	6,5	okomito na željeznički kolodvor, 5 m
16	058	01511/25	058	00222/26	Omot L 19.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'190" E 015°23'629" E	1,5	<0,5	19	41	0,54	12	33	2,9	22	29,7	0,13	6,6	okomito na željeznički kolodvor, 15 m
17	058	01512/25	058	00223/26	Omot L 20.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'195" E 015°23'635" E	1,07	6,9	18	61	7,8	14	25	2,4	23	31,9	0,11	5,6	okomito na željeznički kolodvor, 25 m
18	058	01513/25	058	00224/26	Omot L 21.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°32'203" E 015°23'649" E	1,37	7,1	18	62	0,93	14	29	3,4	26	36,3	0,1	5,7	okomito na željeznički kolodvor, 50 m
25	058	01520/25	058	00231/26	Omot L 28.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°31'690" E 015°24'294" E	1,11	8,4	16	56	2	17	32	0,74	29	42,6	0,13	4,9	vrh, Bilajska 230, oko 100 m od ceste, uzet uzorak tla i kupusa
26	058	01521/25	058	00232/26	Omot L 29.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°31'972" E 015°23'856" E	1,17	4,8	10	42	<0,50	7,5	19	<0,5	15	19	<0,1	6,1	vrh, Bilajska 160, iza kuće, uzet samo uzorak tla
21	058	01516/25	058	00227/26	Omot L 24.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°34'598" E 015°23'295" E	1,21	5,5	11	42	7,8	17	17	1,6	16	34,6	0,11	4,7	kontrolna točka, šuma sa smrekama
22	058	01517/25	058	00228/26	Omot L 25.1	tlo (miješani uzorak)	N 44°33'671" E 015°23'247" E	0,93	5,4	17	48	0,6	9,9	22	1,6	21	28,3	0,15	5,2	kontrolna točka, livada s maslačkom
							Min. vr.	0,9	<0,5	10	11	<0,50	5,2	7,3	<0,5	13	19	0,015	4,6	
							Maks. vr.	3,7	32,3	30	105	11	26	81	8,4	42	105	0,27	8,8	
	MDK ⁹							n. d.	≤ 30	≤ 120	≤ 200	≤ 2	≤ 60	≤ 120	≤ 15	≤ 75	≤ 150	≤ 1,5		
	Srednja vrijednost - Hrvatska ¹⁰							n. d.	13	30	99	0,7	14	97	n. d.	55	38	0,09298		
	Srednja vrijednost - Europa ¹¹							1,04	11,6	17,3	68,1	0,284	10,4	94,8	0,943	37,3	32,6	0,061		

⁹ - MDK za tlo - Pravilnik (NN 71/2019)

¹⁰ Srednja vrijednost - Hrvatska - Halamić i Miko (2009)

¹¹ Srednja vrijednost - Europa (topsoil) - Salminen et al. (2005)

Intervention values - Nizoremska ¹²	15	55	150	770	12	240	380	200	210	510	10
Kontaminacijski faktor (C) ₁₃	305	2	312	2	16	2	1	9	1	26	3

Kratice: r. br. – redni broj, s. t. – suha tvar, n. d. – nije definirano

Narančastom bojom su označena ona polja u kojima su vrijednosti pojedinih teških metala iznad MDK vrijednosti iz Priloga 1. Crvenom bojom su označena ona polja u kojima su vrijednosti pojedinih teških metala iznad MDK vrijednosti iz Priloga 1. Narančastom bojom su označena ona polja u kojima su vrijednosti pojedinih teških metala iznad MDK vrijednosti iz Priloga 1.

¹² Intervention values - Nizozemska - The Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment's (2000) – napomena: Intervention values uzimaju se informativno jer je vrijednosti zagađenja potrebno utvrditi na površini od najmanje 25 m² tla za što u ovom slučaju podaci nisu dostupni

13.5 Kontaminacijski faktor – izračunat na način da je podijeljena maksimalna izmjerena vrijednost sa srednjom vrijednošću za Europu) za što u ovom slučaju podaci nisu dostupni

46	058 01541/2 5	058 00252/2 6	Omot L 22.2	biljka (maslačka k)	Omot L 22.1	N 44°31.962 ' E 015°23.95 0'	4,71	<0,5	12	57	<0,50	<5,0	<3,0	8,4	<5,0	<10,0	<0,1	paralelno sa željezničko m prugom	0,471	<0,05	1,2	5,7	<0,05	<0,5	<0,3	0,84	<0,5	<1	<0,01
48	058 01543/2 5	058 00254/2 6	Omot L 25.2	biljka (maslačka k)	Omot L 25.1	N 44°33.671 ' E 015°23.24 7'	1,94	<0,5	11	64	<0,50	7,4	<3,0	0,7	<5,0	<10,0	<0,1	kontrolni uzorak, livada s maslačkom	0,194	<0,05	1,1	6,4	<0,05	0,74	<0,3	0,07	<0,5	<1	<0,01
50	058 01545/2 5	058 00256/2 6	Omot L 28.2	biljka (kupuš)	Omot L 28.1	N 44°31.690 ' E 015°24.29 4'	0,3	<0,5	<9,0	<15,0	<0,50	<5,0	<3,0	<0,5	<5,0	<10,0	<0,1	vrh, Bilajska 230, oko 100 m od ceste, uzet uzorak tla i kupuša	0,024	<0,04	0,72	1,2	<0,04	<0,4	<0,24	<0,04	<0,4	<0,8	<0,00
						min. vr.	0,28	<0,5	<9,0	<15,0	<0,50	<5,0	<3,0	<0,5	<5,0	<10,0	<0,1		0,024	<0,05	0,72	1,2	<0,04	<0,4	<0,24	<0,04	<0,4	<0,8	<0,00
						maks. vr.	4,71	<0,5	<9,0	<15,0	<0,50	<5,0	<3,0	8,4	<5,0	<10,0	<0,1		0,471	0,33	1,7	23,6	<0,05	3,025	1,65	0,84	2,75	<5,5	5
Vrijednosti prema Uredbi Komisije (EU) 2023/915 od 25. travnja 2023. o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani i o stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 1881/2006 (SL L 119, 5.5.2023., str. 103.–157.) - izražene u mg kg ⁻¹ svježe mase																													
za kupusnjače																													
za lisnato povrće																													
Uobičajene koncentracije za smreku																													
Uobičajene koncentracije za maslačak***																													
Uobičajene koncentracije za kupus																													
Sve koncentracije trebaju biti uzete s rezervom jer uzorci nisu prani (prije sušenja i određivanja teških metala) te mogu sadržavati osim akumuliranih teških metala u tkivima i prašinu istaloženu na površini sakupljenih uzoraka																													
Narančasto su označene vrijednosti koje prelaze propisane vrijednosti prema Uredbi																													
Kratice: r. br. – redni broj, s. t. – suha tvar, n. d. – nije definirano																													
*- analitički broj uzorka - za sve teške metale osim antimona																													
**- analitički broj uzorka - samo za antimon																													
Preračunavanje suhe mase u svježu masu za kupus - uzeto je da kupus sadrži prosječno 92 % vode i 8 % suhe tvari																													
Preračunavanje suhe mase u svježu masu za listove maslačka - uzeto je da sadrže prosječno 90 % vode i 10 % suhe tvari, iako te vrijednosti mogu varirati (voda: 85 % – 91,5 % suha tvar: 8,5 % – 15 %)																													
Preračunavanje suhe mase u svježu masu za grane smreke (drvenaste dijelove) - uzeto je da sadrže prosječno 45 % vode i 55 % suhe tvari, iako te vrijednosti mogu varirati (suha tvar: 38 % – 73 %)																													
*** Stančić, Z.; Fiket, Ž.; Vujević, D. (2022). Can Urban Grassland Plants Contribute to the Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals. Molecules 27, 6558. https://doi.org/10.3390/molecules27196558																													



2.5.1 Povijesni prikaz uklanjanja biljnog pokrova na lokaciji

Za potrebe procjene dinamike i površine širenja prostora pod otpadom na lokaciji Gospić, analizirane su digitalne ortofotosnimke sa Geoportala (<https://geoportal.dgu.hr/>) od 2017./2018. do 2024. godine. Površina je mjerena sa dostupnim alatima Geoportala i ne predstavlja točnu izmjeru već indikativnu. Na slici 64 je označen zasebno prostor P1. Na tom prostoru su već 2017. i 2018. godine bili vidljivi objekti, stoga je isti evidentiran, ali promjena površine nije uzeta u obzir pri izračunu površine s koje je uklonjen biljni pokrov. Označen je prostor P2 na kojem su također u to vrijeme bili vidljivi objekti, stoga se P1 i P2 nisu uzeli u obzir. Prostor P3 zasebno je označen jer je na njemu vidljiva promjena (uklanjanje biljnog pokrova), isti je uzet u obzir u procjeni prostora na kojem je uklonjen biljni pokrov.

U tablici u nastavku dan je izračun površina s kojih je uklonjen biljni pokrov na lokaciji. U periodu od 2017./2018. do 2023./2024. uklonjeno je **oko 17.796 m²** biljnog pokrova s lokacije.

Tablica 44. Prikaz površina kroz godine

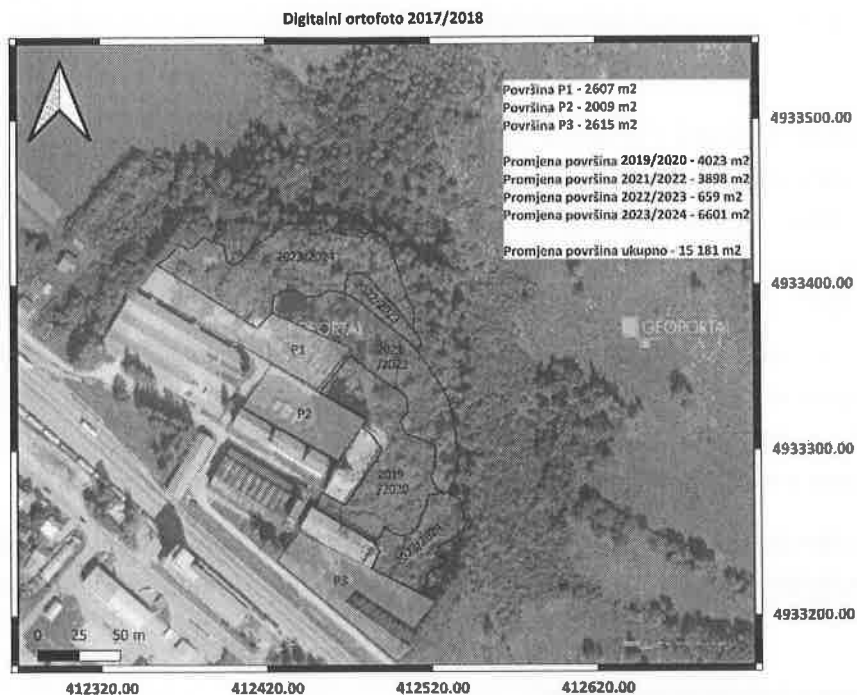
	Površina (P oznaka) [m ²]
P1	2.607
P2	2.009
P3	2.615

	Uklonjen biljni pokrov [m ²]	Uklonjen biljni pokrov [m ²]	Uklonjen biljni pokrov ukupno [m ²]
2017/2018	0		
2019/2020	2.615	4.023	6.638
2021/2022		3.898	3.898
2022/2023		659	659
2023/2024		6.601	6.601
Ukupno	2.615	15.181	17.796

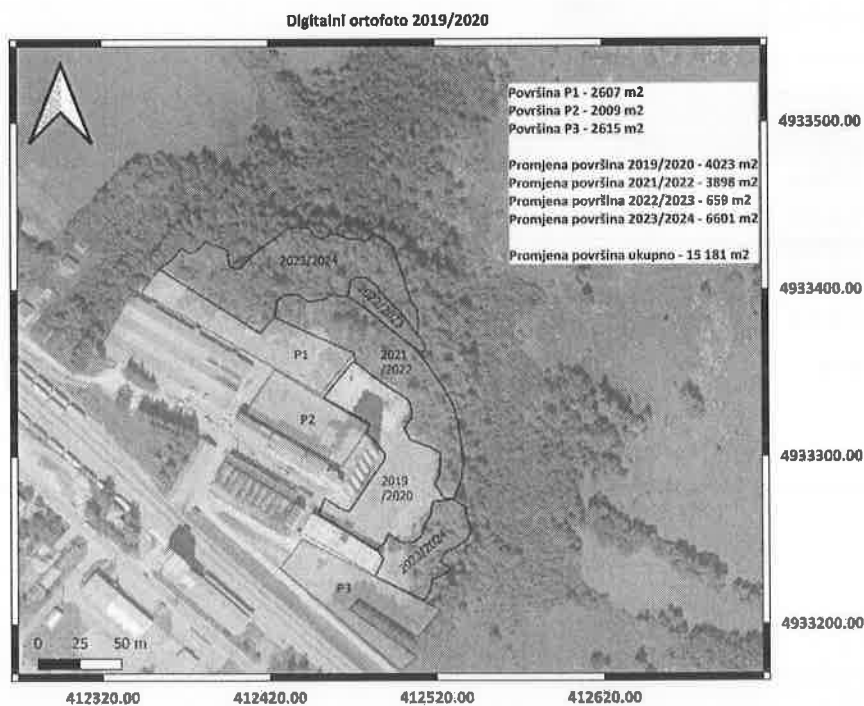


Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Slika 64 Stanje 2017/18

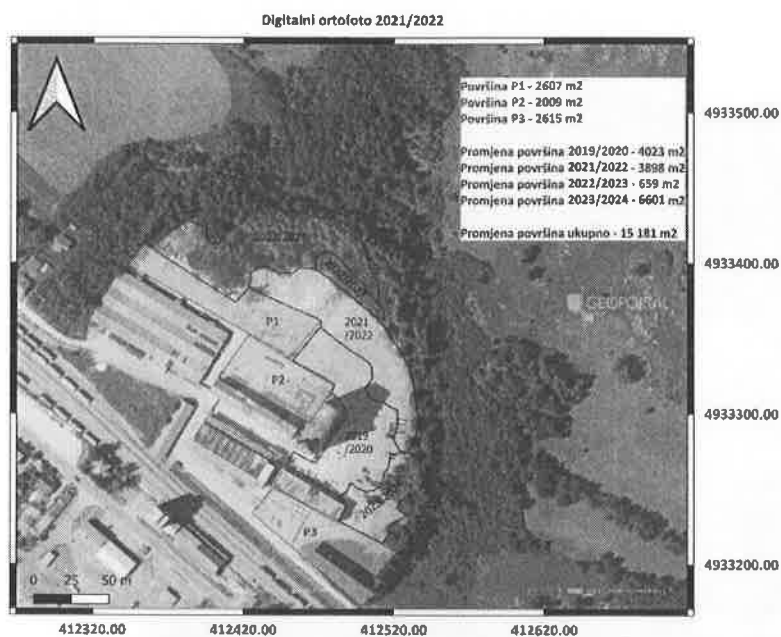


Slika 65 Uklonjena površina 2019/20

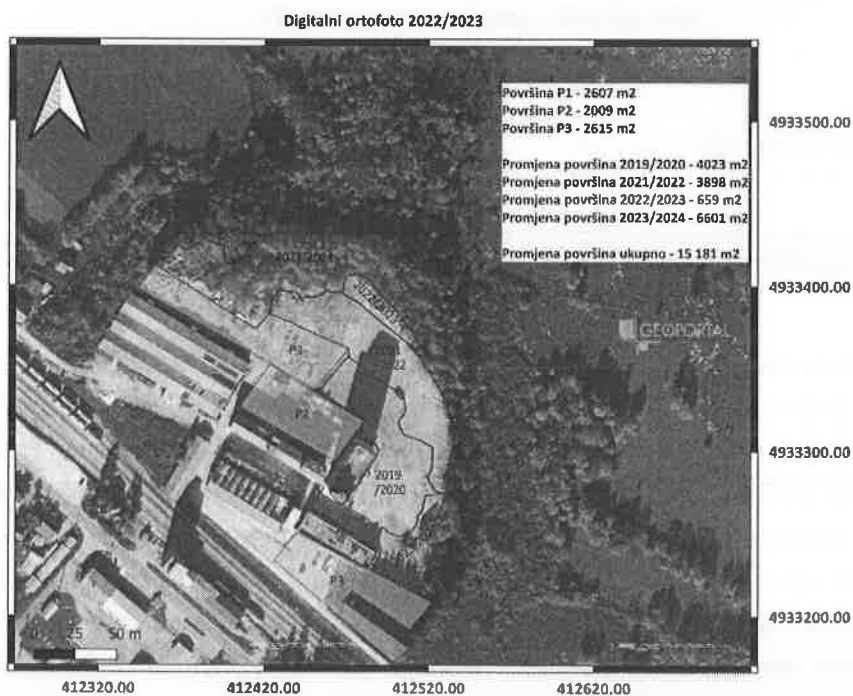


Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

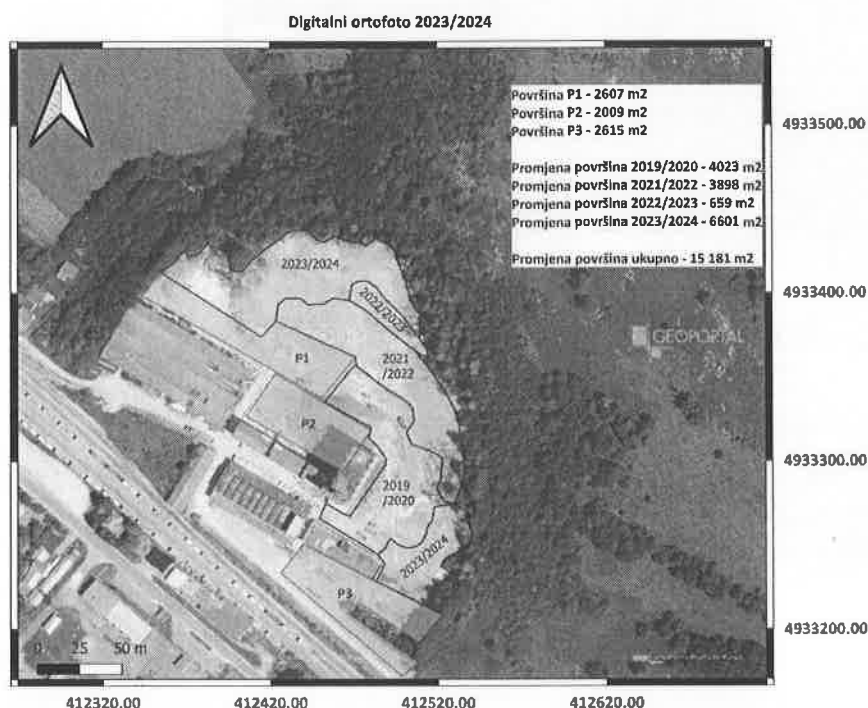
Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Slika 66 Uklonjena površina 2021/22



Slika 67 Uklonjena površina 2022/23



Slika 68 Uklonjena površina 2023/24

2.5.2 Biljni pokrov lokacije

Biljni pokrov odlagališta i sastojina drveća i grmlja sjeverno, sjeveroistočno i sjeverozapadno od odlagališta

Na središnjem dijelu **ravne površine odlagališta** uglavnom nema biljaka (Slika 69). To upućuje ili na nedavno dodavanje gornjeg sloja mješavine pokrovnog tla i usitnjenog plastičnog materijala i/ili na utjecaj građevinskih strojeva korištenih za poravnavanje površine. Prekrivanje i gaženje površine djeluje na način da onemogućuje razvoj kompaktnog biljnog pokrova. Na rubovima ravne površine odlagališta utvrđene su **zeljaste jednogodišnje i višegodišnje biljke** (Slike 70-71), što upućuje da su ti dijelovi manje utjecajni prekrivanjem i gaženjem. Na pokrovnom, ravnom dijelu odlagališta, među biljnim vrstama 2025. dominirale su: *Polygonum aviculare*, *Erigeron annuus*, *E. canadensis*, *Tussilago farfara*, *Potentilla reptans*, *Melilotus albus*, *M. officinalis*, *Trifolium repens*, *Senecio vulgaris*, *Plantago lanceolata*, *P. major*,



Medicago lupulina. Detaljan popis vrsta nalazi se u Prilogu 2. Niti jedna vrsta ne pripada među strogo zaštićene i ugrožene vrste.

Pozitivno djelovanje spontano razvijenog biljnog pokrova sastavljenog od zeljastih biljaka, posebice po rubnim dijelovima odlagališta, je **stabilizacija supstrata** bilo korijenovim sustavom bilo nadzemnim dijelovima. Time se djelomično sprječava, djelovanjem vjetra i oborina, raznošenje (erozija) rastresitog materijala s površine odlagališta na okolna staništa.

Na sjeverozapadnoj, sjevernoj i sjeveroistočnoj strani, u podnožju odlagališta, nalazila se relativno gusto razvijena **sastojina drveća i grmlja**. Među drvećem u najvećoj mjeri je zastupljena crnogorica. Među vrstama drveća najbrojnija je vrsta smreka (*Picea abies*), a sa znatno manjim brojem jedinki raste jela (*Abies alba*), bor (*Pinus* sp.), ariš (*Larix decidua*). Od bjelogoričnih vrsta zastupljena je trešnja (*Prunus avium*). Od grmlja najčešća vrsta je glog (*Crataegus* sp.), lijeska (*Corylus avellana*), vrsta roda *Cornus* sp. (Prilog 2). Sastojinu drveća i grmlja nije moguće pripisati u neki određeni stanišni tip prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa (NKS, 2018). Čini se da je dio drvenastih vrsta posađen u prošlosti (stabla posađena u liniji i na pravilnim razmacima), a prirodnom sukcesijom došlo je do razvoja grmlja.

Sastojina drveća i grmlja ima ovdje dvije korisne funkcije u odnosu na odlagalište. Prva i važnija je da služi kao **fitobarijera koja djelomično sprječava raznošenje sitnih čestica otpada** s odlagališta na okolne površine. Druga funkcija je **vizualna barijera**.

Uz rub odlagališta utvrđen je **veći broj posušenih stabala ili u fazi sušenja**. Najvećim dijelom takva stabla pripadaju smrekama (Slika 72-76), manjim dijelom radi se o stablima trešnje (Slika 77) te pojedinačnim stablima ariša i bora. Pojedina suha stabla su polegnuta ili nagnuta (uz rub odlagališta) (slika 78), što upućuje na njihova mehanička oštećenja prilikom širenja i prekrivanja odlagališta. Međutim, veći dio suhih stabala ili u procesu sušenja ne pokazuje vidljive znakove mehaničkog oštećenja.



Slika 69 Središnji ravni dio odlagališta otpada u Gospiću bez ili sa vrlo malo biljnog pokrova



Slika 70 Rubni dio odlagališta otpada u Gospiću, površina na kojoj dominira vrsta *Polygonum aviculare*



Slika 71 Rubni dio odlagališta otpada u Gospiću na površini kojeg su zastupljene zeljaste jednogodišnje i višegodišnje biljne vrste



Slika 72 Prikaz posušenih stabala, uglavnom smreke, uz sjeverni rub odlagališta u Gospiću



Slika 73 Prikaz posušenih stabala smreke uz zapadni dio odlagališta u Gospiću



Slika 74 Posušena stabla smreke uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine



Slika 75 Posušena stabla smreke uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine



Slika 76 Posušena stabla smreke i dijelom nagnuta uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Slika 77 Djelomično posušeno stablo trešnje na odlagalištu otpada u Gospiću



Slika 78 Nagnuta i porušena stabla smreke uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine.



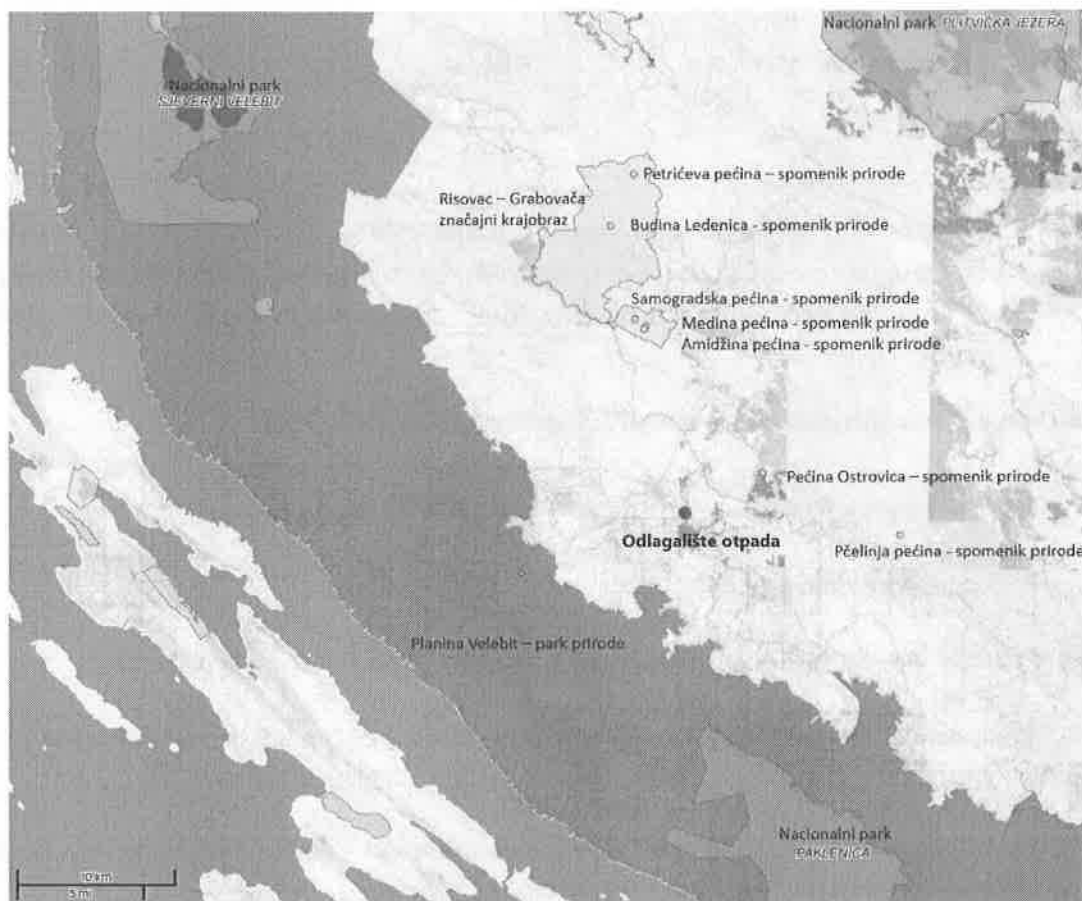
2.6 Zaštićena područja i staništa

2.6.1 Zaštićena područja

Zaštićena područja su podijeljena u tri skupine: proglašena na temelju hrvatskih propisa, propisa Europske unije i globalnih propisa. U daljnjem tekstu navedena su zaštićena područja zastupljena u krugu od oko 20 km zračne udaljenosti od odlagališta otpada (MZOZT, 2025, <https://bioportal.hr/gis/>).

Zaštićena područja proglašena na osnovi hrvatskih propisa (Slika 79):

- **Nacionalni park Paklenica** – zračna udaljenost oko 13 km od odlagališta
- **Park prirode Planina Velebit** – zračna udaljenost oko 5 km
- **Značajni krajobraz Risovac – Grabovača** – zračna udaljenost oko 10 km
- **Geomorfološki spomenik prirode Pećina Ostrovica** – zračna udaljenost oko 5 km
- **Geomorfološki spomenik prirode Pčelinja pećina** – zračna udaljenost oko 13 km
- **Spomenik prirode Amidžina pećina kod Perušića u Lici** – unutar Značajnog krajobraza Risovac – Grabovača, zračna udaljenost oko 11 km
- **Spomenik prirode Medina pećina kod Perušića u Lici** – unutar Značajnog krajobraza Risovac – Grabovača, zračna udaljenost oko 11 km
- **Spomenik prirode Samogradska pećina kod Perušića u Lici** – unutar Značajnog krajobraza Risovac – Grabovača, zračna udaljenost oko 12 km
- **Spomenik prirode Budina Ledenica / Pećina Ledenica** – unutar Značajnog krajobraza Risovac – Grabovača, zračna udaljenost oko 18 km
- **Spomenik prirode Petrićeva pećina** – unutar Značajnog krajobraza Risovac – Grabovača, zračna udaljenost oko 21 km



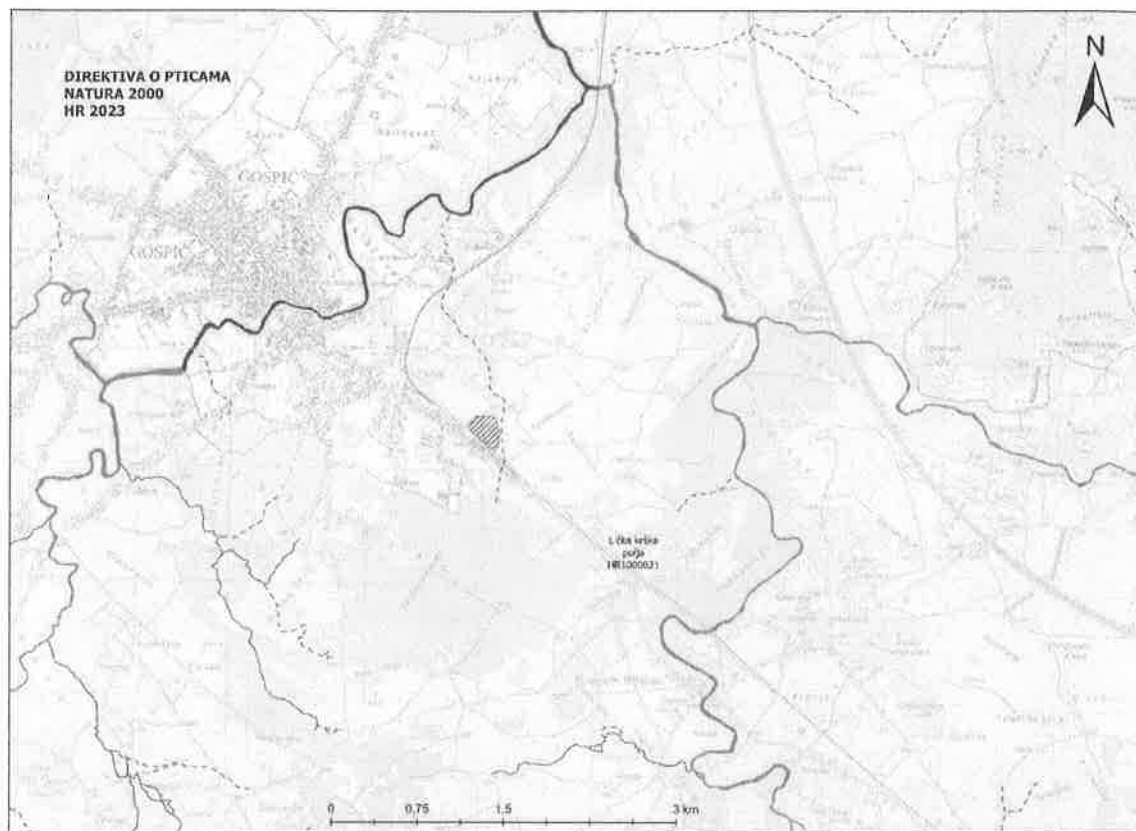
Slika 79 Prikaz zaštićenih područja kategoriziranih prema hrvatskim propisima. Izvor: MZOZT (2025).

Zaštićena područja proglašena na osnovi propisa Europske unije:

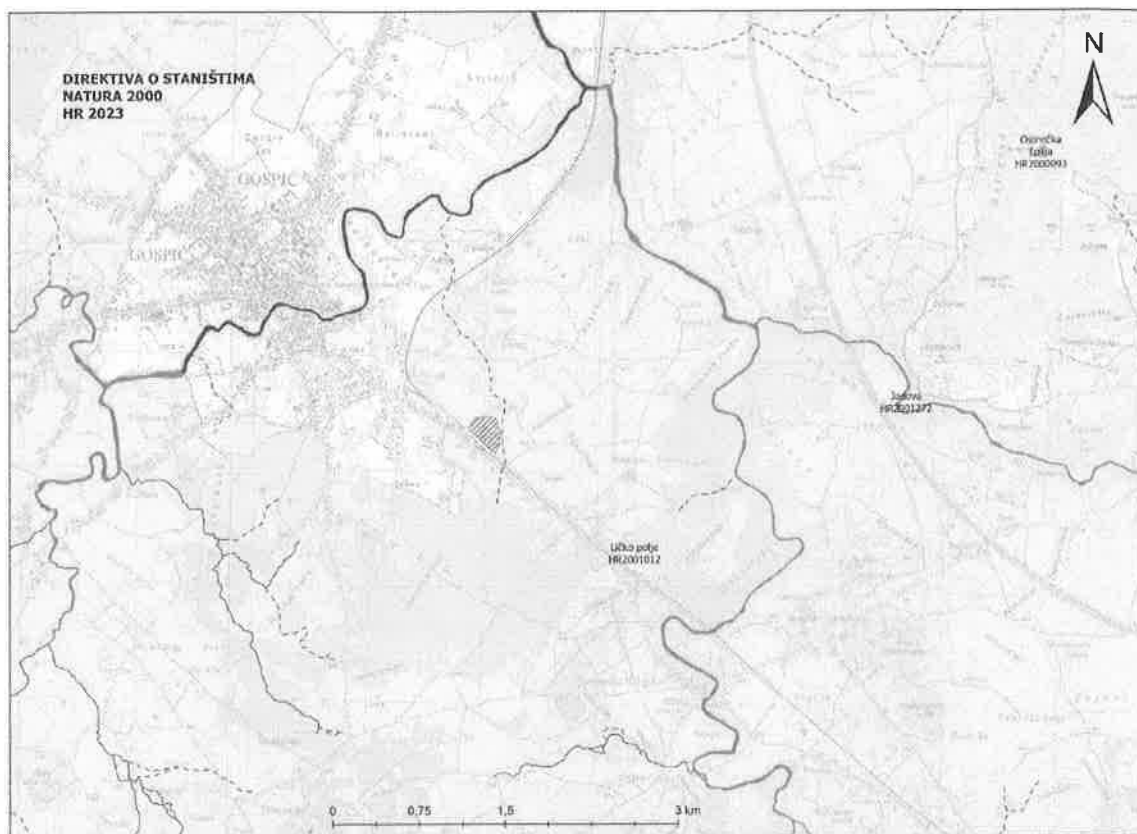
- **Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o pticama – POP¹⁴ Lička krška polja** (Slika 80) – zračna udaljenost – 0 m, odlagalište se dijelom nalazi u području ekološke mreže - preklapanje, detalji o Natura području na poveznici: <https://interni.bioportal.hr/ekomreza/natura/report/site?site-code=HR1000021>
- **Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o staništima – POVS¹⁵ Ličko polje** (Slika 81) – zračna udaljenost – 0 m, odlagalište se dijelom nalazi u području ekološke mreže – preklapanje, detalji o Natura području na poveznici: <https://interni.bioportal.hr/ekomreza/natura/report/site?site-code=HR2001012>

¹⁴ POP - Područja Očuvanja značajna za Ptice

¹⁵ POVS - Područja Očuvanja značajna za Vrste i Stanišne tipove



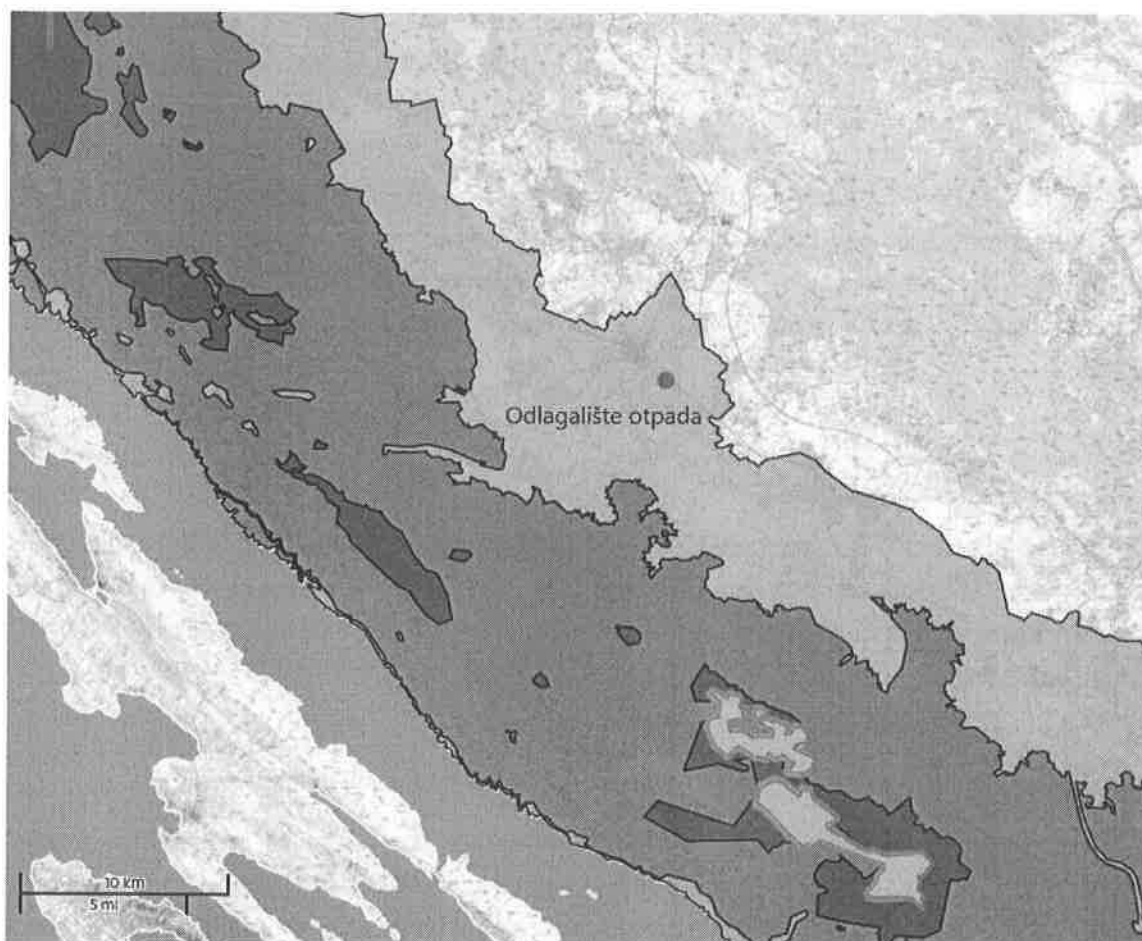
Slika 80 Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o pticama pod nazivom „Lička krška polja“ označeno je na karti blijedo žutom bojom. Izvor podataka: MZOZT (2025).
Područje odlagališta otpada u Gospiću označeno je crvenim linijama.



Slika 81 Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o staništima pod nazivom „Ličko polje“ označeno je na karti blijedo zelenom bojom. Izvor podataka: MZOZT (2025). Područje odlagališta otpada u Gospiću označeno je crvenim linijama.

Zaštićeno područje proglašeno na osnovi globalnih propisa:

- **Rezervat biosfere „Velebit“** (Slika 82), proglašen u okviru MaB programa ili programa Čovjek i biosfera – zona najstrože zaštite tzv. područje jezgre nalazi se na zračnoj udaljenosti manjoj od 20 km, zaštitna ili tampon zona ili područje utjecaja nalazi se na zračnoj udaljenosti manjoj od 5 km, a samo odlagalište nalazi se unutar prijelaznog područja.



Slika 82 Zaštićeno područje rezervata biosfere „Velebit“ koji je dio UNESCO Programa „Čovjek i biosfera“ (MaB). Izvor podataka: MZOZT (2025). Područje odlagališta otpada u Gospiću označeno je crvenom točkom. Područje rezervata biosfere podijeljeno je u tri zone zaštite: smeđa područja – područja jezgre, područja najstrože zaštite; ljubičasta područja - područja utjecaja, svjetlo ljubičasto označeno je prijelazno područje.

Zaključno, odlagalište otpada u Gospiću:

- Nalazi se okruženo u radijusu od oko 20 km s većim brojem zaštićenih područja proglašanih na osnovi hrvatskih propisa (1 nacionalni park, 1 park prirode, 1 značajni krajobraz, 2 geomorfološka spomenika prirode i 5 spomenika prirode). Od navedenih područja na najmanjoj zračnoj udaljenosti, od oko 5 km, nalaze se **Geomorfološki spomenik prirode Pećina Ostrovica i Park prirode Planina Velebit**.

- Preklapa se s dva područja **ekološke mreže**, jedno je pod nazivom „**Lička krška polja**“ proglašeno na osnovi Direktive o pticama, a drugo je „**Ličko polje**“ proglašeno na osnovi Direktive o staništima.
- Nalazi se unutar **rezervata biosfere** pod nazivom „**Velebit**“ proglašeno u okviru UNESCO programa „Čovjek i biosfera“, i to unutar prijelaznog područja.

Dodatno, u radijusu od oko 15-20 km oko odlagališta nalazi se veći broj speleoloških objekata (GIS slojevi – Speleološki objekti, MZOZT, 2025), na primjer Pećina ispod kamenoloma u selu Podoštra (katastarski broj: HR03534), oko 5 km zračne udaljenosti od odlagališta u smjeru zapada.

2.6.2 Staništa

Staništa su popisana na osnovi obilaska terena, Karte staništa (MZOZT, 2025) (Slika 7) i Nacionalne klasifikacije staništa Republike Hrvatske (NKS, 2018). Dodatno su korišteni podaci Zavoda za zaštitu okoliša i prirode (Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije) koji su dobiveni 02. prosinca 2025. na zahtjev (KLASA 351-02/25-56/309; URBROJ: 517-08-1-1-2-25-2)

Staništa su navedena u radijusu od oko 500 m oko odlagališta u Gospiću.

Uz sjeverozapadni, sjeverni i sjeveroistočni rub odlagališta nalazi se **mješavina drveća** (djelomično sađenog i djelomično samoniklog) i **grmlja** (NKS kod: D.1.). Dalje prema sjeveru proteže se pojas šumskih elemenata i šikara uz povremeni vodotok pod nazivom Suvaja.

Utvrđene vrste drveća: smreka (najčešće), bor, ariš, divlja trešnja, jabuka. Utvrđene vrste grmlja: glog, vrbe. Sastojinu drveća nije moguće pripisati nekom određenom tipu staništa prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa (NKS 2018) jer se radi o djelomično sađenim vrstama i površini pod antropogenim utjecajem.

Nakon relativno uskog pojasa drveća i grmlja uz odlagalište, prema sjeverozapadu (sjeveroistočno od željezničke pruge) nalaze se **mezofilne livade košarice** koje pripadaju svezi *Arrhenatherion elatioris* (NKS kod: C.2.3.2.). Uglavnom se kose, a manjim dijelom (uz prugu) se nalaze u različitim fazama sukcesije, a ponegdje su zarasle u grmlje (NKS kod: D.1.).

Nakon pojasa drveća i grmlja prema sjeveru i sjeveroistoku nalaze se **pašnjaci** koji su **pomiješani s bujadnicama** (NKS kod: C.3.4.3.4.). Pašnjaci su ograđeni i na njima se drže domaće životinje. Površinu pašnjaka nije bilo moguće uvrstiti u neki od stanišnih tipova zbog obilaska terena u travnju i listopadu kada većina travnjačkih vrsta nije bila prepoznatljiva. Međutim, prema Karti kopnenih ne-šumskih staništa iz 2016. (MZOZT, 2025) na tom području osim bujadnica rastu **travnjaci vlasastog zmijka** (NKS kod: C.3.5.3.) koji pripadaju svezi



Scorzonerion villosae. Taj stanišni tip nalazi se na popisu ugroženih i/ili rijetkih stanišnih tipova od nacionalnog i europskog značaja zastupljenih na području Republike Hrvatske (Prilog 2) Pravilnika o popisu stanišnih tipova i karti staništa (NN 27/2021). Jedan od kriterija uvrštavanja travnjaka vlasastog zmijka među ugrožene i rijetke stanišne tipove je što je taj stanišni tip zaštićen na međunarodnoj razini Bernskom konvencijom. Nadalje, travnjaci vlasastog zmijka nalaze se na popisu Anexa 1 Direktive o staništima pod oznakom i nazivom: „62A0 Eastern sub-Mediterranean dry grasslands (*Scorzoneratalia villosae*)“. Za zaštitu navedenog stanišnog tipa potrebno je odrediti posebna područja očuvanja unutar ekološke mreže.

Uz povremeni vodotok Suvaja utvrđene su **zakorijenjene submerzne zajednice voda tekućica sveze *Ranunculion fluitantis* (NKS kod: A.3.3.2.)** prema ustupljenim internim podacima Zavoda za zaštitu okoliša i prirode. Ovaj stanišni tip se također nalazi na popisu ugroženih i/ili rijetkih stanišnih tipova od nacionalnog i europskog značaja zastupljenih na području Republike Hrvatske (Prilog 2) Pravilnika o popisu stanišnih tipova i karti staništa (NN 27/2021). Jedan od kriterija uvrštavanja zakorijenjenih submerznih zajednica voda tekućica među ugrožene i rijetke stanišne tipove je što je taj stanišni tip zaštićen na međunarodnoj razini Bernskom konvencijom. Nadalje, taj stanišni tip nalazi se na popisu Anexa 1 Direktive o staništima pod oznakom i nazivom: „3260 Water courses of plain to montane levels with the *Ranunculion fluitantis* and *Callitriche-Batrachion* vegetation“. Za zaštitu navedenog stanišnog tipa potrebno je odrediti posebna područja očuvanja unutar ekološke mreže. Mogući negativni utjecaj odlagališta: ispiranje onečišćivala i njihovo prenošenje vodotokom.

Na istočnoj strani, nakon uskog pojasa drveća i grmlja, nalazi se površina u sukcesiji, na kojoj su zastupljene visoke zeljaste biljke, njihovi suhi ostaci i pojedinačne grmoličke drvenaste vrste. Dalje prema zapadu uz prugu nalaze se livade košanice (sveza *Arrhenatherion elatioris*, NKS kod: C.2.3.2.), a mjestimično pojedinačno drveće i grmlje (obično po međama).

Uz jugozapadni rub odlagališta, nalazi se željeznička pruga, zatim Bilajska ulica te red uglavnom privatnih kuća s pripadajućim okućnicama. Taj dio se može uvrstiti u tzv. izgrađena i industrijska staništa (NKS kod: J.). Dalje u smjeru jugozapada nalaze se poljoprivredne površine i zapuštene poljoprivredne površine.

Zaključno, u okolici odlagališta, na temelju Karte staništa i podataka Zavoda za zaštitu okoliša i prirode utvrđena su dva rijetka i ugrožena stanišna tipa: **travnjaci vlasastog zmijka (NKS kod: C.3.5.3.)** i **zakorijenjene submerzne zajednice voda tekućica (NKS kod: A.3.3.2.)**.



Slika 83 Karta kopnenih ne-šumskih staništa iz 2016. na području odlagališta i u okolici. Izvor: MZOZT (2025). Oznake: J (sivo) - Izgrađena i industrijska staništa, E (zeleno) – elementi šuma, C (žuto) – travnjaci, C232 - mezofilne livade košanice (NKS kod: C.2.3.2.), C3434 - bujadnice (NKS kod: C.3.4.3.4.), C353 - travnjaci vlasastog zmijka (NKS kod: C.3.5.3.), I (narančasto) – zapuštene poljoprivredne površine. Izvor podataka: MZOZT (2025)

Flora

Podaci o fori dobiveni su na zahtjev od Zavoda za zaštitu okoliša i prirode. Kao izvori podataka korištene su dvije baze: Flora Croatica Database (FCD) i BioAtlas. Podaci se odnose na područje u radijusu od 5 km oko odlagališta. Napomena, radijus od 5 km ne treba shvatiti kao područje utjecaja odlagališta već je to područje uzeto temeljem stručne procjene Zavoda.

Prema FCD-u i BioAtlasu na tom području evidentirano je 312 biljnih svojti (uglavnom vrsta). Od toga broja je 16 vrsta strogo zaštićenih (SZ), jedan kritično ugrožena (CR), sedam ugroženih (EN) i 9 vrsta osjetljivih (VU) (8).



Može se zaključiti da je utvrđen značajan broj strogo zaštićenih biljnih vrsta (16 vrsta) (Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama, NN 144/13, 73/16) i različitih kategorija ugroženih vrsta (17 vrsta) (prema IUCN kriterijima) u radijusu od 5 km od odlagališta.

Tablica 45. Popis strogo zaštićenih (SZ) i ugroženih biljnih vrsta (CR - kritično ugrožena, EN – ugrožena, VU - osjetljiva) u okolici odlagališta (radijus 5 km) u Gospiću.

Latinski naziv biljne vrste	strogo zaštićena/ugrožena vrsta
<i>Achillea virescens</i> (Fenzl) Heimerl	SZ
<i>Aquilegia kitaibelii</i> Schott	SZ
<i>Arabis scopoliana</i> Boiss.	SZ
<i>Arenaria gracilis</i> Waldst. et Kit.	SZ
<i>Asarum europaeum</i> L.	SZ
<i>Cardaminopsis croatica</i> (Schott, Nyman et Kotschy) Jáv.	SZ
<i>Centaurea tuberosa</i> Vis.	SZ
<i>Chouardia litardierei</i> (Breistr.) Speta	SZ
<i>Corydalis acaulis</i> (Wulfen) Pers.	SZ
<i>Erysimum carniolicum</i> Dolliner	SZ
<i>Gentiana lutea</i> L.	SZ
<i>Helleborus multifidus</i> Vis.	SZ
<i>Hieracium waldsteinii</i> Tausch	SZ
<i>Primula kitaibeliana</i> Schott	SZ
<i>Rorippa lippizensis</i> (Wulfen) Rchb.	SZ
<i>Silene flavescent</i> Waldst. et Kit.	SZ
<i>Tremastelma palaestinum</i> (L.) Janch.	CR
<i>Carex flava</i> L.	EN
<i>Carex hostiana</i> DC.	EN
<i>Carex serotina</i> Méral	EN
<i>Gentiana pneumonanthe</i> L.	EN
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	EN
<i>Ranunculus lingua</i> L.	EN
<i>Ranunculus ophioglossifolius</i> Vill.	EN
<i>Alopecurus rendlei</i> Eig	VU
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.	VU
<i>Carex panicea</i> L.	VU
<i>Cyperus flavescent</i> L.	VU
<i>Cyperus fuscus</i> L.	VU
<i>Cyperus longus</i> L.	VU
<i>Lilium bulbiferum</i> L.	VU



<i>Lilium carnolicum</i> Bernh. ex Koch	VU
<i>Lilium martagon</i> L.	VU

2.7 Fauna

Podaci o fori dobiveni su na zahtjev od Zavoda za zaštitu okoliša i prirode. Kao izvor podataka korištena je baza BioAtlas. Podaci se odnose na područje u radijusu od 5 km oko odlagališta. Napomena, radijus od 5 km ne treba shvatiti kao područje utjecaja odlagališta već je to područje uzeto temeljem stručne procjene Zavoda.

Ukupno je zabilježeno 107 svojti (najvećim dijelom vrsta) životinja (*Animalia*) i 1 vrsta kromista (*Chromista*) (Prilog 2). Među životinjama, najviše utvrđenih vrsta pripada pticama (39 vrsta, razred *Aves*), zatim slijede kukci (33 vrste razred *Insecta*), sisavci (12 vrsta, razred *Mammalia*), gmazovi (10 vrsta, razred *Squamata*), puževi (4 vrste, razred *Gastropoda*) i druge skupine s malim brojem vrsta.

Među životinjama utvrđen je velik broj zaštićenih i ugroženih vrsta (Tablica 46). Zabilježeno je 27 strogo zaštićenih vrsta (SZ) prema Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/13, 73/16), te dvije kritično ugrožene vrste (CR), tri ugrožene vrste (EN), jedna osjetljiva vrsta (VU) prema IUCN kriterijima. Najvećim dijelom radi se o pticama (razred *Aves*) i sisavcima (razred *Mammalia*).

Tablica 46. Popis strogo zaštićenih (SZ) i ugroženih životinjskih vrsta (CR - kritično ugrožena, EN – ugrožena, VU – osjetljiva) u okolici odlagališta (radijus 5 km) u Gospiću

Znanstveno ime	Razred	Strogo zaštićena/Ugrožena vrsta
<i>Alcedo atthis</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Anthus campestris</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Buteo buteo</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Carduelis carduelis</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Charadrius dubius</i> Scopoli, 1786	Aves	SZ
<i>Circus cyaneus</i> (Linnaeus, 1766)	Aves	SZ
<i>Erithacus rubecula</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Muscicapa striata</i> (Pallas, 1764)	Aves	SZ
<i>Oriolus oriolus</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Parus major</i> Linnaeus, 1758	Aves	SZ
<i>Phoenicurus ochruros</i> (S.G.Gmelin, 1774)	Aves	SZ
<i>Phylloscopus collybita</i> (Vieillot, 1817)	Aves	SZ
<i>Saxicola rubetra</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	SZ
<i>Serinus serinus</i> (Linnaeus, 1766)	Aves	SZ



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



<i>Euphydryas aurinia</i> (Rottemburg, 1775)	Insecta	SZ
<i>Canis lupus</i> Linnaeus, 1758	Mammalia	SZ
<i>Hypsugo savii</i> (Bonaparte, 1837)	Mammalia	SZ
<i>Myotis blythii</i> (Tomes, 1857)	Mammalia	SZ
<i>Myotis mystacinus</i> (Kuhl, 1817)	Mammalia	SZ
<i>Nyctalus noctula</i> (Schreber, 1774)	Mammalia	SZ
<i>Pipistrellus kuhlii</i> (Kuhl, 1817)	Mammalia	SZ
<i>Pipistrellus nathusii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Mammalia	SZ
<i>Pipistrellus pipistrellus</i> (Schreber, 1774)	Mammalia	SZ
<i>Pipistrellus pygmaeus</i> (Leach, 1825)	Mammalia	SZ
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	Mammalia	SZ
<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	Mammalia	SZ
<i>Testudo hermanni</i> Gmelin, 1789	Testudines	SZ
<i>Aquila chrysaetos</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	CR
<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	Actinopterygii	CR
<i>Circaetus gallicus</i> (Gmelin, 1788)	Aves	EN
<i>Circus pygargus</i> (Linnaeus, 1758)	Aves	EN
<i>Delima semirugata obesa</i> (L. Pfeiffer, 1861)	Gastropoda	EN
<i>Egretta garzetta</i> (Linnaeus, 1766)	Aves	VU

2.8 Kvaliteta zraka

Grad Gospić naručio je mjerenje kvalitete zraka od strane Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Splitsko dalmatinske županije (br. Ispitnog izvješća 2025/082-3).

Na jednoj mjernoj postaji (mjerna postaja Gospić) provela su se indikativna mjerenja slijedećih parametara: koncentracija lebdećih čestica PM10 i PM2,5 te udio metala (As, Cd, Ni i Pb) u PM10. Tijekom kalendarske godine (ispitivani period) provelo se mjerenje ukupne taložne tvari (UTT) i metala (As, Cd, Ni, Pb i TI) i to u slijedećim periodima:

21.5.2025 – 4.6.2025. proljetno razdoblje

19.8.2025 – 2.9.2025. ljetno razdoblje

13.11.2025 do 27.11.2025 jesensko razdoblje

Mjerna postaja uključivala je UTT Gospić 1 u neposrednoj blizini lokacije odlagališta i UTT Gospić 2 izvan potencijalne zone utjecaja odlagališta, te lokacija LČ Gospić (Slika 84).

Rezultati mjerenja pokazuju:

Lokacija LČ Gospić - Tijekom proljetnog, ljetnog i jesenskog razdoblja mjerenja nije bilo prekoračenja dnevne granične vrijednosti za PM10 na mjernoj postaji LČ Gospić, a rezultati mjerenja PM 2,5 (za koje je propisana godišnja ciljana vrijednost CV 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dok je indikativna GV 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ koja služi samo za praćenje napretka). Izmjerene vrijednosti nisu prešle CV od $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tijekom dnevnih mjerenja izmjerena je jedna dnevna vrijednost Ni u PM10 (28,23 ng/m^3) koja je bila viša od propisane ciljane godišnje vrijednosti (20 ng/m^3). Sve izmjerene srednje vrijednosti provedenih mjerenja LČ za sve ispitane parametre (PM10, PM 2,5 i udjeli metala u PM10) bile su niže od propisanih godišnjih vrijednosti.

Gospić 1 i Gospić 2 – izmjerene pojedinačne vrijednosti ukupne taložne tvari (UTT) za razdoblje od lipnja 2025. do studenog 2025. niže su od propisane godišnje granične vrijednosti.

Izmjerene vrijednosti udjela metala (Pb, Cd, As, Ni i TI) u UTT za razdoblje od lipnja 2025. do studenog 2025. niže su od propisanih ciljnih i graničnih godišnjih vrijednosti.



Slika 84 Lokacije mjerenja kvalitete zraka u Gospiću



3 Utjecaj otpada na sastavnice elemente okoliša

3.1 Metodologija

3.1.1 Metodologija provedbe vještačenja utjecaja na okoliš

Vještačenje je provedeno temeljem rezultata dobivenih istraživanjem, analizama, stručnim i znanstvenim spoznajama. Ukoliko se razmatra cjelokupan prostor obuhvata vještačenja, vidljivo je da se na lokaciji nalaze različite vrste otpada, u različitim oblicima i mjestima skladištenja i odlaganja, te se isti razlikuju u količinama koje su skladištene/odložene. Stoga je za procjenu potencijalnih utjecaja potrebno uzeti u obzir više faktora. Za potrebe vještačenja i utjecaja na okoliš i prirodu korištena je metodologija te kriteriji po kojima je analiziran svaki segment na predmetnoj lokaciji, a isto je prikazano u nastavku.

A. Opseg utjecaja

- 1 usko rasprostranjeni utjecaj samo na dijelu lokacije u krugu od 20-50 m ili unutar same lokacije
- 2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m
- 3 utjecaj rasprostranjen u krugu od 200 - 500 m
- 4 utjecaj rasprostranjen u krugu od 500 do 1000 m
- 5 utjecaj rasprostranjen u krugu većem od 1000 m

B. Mogućnost oporavka (reverzibilnost)

- 1 oporavak nije potreban
- 2 spontani oporavak
- 3 rutinska sanacija (kratkoročna šteta)
- 4 duga sanacija s rezidualnim učincima (srednjoročna šteta)
- 5 nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)

C. Intenzitet štetnih/opasnih tvari (parametri koji su propisani za praćenje ili su poznati kao opasni za ljude, okoliš, prirodu)

- 1 - Mali broj predmeta koji sadrže opasne/štetne tvari,
- 2 - Neznatno prekoračenje vrijednosti jednog parametra u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili ne pripadajućeg parametra u sastavnici)
- 3 - Neznatno prekoračenje vrijednosti 2 i više parametara u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili ne pripadajućeg parametra u sastavnici)
- 4 - Značajno prekoračenje vrijednosti jednog parametra u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili ne pripadajućeg parametra u sastavnici)



- 5 - Značajno prekoračenje vrijednosti više parametara u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili ne pripadajućeg parametra u sastavnici)

U slučajevima gdje postoje propisane granične vrijednosti ili regulatorni kriteriji, isti su uzeti u obzir pri ocjeni intenziteta. U slučajevima gdje takvi kriteriji ne postoje (npr. mikroplastika, dugoročna akumulacija onečišćivala, heterogenost otpada), primijenjena je **stručna analiza utemeljena na znanstvenoj literaturi i profesionalnom iskustvu vještaka**.

3.1.2 Razgraničenje procjene stanja i utjecaja

U ovom nalazu vještaka jasno se razgraničavaju:

- **opis i karakterizacija postojećeg stanja okoliša** (poglavlje 2) i
- **utjecaj otpada na okoliš i prirodu** (poglavlje 3).

Procjena utjecaja nije se temeljila isključivo na trenutnim izmjerenim koncentracijama, već i na:

- prostornoj rasprostranjenosti otpada,
- količinama i volumenu otpada,
- fizikalnim i kemijskim svojstvima otpada,
- mehanizmima migracije onečišćivala,
- vremenskom trajanju izloženosti
- i među utjecaju pojedinih elemenata.

3.1.3 Ograničenja procjene i primjena stručne prosudbe

Utjecaj na okoliš u ovom nalazu vještaka temelji se na opsežnim terenskim i laboratorijskim podacima. Međutim, s obzirom na:

- heterogenost otpada,
- prostornu varijabilnost njegovog rasporeda,

nužno je bilo primijeniti i stručnu prosudbu u interpretaciji rezultata kada je to bilo potrebno.

Takva stručna prosudba utemeljena je na:

- konzistentnosti rezultata različitih analiza i njihovoj međusporedbi,
- ponavljanju određenih obrazaca (npr. prisutnost mobilnih onečišćivala u eluatu),



Sveučilište u Zagrebu **GEOTEHNIČKI FAKULTET**

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



- poznatim ponašanjima sličnih materijala i otpada u okolišu,
- znanstveno potvrđenim mehanizmima migracije i akumulacije onečišćivala,
- relevantnoj znanstvenoj literaturi.

U tom kontekstu, ovaj nalaz vještaka daje utjecaj na okoliš usmjerenu na zaštitu okoliša, prirode i zdravlja ljudi, uz istovremeno poštivanje načela razmjernosti i znanstvene utemeljenosti. Svi izračuni tumačenja provedena su konzervativnim pristupom problemu, a u slučaju varijabilnosti procjene uzet je u obzir bolji scenarij.

3.2 Karakterizacija otpada

Kako bi se ispravno utvrdio utjecaj odloženog otpada nužno je jasno definirati svojstva, karakteristike i kategorizaciju otpada. Na razmatranoj lokaciji nalazi se:

- Otpad u zatvorenim objektima – u dokumentu *Preliminarni izvještaj vještačenja zaštite okoliša za lokaciju industrijskog kompleksa Gospić, Bilajska 50, Geotehnički fakultet, rujan 2025.* utvrđeno je da ovaj otpad nema značajan utjecaj na okoliš, jer je smješten u „big-bag“ vrećama u zatvorenom prostoru, na asfaltiranoj površini, stoga nije predmet ovog vještačenja
- Glomazni, kabasti i ambalažni otpad odložen na lokaciji – svojstva, karakteristike i kategorizacija napravljena je u dokumentu: *Nalaz i mišljenje po nalogima Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9.svibnja 2025 i 2.srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, Geotehnički fakultet, srpanj 2025.*
- Crna hrpa
- Otpad zakopan na lokaciji.

Stoga se u nastavku daju svojstva, karakteristike i kategorizacija otpada i utjecaj na okoliš za crnu hrpu i otpad zakopan na lokaciji.

3.2.1 Mjerenje radioaktivnosti

Povišene doze radijacije uzoraka nisu zabilježene.

3.2.2 Crna hrpa

Crna hrpa smještena neposredno iza objekta i bočno od objekta vizualno predstavlja heterogeni otpad sitnozrnate strukture. Vizualnom inspekcijom utvrđena je sličnost pojedinih uzoraka te su po kriteriju sličnosti grupirani kako slijedi:

Grupa 1: uzorci J1.1, J1.3, J2.1, J2.2, J3.2 i J3.3 (J1.1 rezultati su primjenljivi na ostale uzorke iz Grupe 1)

Grupa 2: uzorak J1.2

Grupa 3: uzorak J3.1

Grupa 4: uzorak J4.1



3.2.2.1 Fizikalna i strukturna svojstva crne hrpe

Temeljem provedenih mjerenja i istraživanja, utvrđeni udio vlage od približno 20 % u uzorcima J1.1, J1.2, J1.3, J2.1, J2.2, J3.1, J3.2 i J3.3 ukazuje na umjereno vlažan materijal, što je tipično za mehanički obrađene frakcije otpada koje sadrže kombinaciju polimernih i sitnozrnatih mineralnih sastavnica. (Velis et al. 2010) Takva razina vlage značajno utječe na nasipnu gustoću, obradivost i stabilnost materijala te smanjuje njegovu neto energetska vrijednost zbog potrošnje energije na isparavanje vode tijekom izgaranja.

S mehaničkog aspekta, vlaga ove razine može povećati koheziju sitnozrnatih frakcija, ali istodobno otežati rukovanje i transport zbog zbijanja i sljepljivanja. Ovakvo ponašanje karakteristično je za sitnije frakcije iz postrojenja za mehaničku ili mehaničko-biološku obradu otpada (MBT), a ne za prirodna tla ili inertne građevne materijale. (Velis et al. 2010)

Za uzorak J4.1 utvrđeni udio vlage od približno 2 % ukazuje na suhi do vrlo suhi materijal, s povoljnim svojstvima za skladištenje i transport. Niska vlažnost u kombinaciji s granulometrijskim sastavom upućuje na frakciju koja je bila odvojena, prosijana i vjerojatno naknadno isušena ili skladištena u suhim uvjetima, što je u skladu s tehnički pripremljenim frakcijama otpada za daljnju uporabu. (Velis et al. 2010)

Utvrđena gustoća čvrstih čestica od približno 1,5 g/cm³ za većinu uzoraka upućuje na heterogeni materijal s dominantnom organskom odnosno polimernom komponentom uz prisutnost mineralnih punila. Ove vrijednosti su niže od gustoće prirodnih mineralnih materijala (~2,6 g/cm³), a više od gustoće čistih polimera, što je tipično za mješovite plastične frakcije i ostatke iz sortirnica (Velis et al. 2010). Gustoća čvrstih čestica predstavlja svojstvo same čvrste faze i potvrđuje da se ne radi o prirodnom sedimentu, već o tehnogenom materijalu.

Za uzorak J1.2 utvrđena gustoća čvrstih čestica od približno 1,3 g/cm³ dodatno upućuje na izraženu polimernu komponentu i mali udio mineralne frakcije. Takve vrijednosti u literaturi se povezuju s usitnjenim plastičnim materijalima i laganim RDF/SRF frakcijama. (Rada & Ragazzi, 2014).

Granulometrijska analiza uzoraka J1.1, J1.2 i J3.1 pokazuje da materijal sadrži približno 10–20 % čestica manjih od 0,5 mm te 70–80 % čestica manjih od 10 mm, što upućuje na sitnozrnati relativno homogen materijal. Ovakav granulometrijski potpis karakterističan je za materijale koji su prošli kontrolirano usitnjavanje i prosijavanje, a ne za izvorni, neobrađeni miješani otpad. (Velis et al., 2012). Relativno uzak raspon veličina zrna i odsutnost krupnijih komada snažno upućuju na kontrolirani tehnološki proces obrade otpada.

Granulometrijska analiza uzorka J4.1, s vrlo niskim udjelom čestica $<0,5$ mm i gotovo potpunom zastupljenošću frakcije <10 mm, ukazuje na selektiranu frakciju s ograničenom specifičnom površinom i smanjenim potencijalom vezanja vlage. Takav granulometrijski profil u skladu je s frakcijama koje nastaju nakon sekundarnog prosijavanja ili frakcijske separacije. (Velis et al. 2009)

Nasipne gustoće u rahlom stanju ($\approx 150\text{--}300$ kg/m³) te njihov porast s dubinom do približno $580\text{--}610$ kg/m³ ukazuju na lagan, visoko porozan i kompresibilan materijal, što je tipično za polimerno dominantne frakcije otpada i ostatke iz mehaničke obrade, a ne za mineralne materijale ili inertni otpad. (Blight, 2009)

Izostanak feromagnetskih materijala dodatno upućuje na to da je materijal prošao postupak magnetske separacije, što je standardni korak u postrojenjima za mehaničku obradu otpada. Ovaj nalaz snažno smanjuje vjerojatnost da se radi o neobrađenom miješanom komunalnom ili industrijskom otpadu te potvrđuje tehnogeno podrijetlo materijala.

3.2.2.2 *Pepeo, organska tvar i energetska svojstva*

Udio pepela od približno 22 % utvrđen u većini uzoraka ukazuje na mješoviti sastav materijala s umjerenim udjelom mineralnih punila ili inertnih komponenti. Takve vrijednosti tipične su za mehanički obrađene frakcije otpada, osobito RDF/SRF, koje sadrže kombinaciju polimernih materijala i mineralnih primjesa. (Rada & Ragazzi, 2014; Neuwahl et al. 2019) Iako materijal zadržava potencijal za energetske uporabu, povišeni udio pepela smanjuje efektivnu ogrjevnju vrijednost i povećava količinu čvrstog ostatka nakon izgaranja. Procijenjeni LOI (eng. *loss on ignition*) od približno 78 % potvrđuje dominantno organsku, ali mineralno značajnu strukturu.

Za uzorak J1.2 utvrđeni udio pepela od približno 5 % ukazuje na gotovo čisto organski odnosno polimerni materijal, što je u skladu s niskom gustoćom čvrstih čestica i vrlo niskom nasipnom gustoćom. Takva svojstva tipična su za lagane plastične frakcije i visokokvalitetne gorive frakcije otpada, koje se u literaturi navode kao najpoželjnije za energetske uporabu (Rada & Ragazzi, 2014). Procijenjeni LOI od približno 95 % dodatno potvrđuje izrazitu dominaciju organske komponente.

Nasuprot tome, uzorak J4.1 s udjelom pepela od približno 35 % ukazuje na izražen sadržaj mineralne i inertne frakcije, što sugerira da se radi o frakciji s većim udjelom pijeska, stakla, mineralnih punila ili ostataka prethodnih procesa. Takav sastav nepovoljan je za energetske uporabu jer smanjuje neto ogrjevnju vrijednost i povećava količinu ostatka nakon izgaranja. Procijenjeni LOI od približno 65 % upućuje na mješoviti materijal s naglašenijom mineralnom

komponentom, kakav se često javlja u ostatnim frakcijama nakon sortiranja otpada. (Komilis et al. 2012)

3.2.2.3 Analiza točke zapaljivosti

Za sve analizirane uzorke točku zapaljivosti nije bilo moguće odrediti jer uzorci ne pokazuju svojstva hlapljive zapaljive tekućine, odnosno ne sadrže komponente koje bi pri ispitnim uvjetima stvarale zapaljive pare. Slijedom navedenog, svojstvo HP3 (zapaljivo) nije utvrđeno na temelju ispitivanja točke paljenja.

3.2.2.4 Testovi procjeđivanja i mobilnost metala - crna hrpa

Testovi procjeđivanja (eluata) koriste se kao kriterij prihvatljivosti otpada na odlagalištu (inertno / neopasno / opasno) jer procjenjuju potencijal otpuštanja (mobilnosti) anorganskih tvari i organske tvari iz otpada u kontaktu s vodom, tj. pod uvjetima koji oponašaju perkolaciju oborinske vode i nastanak procjednih voda. U hrvatskom okviru, kriteriji prihvata otpada na odlagališta propisuju se Pravilnikom o odlagalištima otpada (NN 4/2023).

Metodološki i granični okvir procjeđivanja na razini EU temelji se na Direktivi 1999/31/EZ o odlagalištima te provedbenim kriterijima iz Odluke Vijeća 2003/33/EZ (WAC – waste acceptance criteria), koja definira granične vrijednosti procjeđivanja (među ostalim za Cl^- , SO_4^{2-} , metale, DOC, TDS) pri zadanim omjerima kruto - tekuće.

Za razliku od elementarne analize krute faze, testovi procjeđivanja omogućuju uvid u ponašanje otpada u realnim hidrogeokemijskim uvjetima, odnosno u količine tvari koje mogu prijeći u procjedne vode i potencijalno utjecati na tlo i podzemne vode.

U predmetnom vještačenju rezultati procjeđivanja za crnu hrpu dobiveni su laboratorijskim ispitivanjima (NZJZ „Andrija Štampar“ tijekom očevida – 10/2025 g, , te podacima DIRH 5/2024 g.), a mjereni su parametri eluata (Cl, SO_4 , Cd, Cu, Hg, Ni, Ba, Cr, Mo, Pb, Sb, Se, Zn, As, pH, F, TDS, DOC). Ovaj test govori o tome što od elemenata koji se nalaze u otpadu može migrirati kroz procjednu vodu i zatim u okoliš, ukoliko je otpad neadekvatno odložen.

Na uzorcima crne hrpe (J1.1–J4.1) svi rezultati ukazuju da je pH eluata pretežito blago alkalni (približno 8,1–8,5), uz jedan uzorak oko 7,3. Takav pH često smanjuje topljivost nekih kationskih metala (npr. Pb, Zn) zbog sorpcije/precipitacije, ali ne isključuje mobilnost



elemenata koji se prenose kao anioni ili neki kompleksni oblici (npr. Sb, Mo) niti mobilnost vezanu uz otoplenu organsku tvar. (Violante et al. 2010)

Kloridi i sulfati (Cl^- / SO_4^{2-}) su u eluatu prisutni, ali su red veličine niži od graničnih vrijednosti za neopasan otpad. Obzirom na to da kloridi i sulfati nisu visoki u eluatu, može se zaključiti da otpad (crna hrpa) **ne potječe** od „zaslanjenih“ industrijskih tokova, kao što je pepeo s visokim udjelima soli ili slični ostaci. Sami po sebi često nisu toksični u niskim koncentracijama, ali ukazuju na povećanu vodljivost koja se može mjeriti.

Antimon (Sb) u eluatu: u većini uzoraka crne hrpe Sb je iznad kriterija za neopasan otpad (MDK neopasni: 0,7 mg/kg s.t. u prikazanim MDK tablicama), dok je u uzorku J4.1 ispod tog praga – ovaj uzorak odnosi se na bočnu hrpu. Ponavljajuće prekoračenje istog parametra u više uzoraka ukazuje na sustavni potpis materijala, a ne na slučajnu kontaminaciju pojedinačne točke. Antimon može biti prisutan u više vrsta otpada, uključujući plastični i ambalažni otpad, EE (električni i elektronički otpad) frakcije, kabelsku plastiku te metalurške ostatke. Vrijednosti parametara izluživanja antimona u mjerenjima 10/2025 i 5/2024 ukazuju na neke trendove i to da mjerenje u 2025. godini pokazuje veće vrijednosti u odnosu na 2024. godinu. U 2024. godini samo jedan uzorak pokazuje iznimno visoke vrijednosti i to 499 mg/kg s.t. Ovo se može smatrati „hot spot“ za antimon. Tendencija povećanja ukazuje na to da su kemijski uvjeti za migraciju antimona kroz oborinske vode povoljni. Znanstvena literatura navodi da je antimon često povezan s polimernim materijalima, osobito s PET plastikom, u kojoj se spojevi antimona koriste kao katalizatori u procesu proizvodnje. (Filella et al., 2002) U sitnozrnatim, mehanički obrađenim frakcijama plastike Sb može pokazivati povišenu mobilnost u uvjetima alkalnog pH.

Bakar (Cu) u eluatu - jedan uzorak (J1.2) pokazuje povišen Cu koji prelazi MDK za neopasan otpad (MDK neopasni: 50 mg/kg s.t.).

Otopljeni organski ugljik, DOC (engl. *Dissolved organic carbon*) je indikator prisutnosti organske tvari u otpadu. Samo u jednom uzorku J1.2 utvrđen je povišeni DOC u crnoj hrpi (iznad MDK za neopasan otpad 800 mg/kg s.t., a prema prikazanim MDK vrijednostima čak i iznad MDK za opasni otpad 1000 mg/kg s.t.).

Otopljeni organski ugljik (DOC) igra ključnu ulogu u mobilnosti metala, jer može stvarati stabilne metal-organske komplekse, čime se povećava topljivost i transport metala u vodenoj fazi. (Li et al. 2013) U ovom slučaju, istodobna pojava povišenog DOC-a i bakra (Cu) u eluatu upućuje na mehanizam kompleksacije Cu–DOC.

U hidrogeološkom kontekstu lokacije, povišeni DOC i mobilni Sb/Cu predstavljaju potencijalni izvor opterećenja procjednih voda.

Usporedbom dobivenih rezultata s kriterijima prihvata otpada propisanim Odlukom 2003/33/EZ i Pravilnikom o odlagalištima otpada (NN 4/2023) može se zaključiti sljedeće:

- Crna hrpa ne ispunjava kriterije za inertni otpad, prvenstveno zbog povišenog DOC-a i mobilnosti pojedinih elemenata.
- Temeljem provedenih ispitivanja otpada, a osobito rezultata testova procjeđivanja ($L/S = 10 \text{ l/kg}$), utvrđeno je da u više uzoraka koncentracija antimona (Sb) u eluatu prelazi graničnu vrijednost od $0,7 \text{ mg/kg}$ suhe tvari, koja je propisana za prihvata otpada na odlagalište neopasnog otpada sukladno Prilogu Odluke Vijeća 2003/33/EZ, preuzetoj u nacionalno zakonodavstvo kroz Pravilnik o odlagalištima otpada (NN 4/23).
- U pogledu odlagališta neopasnog otpada, dio uzoraka pokazuje neusklađenost zbog prekoračenja graničnih vrijednosti za antimon, a u pojedinim slučajevima i zbog povišenog bakra i DOC-a. Slijedom toga, otpad u zatečenom stanju ne može se smatrati kao neopasan otpad bez prethodne obrade ili dodatne karakterizacije.
- Većina parametara ne prelazi kriterije za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada osim povremenog DOC i vrlo često Sb. Sukladno navedenim propisima, otpad koji u testu procjeđivanja premašuje samo jednu graničnu vrijednost za neopasni otpad ne ispunjava uvjete za prihvata na odlagalište neopasnog otpada, neovisno o tome što ostali ispitani parametri u eluatu ne prelaze propisane granične vrijednosti. U konkretnom slučaju, prekoračenje granične vrijednosti za antimon predstavlja odlučujući kriterij za određivanje vrste odlagališta.
- Istodobno, izmjerene koncentracije antimona u eluatu ne prelaze graničnu vrijednost od 5 mg/kg suhe tvari, koja je propisana za prihvata otpada na odlagalište opasnog otpada. Slijedom toga, predmetni otpad, iako prema podrijetlu i ukupnom kemijskom sastavu nije nužno klasificiran kao opasan otpad prema katalogu otpada, prema kriterijima prihvatljivosti za odlaganje **udovoljava uvjetima za odlaganje na odlagalište opasnog otpada.**

3.2.2.5 Sadržaj teških metala u crnoj hrpi

Analiza teških metala u crnoj hrpi temelji se na rezultatima elementarne analize krute faze provedenima od strane DIRH (Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Cd, Hg, As i dr.) te analize ogrjevnice vrijednosti i pepela, pri čemu su u gorivoj i frakciji pepela evidentirani tragovi teških metala.

Ovakav integrirani pristup omogućuje razlikovanje:



- metala koji su strukturno vezani uz organsko-polimernu matricu,
- metala koji su vezani uz mineralnu/pepelnu frakciju,
- metala koji bi ukazivali na specifične industrijske ili opasne tokove otpada.

Izmjerena ogrjevna vrijednost crne hrpe ($\approx 13\text{--}20$ MJ/kg s.t.), uz umjeren udio pepela ($\approx 20\text{--}25$ %, lokalno više), ukazuje na pretežito gorivi materijal s dominantnom organskom odnosno polimernom komponentom. U takvim materijalima teški metali su u pravilu:

- prisutni u tragovima,
- disperzirani u matrici,
- koncentrirani u pepelu nakon izgaranja, ali ne u količinama tipičnim za metalurški ili opasni otpad.

Bakar je u krutoj fazi (DIRH) prisutan u umjerenim koncentracijama, dok je u analizama povezanim s ogrjevnom vrijednošću evidentiran kao metal u tragovima koji prelazi u pepeo nakon izgaranja. Bakar ne predstavlja dominantan metal u crnoj hrpi, već sekundarni metal što ne indicira otpad iz metalurških procesa. (Tiberg et al. 2021)

Cink (Zn) i olovo (Pb) prisutni su u niskim do umjerenim koncentracijama, a u analizi pepela prepoznati su kao tipični rezidualni metali nakon izgaranja. Cink i olovo nalaze se u ovim koncentracijama kao posljedica korištenja pigmenata, stabilizatora i/ili aditiva u plastici (Arena 2012). Ovakvi nalazi kompatibilni su gorivom frakcijom otpada (pretežito plastični otpad).

Ni i Cr su u krutoj fazi (DIRH) prisutni u tragovima, a u kontekstu energetske analize nemaju značajan utjecaj na ogrjevnu vrijednost niti pokazuju akumulaciju u pepelu.

Cd i Hg su u DIRH analizama niski ili ispod granica detekcije, u analizama gorive frakcije i pepela ne pokazuju akumulaciju. Inače, Cd i Hg su tipični pokazatelji opasnog otpada (baterije, fluorescentne lampe, medicinski otpad) (Neuwahl et al. 2019), njihova odsutnost je u skladu s RDF/SRF frakcijama.

Literatura potvrđuje da RDF/SRF frakcije redovito sadrže Cu, Zn i Pb u umjerenim koncentracijama, dok su Cd i Hg često niski ili ispod granica detekcije (Rada & Ragazzi, 2014; Neuwahl et al. 2019).

U kombinaciji s analizom ogrjevne vrijednosti, metalni profil crne hrpe pokazuje:

- metale prisutne u količinama koje ne degradiraju gorivost materijala,
- metale koji se ponašaju kao tipični pepeoni ostaci gorive frakcije,
- izostanak metala koji bi ukazivali na specifične industrijske procese.



Prema BAT dokumentima EU, upravo ovakav metalni potpis karakterističan je za tehnički pripremljene gorive frakcije otpada, dok se kod problematičnih tokova bilježe bitno drugačiji obrasci (Neuwahl et al. 2019).

3.2.2.6 Zaključak

Integrirana analiza sadržaja teških metala u krutoj fazi (DIRH) i u kontekstu ogrjevnog vrijednosti pokazuje da su metali u crnoj hrpi prisutni u umjerenim koncentracijama, disperzirani u gorivoj matrici i koncentrirani u pepelu nakon izgaranja, bez dominantnog metalnog potpisa. U kombinaciji s izmjerenom ogrjevnom vrijednošću, ovaj obrazac je u potpunosti sukladan mehanički obrađenim, pretežito plastičnim frakcijama otpada (RDF/SRF).

S visokim stupnjem vjerojatnosti radi se o otpadu s dominantnom plastičnom (polimernom) komponentom, ali ne o čistom plastičnom otpadu, već o mješovitoj, obrađenoj plastičnoj frakciji.

To proizlazi iz:

- gustoće čvrstih čestica ($\sim 1,3\text{--}1,5 \text{ g/cm}^3$), tipične za plastiku s mineralnim punilima,
- niske do umjerene nasipne gustoće i visoke kompresibilnosti,
- ogrjevnog vrijednosti ($\approx 13\text{--}20 \text{ MJ/kg s.t.}$),
- izostanka feromagnetskih metala,
- granulometrijskog sastava tipičnog za usitnjenu i prosijanu plastiku.

Materijal je pretežito plastičnog podrijetla, ali s primjesama mineralne frakcije (punila, prašina, sitni inertni ostaci).

Na temelju fizikalnih, strukturnih svojstava, svojstava pepela i energetske svojstava, može se zaključiti da analizirani uzorci predstavljaju tehnogeni, pretežito plastični otpad nastao mehaničkom obradom otpada, s varijabilnim udjelom mineralne frakcije. Utvrđena svojstva u cjelini su u skladu s ostatnim frakcijama iz postrojenja za mehaničku ili mehaničko-biološku obradu otpada (MBT), uključujući RDF/SRF tokove, otpad koji sadrži PET, i nisu u skladu s prirodnim materijalima niti s neobrađenim primarnim tokovima otpada.

3.2.2.7 Interpretacija rezultata mikroskopiranja crne hrpe

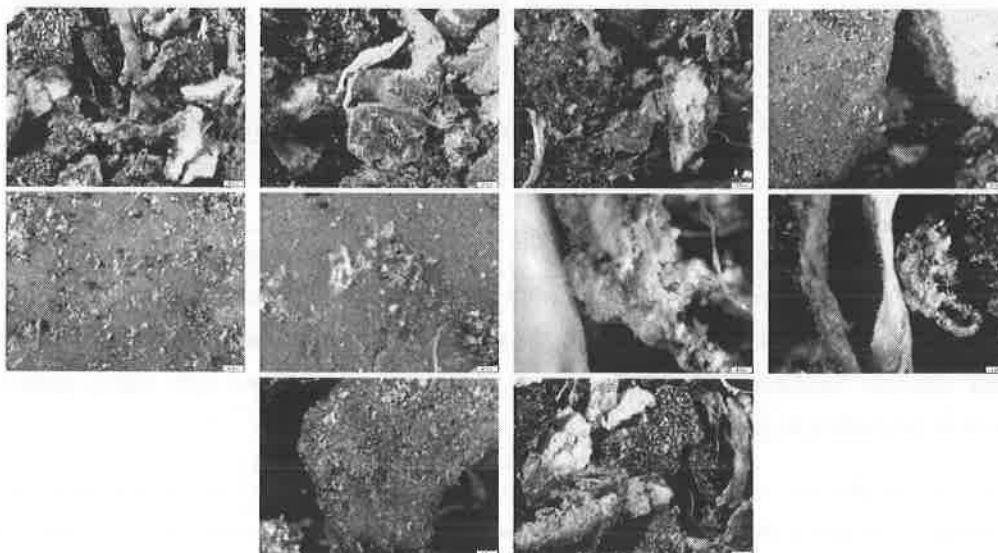
Uzorak J1.1 (uključuje i J1.3, J2.1, J2.2, J3.2, J3.3)

Mikroskopskom analizom (mjerilo 500 μm) utvrđeno je da uzorak dominantno čini sekundarna mikroplastika veličine približno 100–1500 μm (Slika 85). Riječ je o nepravilnim, angularnim fragmentima nastalim mehaničkom fragmentacijom većih polimernih materijala. Uočeni su i tanki plastični filmovi, sintetska vlakna te porozni polimerni materijali, no volumenski i morfološki najzastupljenija frakcija su fragmenti mikroplastike. Uz fragmentiranu mikroplastiku prisutni su i tanki plastični filmovi, sintetska vlakna te porozni/pjenasti polimerni materijali. Površine čestica pokazuju izraženu hrapavost, mikro-pukotine i adsorpciju sitnih anorganskih čestica, što povećava njihovu specifičnu površinu i reaktivnost.

Fragmentacija polimera u mikroplastiku rezultira povećanom specifičnom površinom i većom dostupnošću aditiva i metalnih komponenti okolišu. Takva mikroplastika ne predstavlja samo fizički zagađivač, već i potencijalni sekundarni izvor toksičnih elemenata.

Zaključak

Uzorak predstavlja heterogeni otpad u kojem dominira sekundarna mikroplastika tehničkog podrijetla. Mikroplastika u ovom slučaju djeluje kao nositelj i potencijalni izvor mobilnih teških metala.



Slika 85 Uzorak J1.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

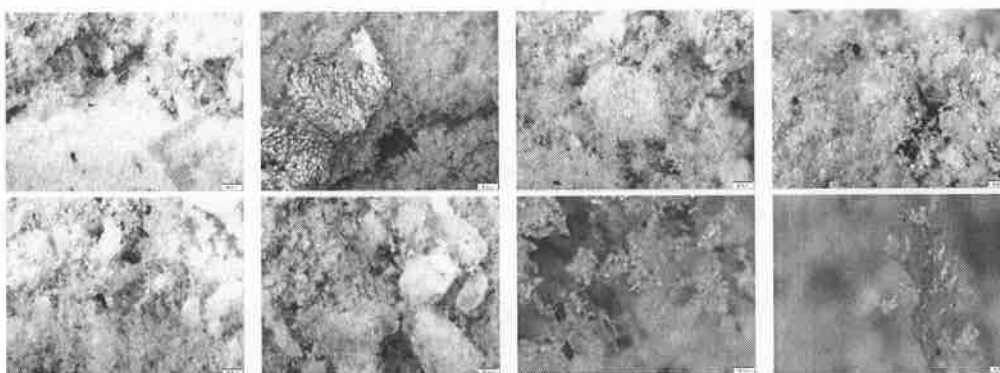
Uzorak J1.2

Mikroskopirani uzorak (Slika 86) pokazuje izrazitu heterogenost, dominaciju vlaknastog i pjenastog materijala, prisutnost mineralnih zrnaca, metalne fragmente i obojene sintetske komponente. Dimenzije pojedinih čestica kreću se približno od 50 μm do >1 mm. Za razliku od prethodnog uzorka, gdje je dominirala fragmentirana mikroplastika, ovdje dominira vlaknast i

penast polimerni materijal s metalnim i mineralnim inkluzijama. To može odgovarati: usitnjenom tekstilnom otpadu, fragmentima izolacijskih materijala, filtracijskom materijalu, kompozitnom industrijskom otpadu, ostatku mehanički obrađenog miješanog otpada.

Zaključak

Uzorak predstavlja heterogeni vlaknasto-polimerni otpad s prisutnim metalnim fragmentima i mineralnim česticama, što upućuje na tehnički/industrijski otpad, potencijalno mehanički obrađen. Dominantna komponenta nije kompaktna mikroplastika, već vlaknasti i penasti sintetski materijal koji može djelovati kao matrica za adsorpciju i mobilizaciju metala - pretpostavljeno pur-pen pjena nastala nakon obrade hladnjaka.



Slika 86 Uzorak J1.2 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

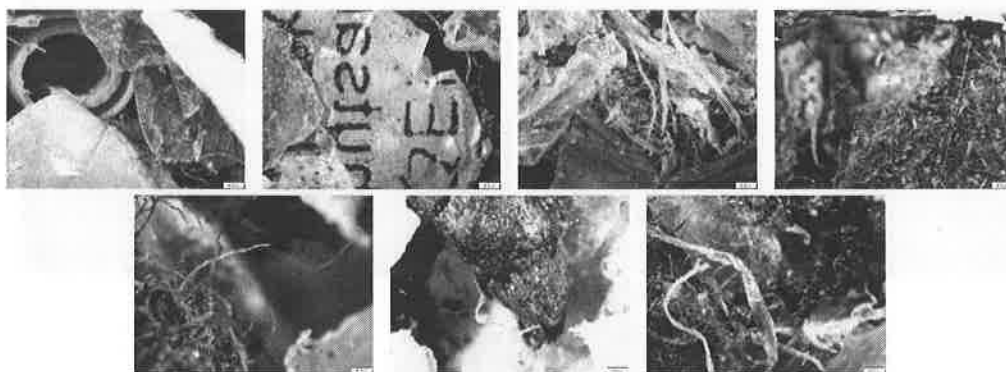
Uzorak J3.1

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 87) utvrđeno je da uzorak predstavlja izraženo heterogenu smjesu mehanički usitnjenih čestica različite boje, strukture i teksture. Procijenjeni dimenzijski raspon čestica iznosi približno 50 μm do 3 mm, pri čemu dominantna frakcija obuhvaća čestice veličine 300–1500 μm . S obzirom na veličinu (<5 mm), polimerna komponenta pripada kategoriji mikroplastike.

U uzorku su identificirani tanki prozirni polimerni filmovi debljine <200 μm i dimenzija do 3 mm; pigmentirani kompaktni polimerni fragmenti (0,5–3 mm); vlaknasta sintetska frakcija promjera približno 10–50 μm i duljine do nekoliko milimetara; tamne kompaktne čestice hrapave površine (0,5–2 mm); sitne reflektirajuće inkluzije veličine <50–200 μm . Uočeni su i fragmenti polimernog materijala s tiskom, što upućuje na ambalažne ili slične višeslojne materijale. Morfološke karakteristike (angularni rubovi, svježi lom, neujednačena granulacija i odsutnost značajnog zaobljenja) ukazuju na sekundarnu mehaničku obradu materijala (drobljenje/usitnjavanje).

Zaključak

Uzorak predstavlja heterogenu mješavinu plastičnih filmova, krutih polimernih fragmenata i vlaknastog materijala, uz prisutnost tamnih kompaktnih čestica i mineralnih inkluzija. Dominantna komponenta je vlaknasto-polimerni materijal, dok su filmovi i kruti fragmenti sekundarni, ali jasno prisutni. Na temelju mikroskopskih obilježja može se zaključiti da se radi o mehanički fragmentiranom miješanom otpadu koji sadrži značajan udio sintetskih polimernih materijala različite morfologije (filmovi, vlakna, kruti fragmenti).



Slika 87 Uzorak J3.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak J4.1

Mikroskopskom analizom uzorka (Slika 88) utvrđeno je da uzorak predstavlja izraženo heterogenu smjesu mehanički usitnjenih čestica različite strukture. Dimenzijski raspon uočenih čestica kreće se približno od 50 μm do oko 3 mm. Sukladno općeprihvaćenoj definiciji (mikroplastika < 5 mm), cjelokupna polimerna frakcija prisutna u uzorku pripada kategoriji mikroplastike, pri čemu je dominantna frakcija u rasponu 0,3–1,5 mm. Manji udio čestica nalazi se u finijoj frakciji (<300 μm), dok pojedini porozni i pjenasti fragmenti dosežu do približno 2–3 mm.

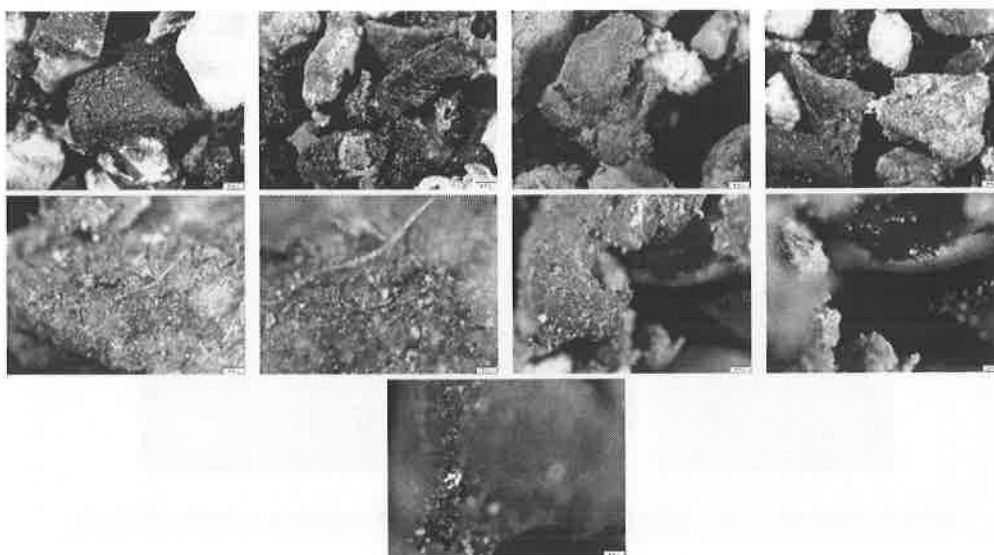
U sastavu uzorka identificirani su: sekundarni pigmentirani polimerni fragmenti (mikroplastika) veličine približno 0,2–1,5 mm; porozni/pjenasti polimerni materijali dimenzija do 3 mm; vlaknata sintetska komponenta promjera reda veličine 10–50 μm i duljine do nekoliko milimetara; crne kompaktne organske ili kompozitne čestice dimenzija 0,3–1,5 mm; sitne reflektirajuće inkluzije (moguće metalne ili mineralne) dimenzija <100–300 μm .

Morfološke karakteristike (angularni rubovi, lomovi, nedostatak zaobljenja, heterogena granulacija i međusobno miješanje frakcija) upućuju na sekundarnu mehaničku obradu materijala (drobljenje/usitnjavanje), a ne na prirodni sedimentni proces. Vizualnom

inspekcijom utvrđeni su usitnjeni ostatci izolacijske plastike te fragmenti bakrene žice, što potvrđuje prisutnost tehničke (kabelske) komponente u uzorku.

Zaključak:

Na temelju morfologije, granulacije i strukturnih obilježja može se zaključiti da uzorak predstavlja sekundarno obrađeni miješani tehnički otpad s dominantnom mikroplastičnom frakcijom (<5 mm).



Slika 88 Uzorak J4.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

3.2.2.8 Izračun HP 14 – ekotoksičnost crne hrpe – J kompozitni uzorak

Temeljem provedenih mjerenja i metodologije opisane u poglavlju 1.3. Metodologija 1.3.6 Utvrđivanje opasnih svojstava otpada u provedbi vještačenja izračunat je HP14 i uspoređen s rezultatima testa *Daphnia magna*.

Polazne koncentracije izmjerene u uzorku

- Cu = 22500 mg/kg = 2,25000 %
- Zn = 1154,7 mg/kg = 0,11547 %
- Pb = 1834,3 mg/kg = 0,18343 %

Primjena *cut-off*-a:

- CuO (H410) - 2,25000 % - ulazi
- ZnO (H410) - 0,11547 % - ulazi



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



- PbCO_3 (H411) - 0,18343 % - ne ulazi (ispod 1,0 %)
- PbO (H410) - 0,18343% - ulazi

Račun: $100 \times (2,25000 + 0,11547 + 0,18343) = 100 \times 2,5489 = 254,890$

Rezultat: $254,890 \geq 25$

Zaključak: uzorak J ima svojstvo HP14.

Na temelju izračuna HP14 prema Uredbi (EU) 2017/997 i rezultata bioeseja *Daphnia magna* (LID-D = 3), uzorak J kompozit nedvojbeno pokazuje opasno svojstvo HP14 (ekotoksično) te se mora smatrati opasnim otpadom s obzirom na potencijal i stvarni učinak na vodeni okoliš.

3.2.3 Otpad zakopan na lokaciji

Otpad zakopan na lokaciji podrazumijeva ravnu površinu iza objekta i otpad koji se nalazi ispod površine.

Sveukupno je ispitano 13 uzoraka iz iskopa s oznakama od I1.1 do I6.1 te su ispitani uzorci iz 5 bušotina s oznakama H1 do H5.

Pri iskopavanju otpada vizualno je utvrđen značajno nehomogeni otpad različitog porijekla. Osim frakcija nalik plastici i sitnozrnatog otpada nalazili su se slojevi glomaznog otpada, te građevinskog otpada povremeno izmiješani sa slojevima onečišćene zemlje.

3.2.3.1 Fizikalna i strukturna svojstva zakopanog otpada

Utvrđeni udio vlage manji od 12% na svim uzorcima iz bušotina osim na uzorcima H5.9 i H5.10, ukazuje na umjereno suh materijal s ograničenim sadržajem slobodne vode. Takva razina vlage u pravilu ne predstavlja značajno ograničenje za mehaničku obradu, transport i skladištenje materijala, niti bitno utječe na stabilnost u uvjetima odlaganja. U kontekstu energetske uporabe, vlaga do 12 % ima umjeren utjecaj na neto ogrjevnju vrijednost, budući da se dio energije tijekom izgaranja troši na isparavanje vode, no materijal se i dalje može smatrati tehnički pogodnim za termičku obradu. (Velis et al., 2010) U odnosu na visoko vlažne frakcije (>20–30 %), ovakav udio vlage ukazuje na relativno stabilan i djelomično osušen materijal s predvidljivijim fizikalnim svojstvima. Vlažnosti u bušotinama poklapaju se s donjom granicom vlažnosti uzoraka iz iskopa.

U uzorcima iz iskopa zabilježene su nešto veće vlažnosti, u rasponu od 10 do 20%, izuzev dva uzorka (I1.3 i I3.1) koji su imali vlažnost u rasponu od 4 do 6%. Utvrđeni udio vlage u rasponu od 10 do 20 % ukazuje na umjereno vlažan materijal s djelomično prisutnom slobodnom vodom. Takva razina vlage može utjecati na fizikalna svojstva materijala, osobito na povećanje mase, smanjenje nasipne stabilnosti te potencijalno zbijanje tijekom skladištenja. U kontekstu energetske uporabe, vlaga u navedenom rasponu uzrokuje smanjenje neto ogrjevnje vrijednosti, budući da se dio toplinske energije troši na isparavanje vode tijekom procesa izgaranja. Ipak, materijal s vlažnošću do 20 % i dalje se može smatrati tehnički prihvatljivim za termičku obradu, uz odgovarajuće prilagodbe procesa. S geotehničkog aspekta, raspon od 10–20 % može povećati koheziju sitnozrnatih frakcija, ali ujedno može doprinijeti dugoročnom slijeganju i promjeni volumena odloženog otpada. Također treba uzeti u obzir da vlažnost odloženog otpada tijekom godine i različitih vremenskih uvjeta može značajno varirati.

Utvrđena gustoća čvrstih čestica od približno $2,6 \text{ g/cm}^3$ na uzorcima iz bušotina H1.1, H1.2, H1.3, H2.2, H2.3, H2.4, H2.6, H4.1, H5.1, H5.2, H5.3, H5.5 i na uzorku iz iskopa I3.3 karakteristična je za mineralno dominantne materijale te odgovara gustoći tipičnih silikatnih minerala (npr. kvarc $\approx 2,65 \text{ g/cm}^3$), pijeska, drobljenog kamena ili mineralnih agregata. Takva vrijednost upućuje na vrlo nizak udio organske ili polimerne komponente te dominantnu prisutnost anorganske, inertne frakcije. U kontekstu otpada, gustoća čvrstih čestica ove veličine sugerira da materijal nije polimerno dominantan niti energetski značajan, već da se pretežito sastoji od mineralne komponente svojstvene za građevinski miješani otpad/jalovinu. Ovakva gustoća također implicira manju kompresibilnost i veću mehaničku stabilnost u odnosu na lagane, organsko-dominantne frakcije.

Utvrđena gustoća čvrstih čestica u rasponu od $1,3$ do $2,3 \text{ g/cm}^3$ na uzorcima iz bušotina H2.1, H2.5, H2.7, H3.1, H4.2, H5.4, H5.6 i H5.10 i uzorcima iz iskopa I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I4.1 i I5.1 Ovaj rezultat upućuje na materijal/otpad mješovitog sastava s izraženom organskom ili polimernom komponentom uz prisutnost određene količine mineralnih sastavnica, odnosno materijal nije čisti prirodni agregat. Vrijednosti oko $1,3 \text{ g/cm}^3$ tipične su za polimerno dominantne frakcije ili materijale s visokim udjelom organskih tvari, dok porast prema većim vrijednostima sugerira povećanje udjela mineralnih punila ili inertnih čestica. Ovaj raspon gustoće znatno je niži od gustoće tipičnih silikatnih minerala ($\approx 2,65 \text{ g/cm}^3$), što potvrđuje da materijal nije mineralno dominantan. S tehničkog aspekta, gustoća u navedenom rasponu karakteristična je za mehanički obrađene frakcije otpada (npr. MBT ili RDF materijale) koje sadrže kombinaciju polimernih, organskih i mineralnih sastavnica. Takav materijal pokazuje veću kompresibilnost i nižu mehaničku krutost u odnosu na mineralno dominantne materijale te potencijalno višu energetska vrijednost u slučaju termičke uporabe. (Nasrullah et al., 2015)

Granulometrijska analiza uzoraka I1.1, I2.1, I4.1, I5.1, I6.1, H2.1, H2.5, H3.1, H5.4, H5.6 i H5.10 pokazuje da uzorci sadrže manje od 10 % čestica manjih od 0,5 mm te približno 50–80 % čestica manjih od 16 mm. Takva raspodjela veličine zrna upućuje na relativno nizak udio vrlo sitne frakcije (engl. *fines*) te dominantnu zastupljenost srednje sitnih i krupnijih čestica. Slična granulometrijska obilježja zabilježena su i u istraživanjima otpada dobivenog iskopavanjem odlagališta, gdje se nakon mehaničke obrade i prosijavanja često utvrđuje prevladavanje frakcija srednje granulacije uz ograničen udio fines materijala. (Cheela et al., 2021) Ograničen udio čestica $<0,5 \text{ mm}$ sugerira smanjenu specifičnu površinu materijala i manji potencijal zadržavanja vlage ili mobilnih sastavnica. Istodobno, činjenica da većina materijala pripada frakciji $<16 \text{ mm}$ ukazuje na prethodnu mehaničku obradu (usitnjavanje i/ili prosijavanje), ali uz zadržavanje određenog udjela krupnijih zrna ($>16 \text{ mm}$), što potvrđuje heterogeni karakter materijala.

Granulometrijska analiza uzorka I1.2 i H2.7 pokazuje da uzorci sadrže manje od 10 % čestica manjih od 1 mm te približno 95 % čestica manjih od 8 mm. Takva raspodjela veličine zrna upućuje na vrlo nizak udio sitne frakcije (engl. *fines*) i dominantnu zastupljenost relativno ujednačene srednje sitne frakcije. Uzorci su jednoliko građuirani.

S tehničkog aspekta, takav granulometrijski potpis karakterističan je za mehanički obrađene frakcije otpada ili djelomično klasirane materijale.

U uzrocima kod kojih nije bilo moguće prosijavanje (I1.3, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2 i I3.3) mogu se uočiti čestice krupnije od 100 µm među kojima dominiraju plastika, građevinski otpad i tlo.

Bušotinama je utvrđen raspon nasipne gustoće od **470 do 1436,15 kg/m³**, uz srednju vrijednost od **793,7 kg/m³**. Ovaj rezultat ukazuje na heterogen materijal s izraženim varijacijama u stupnju zbijenosti i/ili sastavu. Donje vrijednosti ($\approx 470 \text{ kg/m}^3$) karakteristične su za rahle ili manje zbijene zone (bušotine H3 i H4) s većim udjelom pora, dok više vrijednosti ($\approx 1400 \text{ kg/m}^3$) upućuju na lokalno kompaktirane ili mineralno bogatije dijelove materijala. Srednja vrijednost od $793,7 \text{ kg/m}^3$ relativno je visoka za lagane, polimerno dominantne frakcije te sugerira značajan stupanj zbijanja ili povećani udio mineralnih komponenti. Takav raspon gustoće tipičan je za odložene ili mehanički obrađene frakcije otpada kod kojih dolazi do prirodnog samozbijanja s dubinom te do prostorne nehomogenosti sastava.

Analizom uzoraka iz iskopa i bušotina nije utvrđena prisutnost feromagnetskih materijala. Izostanak feromagnetskih metala može upućivati na prethodnu magnetsku separaciju ili na činjenicu da materijal u svojoj strukturi ne sadrži značajan udio feromagnetskih komponenti. S tehničkog aspekta, odsutnost feromagnetskih komponenti doprinosi većoj homogenosti materijala, smanjuje rizik od oštećenja opreme tijekom mehaničke obrade te može rezultirati stabilnijim ponašanjem pri termičkoj obradi, uz manju količinu metalnog ostatka nakon izgaranja.

3.2.3.2 *Pepeo, organska tvar i energetska svojstva zakopanog otpada*

Udio pepela od približno 20 %, utvrđen na uzorcima I1.1, I1.2 i I1.3, ukazuje na mješoviti sastav materijala s umjerenim udjelom mineralnih i inertnih komponenti. Takve vrijednosti tipične su za mehanički obrađene frakcije otpada (npr. RDF) koje sadrže kombinaciju polimernih i mineralnih sastavnica (Velis et al., 2010). Iako materijal zadržava potencijal za energetska oporabu, povišeni udio pepela smanjuje efektivnu ogrjevnju vrijednost te povećava količinu čvrstog ostatka nakon

termičke obrade. Procijenjeni gubitak žarenjem (LOI) od približno 78 % potvrđuje da je organska komponenta i dalje dominantna, ali uz značajan mineralni udio.

Uzorak I6.1, kod kojeg je utvrđen udio pepela od približno 6 %, karakterizira vrlo nizak sadržaj anorganske frakcije te izraženu dominaciju organske, odnosno polimerne komponente, što je u skladu s izmjerenom gustoćom čvrstih čestica. Nizak udio pepela povoljan je s aspekta energetske uporabe jer omogućuje višu neto ogrjevnju vrijednost i manju količinu ostatka nakon izgaranja. Procijenjeni LOI od približno 94 % dodatno potvrđuje prevladavajući organski karakter materijala.

S druge strane, udio pepela u rasponu od 30 % do 44 %, utvrđen na uzorcima I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I3.3, I4.1 i I5.1, ukazuje na značajno prisustvo mineralne i inertne frakcije. Takve vrijednosti upućuju na materijal mineralno izraženog sastava, pri čemu goriva komponenta više nije dominantna. U kontekstu energetske uporabe, ovako visok udio pepela nepovoljno utječe na ogrjevnju vrijednost i rezultira povećanom količinom čvrstog ostatka nakon izgaranja (Velis et al., 2010). Vrijednosti bliže 40 % ukazuju na ograničen energetske potencijal i viši stupanj mineralizacije materijala.

Za potrebe utvrđivanja ogrjevnju vrijednosti napravljena su tri kompozita i 3 pojedina uzorka od iskopa (I1, I2, I3, I 4.1., I5.1, I6.1.). Za bušotine (H uzorci) ogrjevnju vrijednost nije analizirana. Ogrjevnju vrijednost izrazito varira i to od 4,81 do 25,73 MJ/kg s.t., a sadržaj vode u uzorku I2 bio je 34% što ukazuje na hidrofilni materijal koji zadržava vodu. Analize energetske svojstava zakopanog otpada pokazuju da materijal nije inertan, već sadrži značajnu organsku komponentu. Najviše donje ogrjevnju vrijednosti zabilježene su u uzorku I6.1 AŠ (Šesti iskop), gdje donja ogrjevnju vrijednost iznosi približno 25,7 MJ/kg s.t., dok su visoke vrijednosti utvrđene i u uzorku I3 kompozit ($\approx 20,8$ MJ/kg s.t.) te I4.1 AŠ ($\approx 20,2$ MJ/kg s.t.). Suprotno tome, najniže ogrjevnju vrijednosti zabilježene su u uzorku I2 kompozit, gdje donja ogrjevnju vrijednost iznosi svega $\approx 4,8$ MJ/kg s.t.

Udio pepela varira značajno, pri čemu je najviši udio pepela utvrđen u uzorku I5.1 AŠ (≈ 44 %), dok najniži udio pepela ima uzorak I6.1 AŠ (≈ 6 %). Sadržaj vode kreće se od približno 8 % u uzorku I3 kompozit do preko 34 % u uzorku I2 kompozit.

Ovakav raspon vrijednosti potvrđuje izrazitu heterogenost zakopanog otpada. Iako pojedini uzorci (npr. I6.1 AŠ, I3 kompozit) pokazuju ogrjevnju vrijednosti usporedive s RDF/SRF materijalima, visoki udjeli pepela, prisutnost teških metala i povišeni sadržaj klora i sumpora onemogućuju njihovo izravno energetske iskorištavanje bez prethodne obrade i stroge kontrole emisija (Rada & Ragazzi, 2014; Neuwahl et al. 2019).

3.2.3.3 Analiza točke zapaljivosti

Za sve analizirane uzorke točku zapaljivosti nije bilo moguće odrediti jer uzorci ne pokazuju svojstva hlapljive zapaljive tekućine, odnosno ne sadrže komponente koje bi pri ispitnim uvjetima stvarale zapaljive pare. Slijedom navedenog, svojstvo HP3 (zapaljivo) nije utvrđeno na temelju ispitivanja točke paljenja.

3.2.3.4 Testovi procjeđivanja i mobilnost metala u zakopanom otpadu

Rezultati testova procjeđivanja zakopanog otpada ukazuju na specifično ponašanje materijala u kontaktu s vodom, karakteristično za povijesno odloženi heterogeni otpad. Većina uzoraka bušotina i iskopa (npr. Kutija H1 – Bušotina 1 (1–3 m), I1.1 AŠ, I2.1 AŠ) nalazi se u području blago alkalnih vrijednosti eluata pH 8,0–8,6. Takvi uvjeti presudno utječu na kemijsku mobilnost pojedinih elemenata. Jedan uzorak kutija H2 – bušotina 2 (1m) ima povišeni pH i to 10,6.

U alkalnom okolišu većina kationskih metala, poput olova (Pb), bakra (Cu), cinka (Zn) i nikla (Ni), pokazuje smanjenu topljivost zbog adsorpcije na mineralne faze ili precipitacije. To se jasno očituje u činjenici da su koncentracije ovih metala u eluatu u većini uzoraka ispod granica detekcije ili na razini MDK-a, primjerice za Pb, Cu i Zn u uzorcima Kutija H1 (svi dubinski uzorci), Kutija H3 (1–3 m) te I3.2 AŠ i I3.3 AŠ, unatoč njihovom povišenom ukupnom sadržaju u krutoj fazi otpada. Ovakav odnos između ukupnog sadržaja i mobilnosti u skladu je s općim obrascima ponašanja otpada na odlagalištima. (Astrup et al., 2015; van der Sloot et al., 2001)

Suprotno tome, antimon (Sb) je u većini uzoraka detektiran u eluatu u mjerljivim koncentracijama. Najviše vrijednosti zabilježene su u uzorcima I1.3 AŠ (Sb $\approx$ 4,0 mg/kg s.t.) te Uzorak 6 (DIRH) i Uzorak 9 (DIRH) iskop (Sb $\approx$ 3,2–3,5 mg/kg s.t.), dok su u bušotinama vrijednosti Sb najčešće u rasponu 0,3–1,9 mg/kg s.t. (npr. Kutija H2 – Bušotina 2 (3 m), Kutija H4 – Bušotina 4 (2 m)).

Ovo ponašanje objašnjava se činjenicom da se u oksidirajućim i alkalnim uvjetima antimon pojavljuje u obliku antimonata (Sb(V)), koji zadržavaju relativno visoku mobilnost čak i pri povišenim pH vrijednostima. (Filella et al., 2002)

Dodatno, povišene vrijednosti otopljenih krutina (TDS) i otopljenog organskog ugljika (DOC) ukazuju na povećani potencijal prijenosa onečišćujućih tvari. Ekstremno visoke vrijednosti TDS-a zabilježene su u uzorku I6.1 AŠ (TDS $\approx$ 19 940 mg/kg s.t.), dok su povišene vrijednosti DOC-a



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



utvrđene u istom uzorku ($\text{DOC} \approx 6\,960 \text{ mg/kg s.t.}$) te u uzorku Uzorak 9 (DIRH) iskop ($\text{DOC} \approx 2\,360 \text{ mg/kg s.t.}$)

Takva kombinacija alkalnog pH-a, visokog DOC-a i povišenog saliniteta tipična je za starija odlagališta i zakopani otpad bez tehničkih barijera. (Christensen et al., 2001)

Temeljem provedenih ispitivanja otpada, a osobito rezultata testova procjeđivanja ($L/S = 10 \text{ l/kg}$), utvrđeno je da u više uzoraka koncentracija antimona (Sb) u eluatu prelazi graničnu vrijednost od $0,7 \text{ mg/kg}$ suhe tvari, koja je propisana za prihvata otpada na odlagalište neopasnog otpada sukladno Prilogu Odluke Vijeća 2003/33/EZ, preuzetoj u nacionalno zakonodavstvo kroz Pravilnik o odlagalištima otpada (NN 4/23).

Sukladno navedenim propisima, otpad koji u testu procjeđivanja premašuje granične vrijednosti za neopasni otpad ne ispunjava uvjete za prihvat na odlagalište neopasnog otpada, neovisno o tome što ostali ispitani parametri u eluatu ne prelaze propisane granične vrijednosti. U konkretnom slučaju, prekoračenje granične vrijednosti za antimon predstavlja odlučujući kriterij za određivanje vrste odlagališta.

Istodobno, izmjerene koncentracije antimona u eluatu ne prelaze graničnu vrijednost od 5 mg/kg suhe tvari, koja je propisana za prihvat otpada na odlagalište opasnog otpada. Slijedom toga, predmetni otpad, iako prema podrijetlu i ukupnom kemijskom sastavu nije nužno klasificiran kao opasan otpad prema katalogu otpada, prema kriterijima prihvatljivosti za odlaganje **udovoljava uvjetima da se odloži na odlagalište opasnog otpada.**

3.2.3.5 Sadržaj teških metala u zakopanom otpadu

Kvantitativne analize krute faze zakopanog otpada pokazuju povišene koncentracije teških metala, značajno iznad prirodnih geokemijskih pozadinskih vrijednosti tla. Najviše koncentracije olova (Pb) zabilježene su u uzorku I4.1 AŠ (Četvrti iskop), gdje Pb doseže približno $1\,750 \text{ mg/kg}$, dok su povišene vrijednosti Pb također utvrđene u uzorcima I1 kompozit ($\text{Pb} \approx 773 \text{ mg/kg}$) i I5.1 AŠ ($\text{Pb} \approx 828 \text{ mg/kg}$).

Koncentracije nikla (Ni) i kroma (Cr) također ukazuju na industrijsko porijeklo otpada. Primjerice, u uzorcima I5.1 AŠ i I4.1 AŠ utvrđene su koncentracije Ni od približno 93 mg/kg , odnosno 76 mg/kg , dok su koncentracije Cr u istim uzorcima dosežale $98\text{--}103 \text{ mg/kg}$. Kadmij (Cd) je prisutan

u koncentracijama do približno 6 mg/kg (npr. I5.1 AŠ), što dodatno potvrđuje antropogeni karakter materijala.

Takve koncentracije nisu karakteristične za prirodna tla i matični supstrat, već upućuju na prisutnost industrijskih ostataka, pepela i zgure, što je u skladu s opisima zakopanih industrijskih i mješovitih odlagališta u literaturi. (Hjelmar et al., 2013) Iako su ovi metali u trenutnim uvjetima slabo mobilni, njihov povišeni ukupni sadržaj predstavlja dugoročni okolišni rizik jer promjene fizikalno-kemijskih uvjeta mogu dovesti do njihove ponovne mobilizacije. (van der Sloot et al., 2001)

Osim antimona, između pojedinih uzoraka uočljive su značajne razlike i u koncentracijama drugih parametara, osobito olova (Pb), nikla (Ni), kroma (Cr) te pokazatelja ispiranja poput DOC-a i TDS-a. Dok su u većini uzoraka bušotina koncentracije Pb, Ni i Cr u eluatu ispod granica detekcije ili na niskim razinama, u pojedinim uzorcima iskopa ukupni sadržaj tih metala u krutoj fazi višestruko je povišen (npr. Pb i preko 1 000 mg/kg), što ukazuje na različite tehnološke frakcije unutar zakopanog otpada.

Istodobno, DOC i TDS pokazuju izraženu varijabilnost, pri čemu pojedini uzorci (npr. dublji iskopi) imaju višestruko više vrijednosti u odnosu na ostale. Ta razlika ukazuje na različit stupanj razgradnje organske tvari i saliniteta, što izravno utječe na sposobnost eluata da kompleksira i transportira metale. U kombinaciji s varijabilnim pH vrijednostima, takva heterogenost objašnjava zašto se u nekim uzorcima javlja povišena mobilnost antimona i drugih elemenata, dok su u drugim uzorcima oni gotovo nepokretni.

Ukupno gledano, razlike među uzorcima upućuju na to da se radi o prostorno i kemijski nehomogenom, povijesno odloženom otpadu, s lokalno izraženim zonama povećanog onečišćenja i mobilnosti, što nalaže da se pri procjeni prihvatljivosti i načina zbrinjavanja isto uzeti u obzir.

3.2.3.6 Zaključak

Rezultati kvantitativnih analiza potvrđuju da se u zakopanom materijalu ne radi o prirodnom tlu, već o antropogeno odloženom otpadu heterogenog sastava. U više uzoraka utvrđene su povišene koncentracije teških metala, osobito olova, nikla, kroma i kadmija, koje višestruko prelaze prirodne geokemijske pozadinske vrijednosti. Posebno se ističu visoke koncentracije olova, koje

lokalno dosežu približno 1 750 mg/kg, što upućuje na prisutnost industrijskih ostataka poput pepela i zgure.

Istodobno, rezultati pokazuju izraženu prostornu i kemijsku heterogenost otpada. Iako su koncentracije metala u eluatu u većini uzoraka niske, visoki ukupni sadržaji u krutoj fazi te varijabilnost parametara poput DOC-a, TDS-a i pH ukazuju na mogućnost promjene mobilnosti metala u slučaju promjene fizikalno-kemijskih uvjeta.

Ukupno gledano, riječ je o povijesno odloženom, kemijski nehomogenom otpadu s lokalnim zonama povišenog onečišćenja i mobilnosti.

3.2.3.7 Interpretacija rezultata mikroskopiranja bušotina i iskopa

Uzorci H1.1, H1.2, H1.3, H2.2, H2.3, H2.4, H2.6, H4.1, H5.1, H5.2, H5.3, H5.5 i I3.3 (utvrđena gustoća čestica $\rho_s \approx 2,6 \text{ g/cm}^3$)

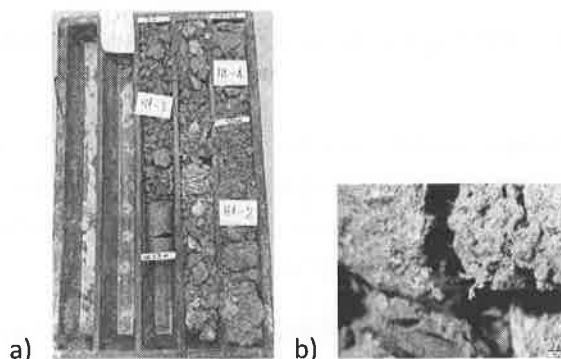
Uzorak H1.1

Makroskopski (Slika 89), materijal je svijetlosmeđe do žućkasto-smeđe boje, heterogene strukture, sastavljen od nepravilnih grudica i lomljenih fragmenata različite veličine. Uočava se sitnozrnata matrica s uklopljenim krupnijim komadima veličine do nekoliko centimetara.

Mikroskopska analiza (Slika 89b) pokazuje da se uzorak sastoji od nepravilnih, poroznih agregata granulirane i praškaste mikrostrukture. Površine čestica su mat, bez staklastog sjaja ili homogenih lomnih ploha. Rubovi su pretežito tupi i nepravilni. Prema mjerilu, dominantni mikroagregati imaju dimenzije približno 0,5–2 mm, dok su pojedinačna zrna unutar agregata uglavnom manja od 100 μm . Mikrostrukturne pore i nepravilnosti nalaze se u rasponu približno 50–300 μm . U analiziranom rasponu veličina nisu uočeni morfološki pokazatelji sintetskih materijala (npr. homogeni plastični fragmenti ili vlakna uniformne debljine).

Zaključak

Na temelju vizualne procjene i mikroskopiranja može se zaključiti da uzorak H1.1 predstavlja mineralni agregirani materijal sitnozrnate do srednjezrnate strukture, karakterističan za građevinski otpad/jalovina, bez uočene prisutnosti mikroplastike.



Slika 89 Uzorak H1.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H1.2

Makroskopski (Slika 90a), materijal je svijetlosmeđe do sivkaste boje, heterogene strukture, sastavljen od nepravilnih grudica i lomljenih fragmenata promjenjive granulacije. Uočava se sitnozrnata matrica s uklopljenim krupnijim fragmentima veličine do nekoliko centimetara.

Mikroskopski (Slika 90b i c), uzorak se sastoji od nepravilnih, poroznih agregata granularane i praškaste teksture. Površine su mat, bez staklastog sjaja i bez jasnih lomnih ploha. Rubovi čestica su pretežito tupi. Prema mjerilu, dominantni mikroagregati imaju dimenzije približno 0,5–3 mm, dok su pojedinačna zrna unutar agregata uglavnom manja od 100 μm . Mikrostrukturne pore i nepravilnosti nalaze se u rasponu približno 50–300 μm .

U analiziranom rasponu veličina nisu uočeni morfološki pokazatelji sintetskih materijala (npr. homogeni plastični fragmenti ili vlakna uniformne debljine).

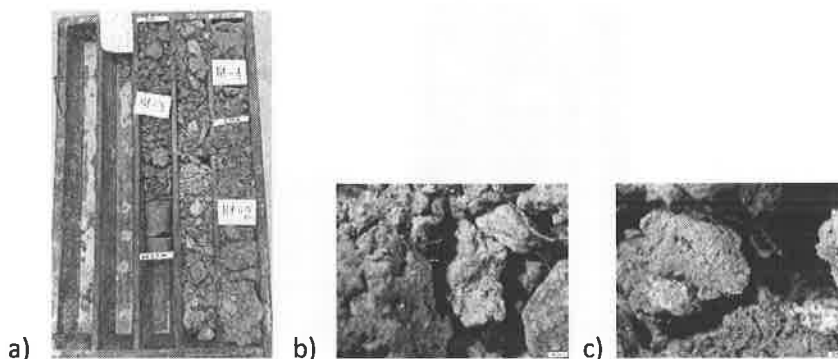
Zaključak:

Na temelju vizualne procjene i mikroskopiranja, uzorak H1.2 predstavlja mineralni agregirani materijal sitnozrnate do srednjezrnate strukture, tipičan za građevinski otpad/jalovinu, bez uočene prisutnosti mikroplastike.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Slika 90 Uzorak H1.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

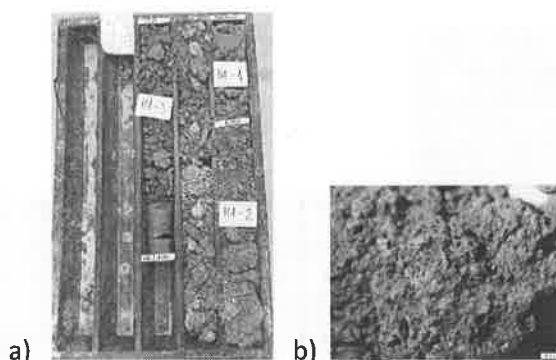
Uzorak H1.3

Makroskopski (Slika 91a), materijal je izrazito crvenkasto-smeđe do oker boje, heterogene i zgrudane strukture. Sastoji se od nepravilnih, kompaktnih grudica promjenjive veličine – od sitnozrnate matrice do fragmenata veličine nekoliko centimetara. Struktura je suha i trošna, bez vidljivih laminacija ili jasno definiranih slojeva. Ujedinjeno crvenkasto obojenje upućuje na prisutnost oksidiranih mineralnih faza, vjerojatno željeznih oksida.

Mikroskopska analiza (Slika 91b) pokazuje izrazito porozne i aglomerirane mikroagregate granulirane teksture. Površine su mat i hrapave, bez staklastog sjaja ili homogenih lomnih ploha. Dominantni mikroagregati imaju približne dimenzije 0,5–2 mm, dok su pojedinačna zrna unutar agregata uglavnom manja od 100 μm . Mikrošupljine i međuzrnski prostori nalaze se u rasponu približno 50–300 μm . U analiziranom rasponu veličina nisu uočeni morfološki pokazatelji sintetskih materijala (npr. glatke plastične površine ili vlakna uniformne debljine).

Zaključak

Na temelju vizualne procjene i mikroskopiranja može se zaključiti da uzorak H1.3 predstavlja oksidirani mineralni agregirani materijal sitnozrnate do srednjezrnate strukture, tipičan za građevinski otpad/jalovinu, bez uočene prisutnosti mikroplastike.



Slika 91 Uzorak H1.3 – a) makroskopska slika bušotine; b) - slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H2.2

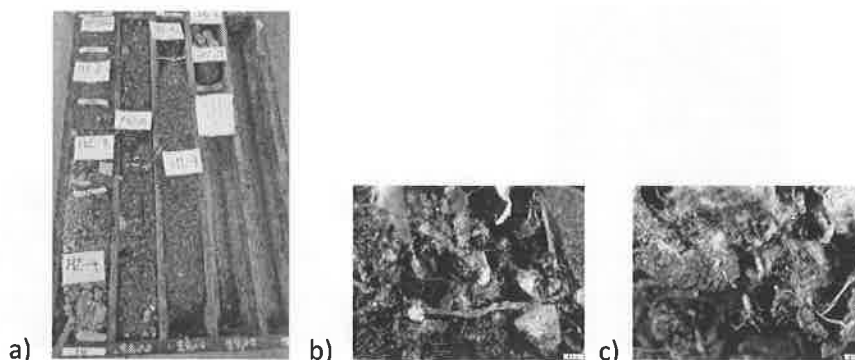
Makroskopski (Slika 92a), sloj je tamnosmeđe do sivkaste boje, heterogene strukture s izraženom sitnozrnatom frakcijom. Uočavaju se sitni šljunkoviti i pjeskoviti elementi te sporadični krupniji fragmenti.

Mikroskopska analiza (Slika 92b i c) pokazuje izrazito heterogenu matricu sastavljenu od mineralnih zrnaca, organskih ostataka i brojne vlaknaste komponente. Dominantna su sitna mineralna zrna i agregati dimenzija približno 0,1–1,5 mm. Unutar matrice prisutne su brojne tanke niti i vlakna promjera procijenjeno $<20\text{--}50\ \mu\text{m}$, duljine do nekoliko milimetara, nepravilno isprepletena i raspoređena između mineralnih čestica.

Osim vlakana, uočeni su i obojeni fragmenti (zeleni, crveni, narančasti) nepravilnog oblika, veličine približno 0,2–1 mm (mikroplastika), te tamne kompaktne čestice.

Zaključak

Na temelju opažene morfologije, uzorak H2.2 može se preliminarno opisati kao heterogeni mineralno-organski materijal s izraženom vlaknastom i fragmentiranom komponentom, što upućuje na miješani materijal prirodnog i mogućeg antropogenog podrijetla (prisustvo mikroplastike).



Slika 92 Uzorak H2.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H2.3

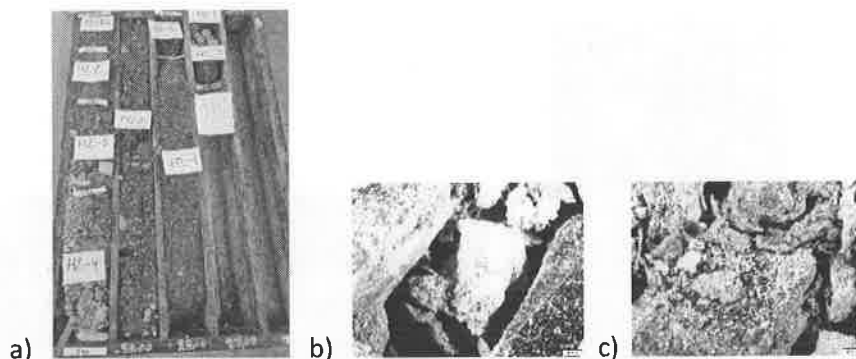
Makroskopski (Slika 93a), materijal je heterogen, pretežito smeđe do tamnosive boje, s izraženom mješavinom sitnozrnate matrice i krupnijih fragmenata. Uočavaju se komadi svjetlijeg mineralnog materijala, kao i tamnije, kompaktije čestice. Struktura je rahla, bez jasne prirodne stratifikacije, što upućuje na miješani ili nasipni materijal.

Mikroskopska analiza (Slika 93b i c) pokazuje složenu strukturu sastavljenu od mineralnih zrnaca, agregiranih čestica i vlaknaste komponente. Dominantni fragmenti imaju nepravilne, često angularne oblike, dimenzija približno 0,5–3 mm. Površine su hrapave, mat i djelomično prekrivene sitnom prašinastom frakcijom (<100 μm). Uočene su tamne, kompaktne čestice s relativno homogenom teksturom, kao i svjetliji, porozniji agregati.

Prisutna su i pojedina tanka vlakna promjera procijenjeno <20–40 μm , duljine do nekoliko milimetara, nepravilno raspoređena unutar matrice.

Zaključak

Na temelju opažene morfologije, uzorak H2.3 može se preliminarno opisati kao heterogeni mineralni materijal s mogućim udjelom antropogenih fragmenata i vlaknaste komponente.



Slika 93 Uzorak H2.3 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H2.4

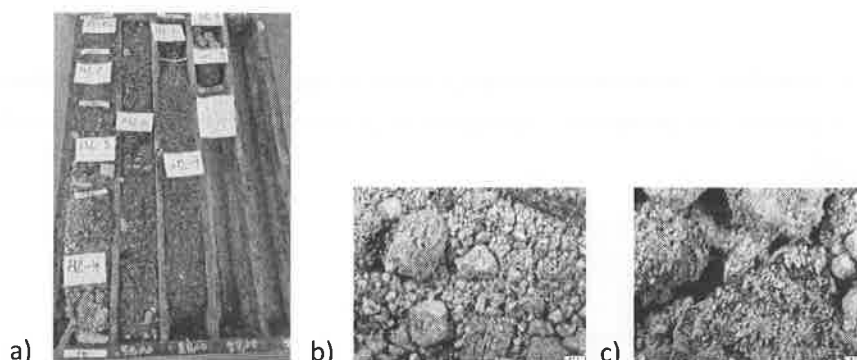
Makroskopski (Slika 94a), sloj je svjetlije smeđe do žućkaste boje s izraženim udjelom krupnije frakcije. Vidljivi su brojni šljunkoviti i kameniti fragmenti veličine od nekoliko milimetara do približno 2–3 cm.

Mikroskopska analiza (Slika 94b i c) pokazuje dominantno granularnu teksturu sastavljenu od sitnih mineralnih zrnaca i agregata. Pojedinačna zrna imaju procijenjene dimenzije približno 50–500 μm , dok su manji agregati u rasponu 0,5–2 mm. Čestice su uglavnom nepravilnog do subangularnog oblika, hrapave i mat površine. Uočene su i tamnije kompaktne čestice prekrivene sitnom prašinastom frakcijom, kao i svjetliji porozniji fragmenti.

U analiziranom vidnom polju nisu jasno uočene izražene vlaknaste ili homogeno plastične komponente.

Zaključak

Na temelju morfoloških opažanja, uzorak H2.4 može se klasificirati kao grublje zrnat, pretežito mineralni materijal, odnosno građevinski otpad/jalovina, bez prisutnosti mikroplastike.



Slika 94 Uzorak H2.4 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H2.6

Makroskopski (Slika 95a) u uzorku dominira slabo sortirani, heterogeni materijal s prisutnim krupnijim fragmentima građevinskog otpada. Struktura je rastresita i bez izražene prirodne slojevitosti.

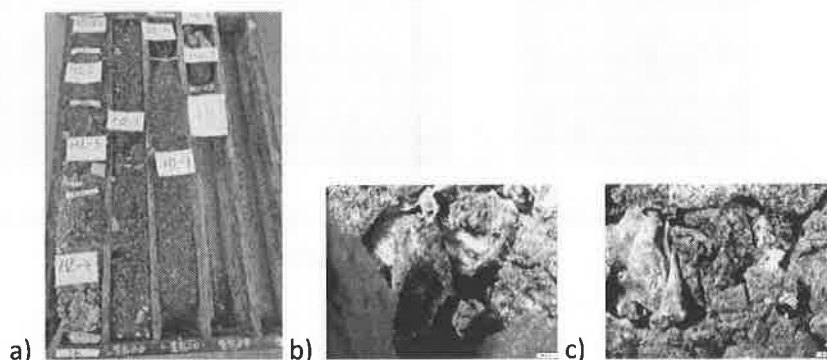
Mikroskopskom analizom uzorka (Slika 95b i c) utvrđena je izrazito heterogena struktura materijala, s vrlo širokim rasponom dimenzija čestica i jasno prepoznatljivim razlikama u morfologiji pojedinih komponenti. Dominantnu osnovu čini fina mineralna matrica procijenjene veličine približno 30–200 μm , lokalno do oko 300 μm . Zrna su pretežno subangularna do angularna, neravne i hrapave površine, što upućuje na mehaničko usitnjavanje.

Unutar matrice uočavaju se kompaktniji agregati i fragmenti veličine približno 0,5–2,0 mm, dok pojedini krupniji komadi u vidnom polju dosežu do oko 3 mm. Posebno su uočljivi plavi i zeleni fragmenti veličine približno 0,4–1,5 mm, relativno homogenog izgleda i oštrijih rubova u odnosu na mineralna zrna. Njihova boja, tekstura i morfologija odstupaju od prirodnih sedimentnih čestica te upućuju na moguće sintetsko (antropogeno) porijeklo. Također su prisutni tanki, prozirni filmasti elementi procijenjene debljine manje od 100 μm , s ukupnom duljinom do oko 1–2 mm, kao i pojedina vlakna promjera približno 10–30 μm i duljine do nekoliko milimetara.

Prisutnost obojenih, filmastih i vlaknastih fragmenata dimenzijski je kompatibilna s kategorijom mikroplastike (<5 mm). Pojava mikroplastike u ovom sloju vjerojatna je posljedica prodora mikroplastike iz sloja H2.5.

Zaključak

Na temelju morfoloških i dimenzijskih obilježja može se zaključiti da uzorak predstavlja miješani materijal s izraženim antropogenim utjecajem te potencijalnom prisutnošću mikroplastičnih čestica u matrici.



Slika 95 Uzorak H2.6 - a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

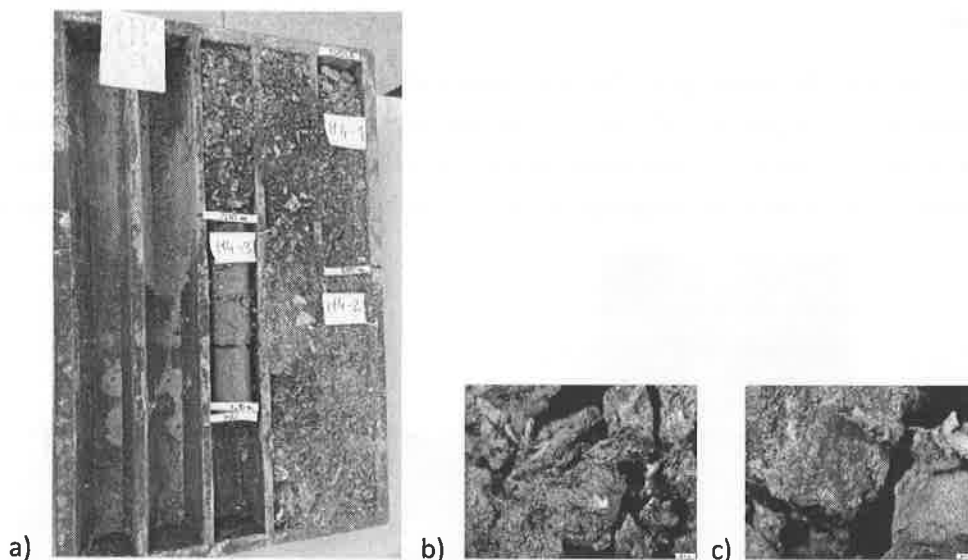
Uzorak H4.1

Makroskopskom analizom (Slika 96**Error! Reference source not found.**a) uzorak H4.1 sastoji se p retežno od krupnozrnatog, slabo sortiranog materijala crvenkasto-smeđe boje. Dominiraju fragmenti približne veličine 5–25 mm, lokalno i do oko 30 mm. Čestice su uglavnom angularne do subangularne, što upućuje na mehaničko drobljenje (vjerojatno opeka, građevinski materijal ili zgura). Uočava se heterogen sastav bez prirodne slojevitosti, što sugerira antropogeni nanos ili tehnički sloj.

Mikroskopske snimke (Slika 96b i c) pokazuju finu matricu u rasponu približno 20–150 µm, lokalno do 200 µm. Sitni agregati i fragmenti drobljenog materijala kreću se najčešće između 200 i 800 µm, dok kompaktniji komadi u vidnom polju dosežu približno 1–3 mm. Površine su hrapave, porozne i mineralne teksture, osobito kod crvenkastih fragmenata koji pokazuju tipičnu strukturu pečene gline (opeka). Što se tiče mogućnosti prisutnosti mikroplastike (<5 mm), u analiziranim mikroskopskim poljima ne dominiraju tipični pokazatelji poput intenzivno obojenih homogenih fragmenata s glatkim lomnim ploham ili prozirnih filmastih čestica.

Zaključak

Zaključno, uzorak H4.1 predstavlja krupnozrnat, antropogeno izmijenjen površinski materijal s dominantno mineralnim komponentama, odnosno građevinski otpad.



Slika 96 Uzorak H4.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H5.1

Makroskopskom analizom (Slika 97a) uzorak pokazuje izrazito heterogen i slabo sortiran materijal. Vidljivi su fragmenti veličine približno 5–20 mm, lokalno i do oko 30 mm. Materijal je miješanog karaktera, s prisutnim svjetlijim i tamnijim komadima, bez jasne prirodne slojevitosti, što upućuje na antropogeni nanos ili tehnički sloj.

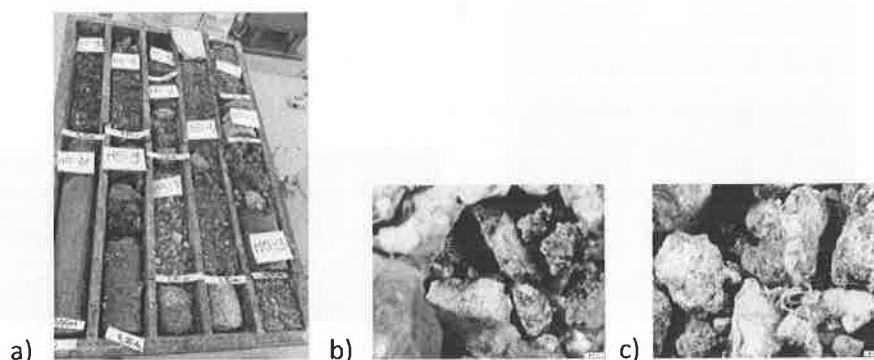
Mikroskopske snimke (Slika 97b i c) omogućuju detaljniju procjenu granulometrijskog raspona. Fina matrica dominantno se nalazi u rasponu približno 20–150 μm . Sitni agregati i mineralna zrna uglavnom su veličine 100–600 μm , dok kompaktniji fragmenti u vidnom polju dosežu približno 0,5–2,5 mm. Čestice su većinom angularne do subangularne, hrapave površine, s vidljivom poroznošću i nepravilnom teksturom, što je tipično za drobljeni mineralni ili građevinski materijal.

U mikroskopskom prikazu uočavaju se i tanka vlakna promjera približno 10–30 μm , duljine do 1–3 mm. Vlakna su savijena, glatke površine i bez vidljive kristalne strukture. S obzirom na definiciju mikroplastike (<5 mm), opažena vlakna dimenzijski pripadaju toj kategoriji. Morfološke značajke

(homogena struktura, intenzivna boja, glatka vlaknasta forma) kompatibilne su s mogućim sintetskim podrijetlom.

Zaključak

Sloj H5.1 predstavlja heterogeni, antropogeno izmijenjeni površinski materijal sa širokim granulometrijskim rasponom (od $<20\ \mu\text{m}$ do nekoliko milimetara), odnosno u ovom slučaju građevinski otpad/jalovina. Postoji realna mogućnost prisutnosti mikroplastike u obliku vlakana. Pretpostavlja se da je došlo do prijenosa mikroplastike i miješanja iz uzorka H5.4 u ovaj uzorak.



Slika 97 Uzorak H5.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu $500\ \mu\text{m}$

Uzorak H5.2

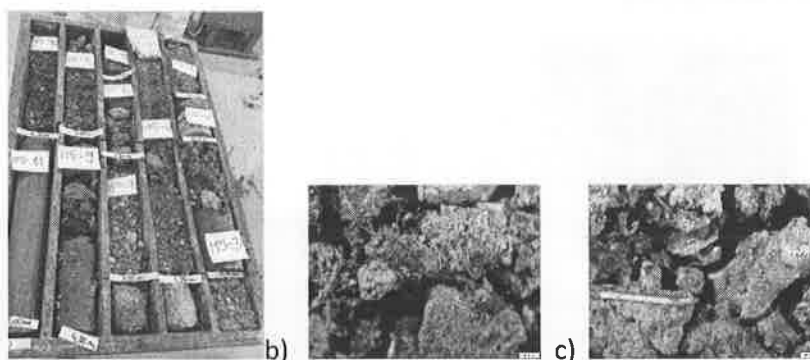
Makroskopskom analizom (Slika 98a) uzorak H5.2 pokazuje se kao zbijeni materijal s površinski vidljivim fragmentima veličine približno 1–5 mm. Čestice su uglavnom angularne do subangularne, bez prirodne slojevitosti, što upućuje na miješani ili tehnički (antropogeni) karakter sloja.

Mikroskopske snimke (Slika 98b i c) otkrivaju širok granulometrijski raspon. Fina matrica dominantno je u rasponu približno 20–150 μm . Sitna mineralna zrna i agregati kreću se između 100 i 600 μm , dok veći fragmenti u vidnom polju dosežu približno 0,5–3,0 mm. Posebno su uočljivi intenzivno obojeni fragmenti (crveni, ljubičasti i zeleni). Uočena su i brojna tanka vlakna promjera približno 10–40 μm i duljine do nekoliko milimetara, savijena i međusobno isprepletena. S obzirom na definiciju mikroplastike ($<5\ \text{mm}$), navedeni obojeni fragmenti i vlakna dimenzijski

pripadaju toj kategoriji. Njihova intenzivna boja, homogena unutarnja struktura i relativno glatke površine upućuju na realnu mogućnost sintetskog podrijetla.

Zaključak

Sloj H5.2 predstavlja slabo sortiran, antropogeno izmijenjen materijal širokog granulometrijskog raspona (od <20 μm do nekoliko milimetara) s jasnim pokazateljima potencijalne prisutnosti mikroplastike, osobito u obliku obojenih fragmenata i vlakana. Pretpostavlja se da je došlo do prijenosa mikroplastike i miješanja iz uzorka H5.4 u ovaj uzorak.



Slika 98 Uzorak H5.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H5.3

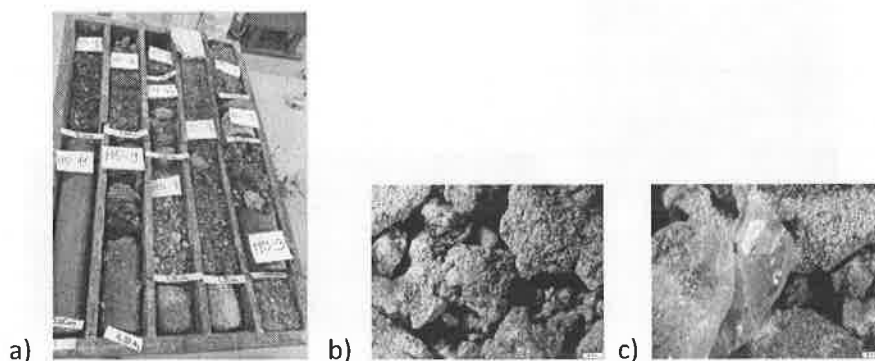
Makroskopskom analizom uzorka H5.3 (Slika 99a) uočava se heterogen, krupnozrnat materijal smeđe do sivkaste boje, bez izražene prirodne slojevitosti. Vidljivi su zbijeni zemljani agregati i pojedinačni svjetliji fragmenti, veličine približno 5–30 mm, lokalno i veći. Čestice su uglavnom angularne do subangularne, što uz odsutnost sedimentarne strukture upućuje na miješani ili nasipni karakter sloja.

Mikroskopska analiza (Slika 99b i c) pokazuje širok granulometrijski raspon. Fina mineralna matrica dominantno je u rasponu <50–200 μm te oblaže veće agregate. Sitni mineralni fragmenti i zbijene nakupine kreću se približno od 0,3 do 2,0 mm, s hrapavim, nepravilnim površinama tipičnima za prirodne čestice tla ili drobljeni građevinski materijal. Posebno je značajan prozirni, filmasti fragment nepravilnog oblika, procijenjene duljine oko 2–4 mm i debljine vjerojatno <100–200 μm . Materijal je homogen, bez vidljive kristalne strukture, s glatkim do blago zaobljenim

rubovima te lokalnim sitnim inkluzijama. Takva morfologija nije karakteristična za mineralne čestice ni za prirodne organsko-mineralne agregate, već odgovara tankom polimernom filmu (npr. fragmentu plastične folije). Prema definiciji (<5 mm), navedeni fragment dimenzijski pripada kategoriji mikroplastike.

Zaključak

Sloj H5.3 pokazuje izrazito slabu sortiranost i jasne pokazatelje antropogenog utjecaja, odnosno u ovom slučaju građevinski otpad/jalovina. Prisutnost filmastog, prozirnog fragmenta upućuje na moguću prisutnost mikroplastike.



Slika 99 Uzorak H5.3 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

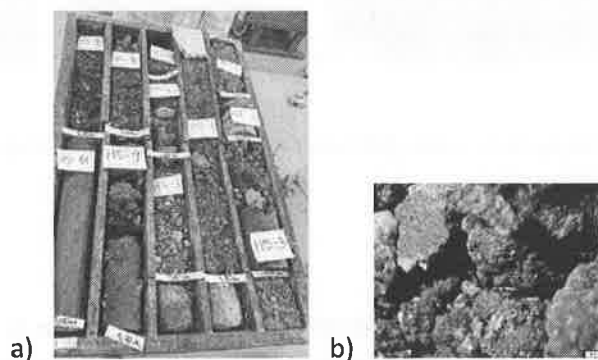
Uzorak H5.5

Makroskopskom analizom uzorka H5.5 (Slika 100a) uočava se heterogen, zbijen materijal tamnosmeđe do sivkaste boje, bez izražene prirodne slojevitosti.

Mikroskopska analiza (Slika 100b) potvrđuje izrazito širok granulometrijski raspon. Fina matrica dominantno se kreće u rasponu <50–150 µm te oblaže veće agregate. Sitni mineralni fragmenti i zbijene nakupine veličine su približno 0,2–1,5 mm, s hrapavim i poroznim površinama tipičnima za prirodne zemljane agregate. Pojedini svjetliji fragmenti (vjerojatno kvarcni ili karbonatni) dosežu 0,5–2,0 mm i pokazuju nepravilne lomne plohe i kristalastu teksturu. U uzorku je uočen i manji plavkasti fragment procijenjene veličine približno 0,3–0,8 mm. Ovaj element pokazuje relativno homogenu obojenost i kompaktnu strukturu, bez vidljive kristalne teksture, što ga razlikuje od okolnih mineralnih čestica. Prema dimenzijskoj definiciji (<5 mm), takav fragment pripada kategoriji mikroplastike ukoliko je polimernog sastava.

Zaključak

Sloj H5.5 predstavlja slabo sortiran, heterogen materijal granulometrijskog raspona od $<50 \mu\text{m}$ do nekoliko milimetara, s jasnim pokazateljima antropogenog utjecaja, odnosno u ovom slučaju građevinski otpad/jalovina.



Slika 100 Uzorak H5.5 – a) makroskopska slika bušotine; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu $500 \mu\text{m}$

Uzorak I3.3

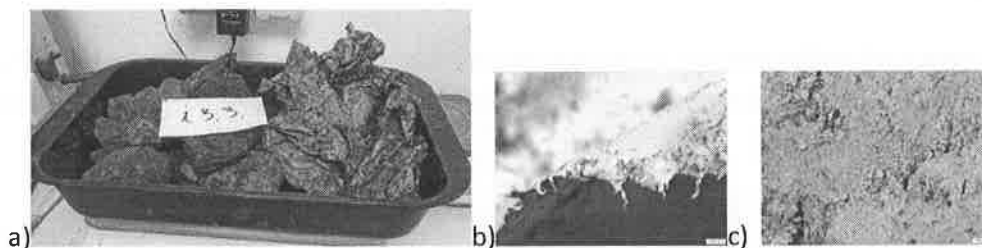
Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 101) utvrđeno je da uzorak čini mineralna i građevinska matrica unutar koje se nalazi manji udio sekundarne mikroplastike. Dominiraju intenzivno narančasti porozni fragmenti nalik pečenoj glini (opeka) te grubi silikatno–glinasti heterogeni agregati. Uz mineralnu frakciju, na drugoj slici vidljivi su plavi i bijeli pločasti fragmenti glatkih lamelarnih površina, morfološki tipični za tanke plastične folije.

Vizualnim pregledom uzorka utvrđeno je kako se radi o komadu PE vreće (plavi materijal). Vlakna nisu općeprisutna, već se javljaju isključivo uz rubove plastičnih fragmenata kao rezultat trošenja i cijepanja PE folije.

Nema znakova stakla, gume ili metala. Površinska tekstura upućuje na mehanički trošenu i okolišno kontaminiranu građevinsko–zemljanu smjesu.

Zaključak

Uzorak predstavlja zemljano–građevinski materijal s dominantnim mineralnim i keramičkim agregatima (opeka), uz jasno vidljivu manju frakciju sekundarne mikroplastike.



Slika 101 Uzorak I3.3 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Zaključno

Većina analiziranih uzoraka potvrđuje pretežno mineralni sastav, što je u skladu s izmjerenim vrijednostima gustoće čvrstih čestica. U pojedinim uzorcima zabilježena je prisutnost polimernih primjesa, međutim njihov udio nije dovoljno velik da bi značajnije utjecao na dobivene rezultate gustoće čvrste faze.

Drugim riječima, iako su lokalno identificirane čestice potencijalne mikroplastike, njihov volumni i maseni udio ostaje nizak u odnosu na dominantnu mineralnu komponentu, pa ukupna gustoća uzoraka i dalje odražava prvenstveno mineralni sastav materijala.

U analiziranim uzorcima H1.1, H1.2, H1.3, H2.2, H2.3, H2.4, H2.6, H4.1, H5.1, H5.2, H5.3, H5.5 pretežito se radi o građevinskom otpadu i jalovini djelomično onečišćenom plastikom.

Uzorci H2.1, H2.5, H2.7, H3.1, H4.2, H5.4, H5.6, H5.8, H5.9 i H5.10, I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I4.1, I5.1, I6.1 ($\rho_s < 2,3 \text{ g/cm}^3$)

Uzorak H2.1

Makroskopski (Slika 102a), materijal je tamnosmeđe do sivkaste boje, heterogene i pretežito sitnozrnate strukture. Uočava se relativno ujednačena granulacija s prevladavajućom finijom frakcijom te sporadičnim krupnijim fragmentima. Materijal djeluje slabo zbijen.

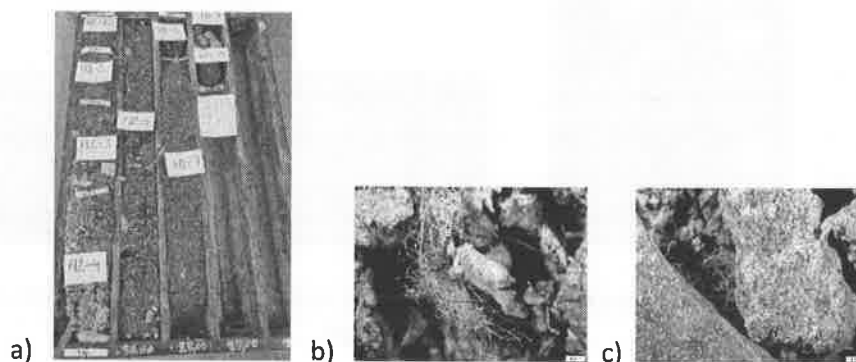
Mikroskopska analiza (Slika 102 b i c) pokazuje izraženu heterogenost uzorka. Dominira sitnozrnata mineralna matrica sastavljena od nepravilnih, poroznih agregata hrapave i mat

površine. Dimenzije mikroagregata kreću se približno od 0,5 do 3 mm, dok su pojedinačna zrna unutar agregata uglavnom manja od 100 μm .

Posebno je uočljiva vlaknasta komponenta – gust splet tankih vlakana duljine približno 0,5–2 mm. Vlakna su međusobno isprepletena i nepravilno raspoređena unutar mineralne matrice. Na temelju optičke analize nije moguće pouzdano utvrditi radi li se o prirodnim (biljnim) ili sintetskim vlaknima.

Zaključak

Na temelju makroskopskih i mikroskopskih opažanja, uzorak H2.1 može se preliminarno opisati kao heterogeni mineralno-vlaknasti materijal sitnozrnate strukture.



Slika 102 Uzorak H2.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H2.5

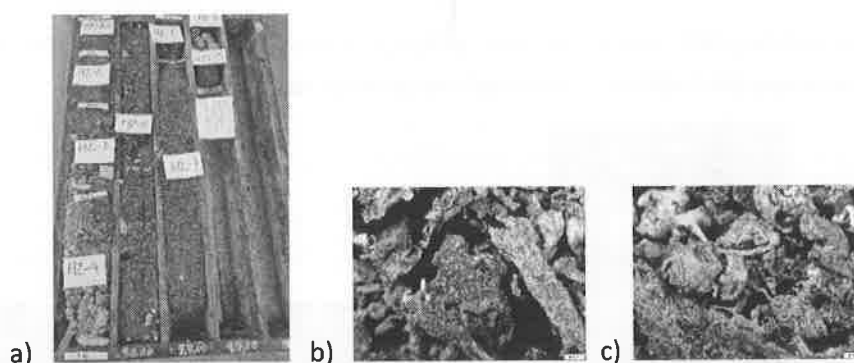
Makroskopski (Slika 103a) uočava se tamni heterogeni materijal. Vidljiva je mješavina sitnozrnatog mineralnog materijala i nepravilnih fragmenata različite boje i teksture. Sloj djeluje slabo sortiran, s izraženom varijabilnošću u veličini čestica te prisutnošću organskih i potencijalno antropogenih komponenti.

Mikroskopski pregled (Slika 103b i c) pokazuje heterogenu smjesu sitnozrnatog mineralnog materijala i izraženih antropogenih komponenti. Dominantna frakcija mineralne matrice pretežno je u rasponu približno 50–300 μm , dok se pojedinačna zrnca i agregati lokalno pojavljuju i do oko 400–800 μm . Prisutni su i obojeni fragmenti (zeleni/plavi), koji po morfologiji odgovaraju sintetskim česticama; njihova karakteristična dimenzija je približno 0,2–1,0 mm, uz vidljive oštrije

rubove i relativno homogeniju teksturu. Vlaknaste strukture (moguća tekstilna/sintetska vlakna) javljaju se kao tanke niti promjera približno 10–30 μm , dok im duljina u vidnom polju doseže oko 0,5–2 mm (često prelaze granice kadra).

Zaključno

Ukupno, raspon opaženih čestica obuhvaća frakciju od približno <50 μm (fina prašina/matrica; procjena) do oko 1–2 mm i rijetkim krupnijim fragmentima, što odgovara slabo sortiranom, miješanom materijalu s jasnim znakovima antropogene komponente (prisutnost mikroplastike).



Slika 103 Uzorak H2.5 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Uzorak H2.7

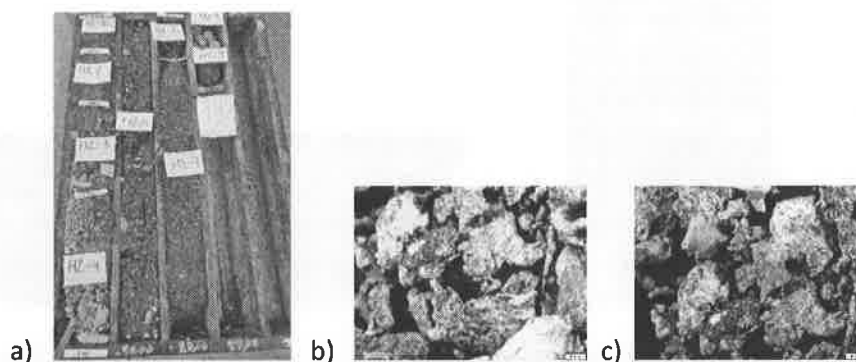
Makroskopskom analizom (Slika 104a) utvrđeno je da sloj H2.7 predstavlja pretežno sitno do srednje zrnati materijal relativno ujednačenog izgleda. Dominiraju čestice procijenjene veličine približno 1–8 mm, dok su krupniji fragmenti rijetki.

Mikroskopska analiza (Slika 104b i c) potvrđuje širok granulometrijski raspon. Fina mineralna matrica dominantno se nalazi u rasponu približno 20–150 μm , lokalno do 200 μm . Zrna pijeska i sitni agregati uglavnom su veličine 100–600 μm , subangularnog oblika i neravne, hrapave površine. Kompaktniji fragmenti u vidnom polju dosežu približno 0,5–2,5 mm. Posebno su uočljivi obojeni fragmenti (plavi, zeleni i narančasti) veličine približno 0,3–2,0 mm. Ti elementi pokazuju relativno homogenu strukturu, intenzivnu pigmentaciju i oštrije ili lomne rubove, bez tipične mineralne kristalne teksture. Također su prisutna tanka vlakna promjera približno 10–30 μm i duljine do nekoliko milimetara. Morfološke značajke navedenih elemenata odstupaju od

prirodnih sedimentnih čestica te su kompatibilne sa sintetskim materijalima. S obzirom na dimenzije (<5 mm), opaženi obojeni fragmenti i vlakna spadaju u kategoriju mikroplastike.

Zaključak

Na temelju makro- i mikroskopskih obilježja može se zaključiti da sloj H2.7 predstavlja slabo sortiran, miješani materijal s izraženim antropogenim utjecajem i potencijalnom prisutnošću mikroplastike.



Slika 104 Uzorak H2.7 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu $500\text{ }\mu\text{m}$

Uzorak H3.1

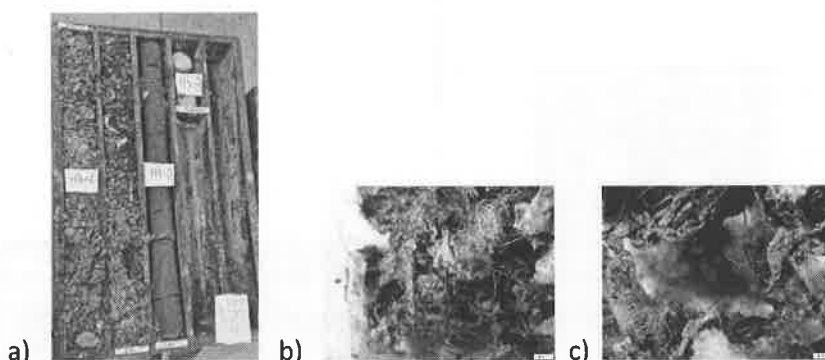
Makroskopski uzorak H3.1 (slika 105a) pokazuje izrazito heterogen i očito antropogeno izmijenjen materijal. Sloj je rahle strukture, sastavljen od sitne zemljane matrice pomiješane s brojnim fragmentima plastike, tekstila, papira i drugih otpada. Granulometrijski raspon je vrlo širok, od fine frakcije (<1 mm) do krupnijih komada veličine nekoliko centimetara.

Mikroskopske snimke (Slika 105b i c) potvrđuju vrlo visoku koncentraciju vlaknastih i filmolikih čestica. Dominantna fina matrica kreće se približno u rasponu $50\text{--}200\text{ }\mu\text{m}$, dok su brojna vlakna debljine procijenjeno $<20\text{--}40\text{ }\mu\text{m}$ i duljine od oko $0,5$ mm do 3 mm (u odnosu na mjerilo). Vlakna su različitih boja (prozirna, plavkasta, zelenkasta, crna, crvena) i pokazuju ujednačenu debljinu, savitljivost i glatku površinu, što je tipično za sintetska tekstilna vlakna. Osim vlakana, uočavaju se i obojeni fragmenti (npr. crveni i zeleni) veličine približno $0,3\text{--}1,5$ mm. Ti fragmenti imaju homogenu boju, nepravilne ali oštro definirane rubove te nemaju vidljivu kristalnu strukturu, što ih razlikuje od mineralnih zrna. Pojedini prozirni i filmoliki komadi pokazuju savitljivost i tanku, listastu morfologiju, što je karakteristično za plastične folije ili razgrađene polimerne fragmente.

S obzirom na dimenzijsku definiciju mikroplastike (<5 mm), većina uočenih vlakana i fragmenata nedvojbeno ulazi u tu kategoriju ako su polimernog sastava.

Zaključak

Na temelju mikroskopije može se zaključiti da uzorak H3.1 pokazuje izrazito antropogeni karakter s obiljem čestica koje po dimenzijama ($\approx 0,1\text{--}3\text{ mm}$) i morfologiji odgovaraju mikroplastici.



Slika 105 Uzorak H3.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

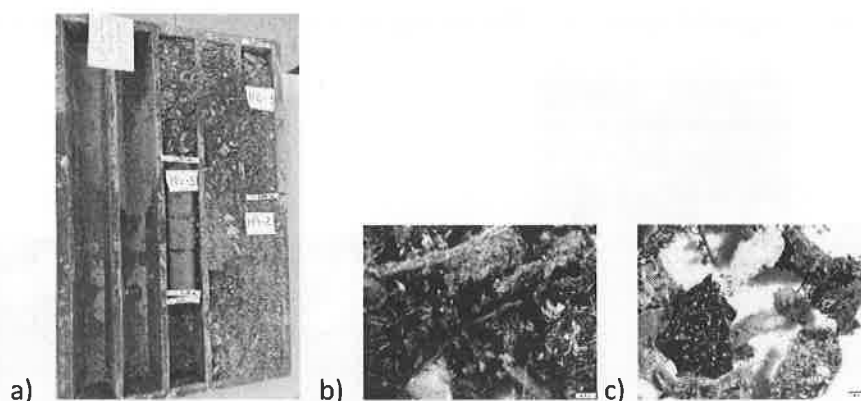
Uzorak H4.2

Makroskopski pregled jezgre (Slika 106a) pokazuje da se radi o heterogenom materijalu otpada sastavljenom od različitih frakcija, uključujući mineralne čestice, fragmente plastike, organske ostatke i sitnozrnati matriks. Materijal je sivo-smeđe do tamnosive boje, neujednačene granulacije, nepravilne strukture i slabo kompaktiran.

Mikroskopske slike (Slika 106b i c) dodatno potvrđuju izrazito heterogeni sastav materijala. Uočavaju se različite vrste čestica koje uključuju mineralne fragmente, vlaknaste organske ostatke te brojne polimerne ili sintetske fragmente. Na jednoj mikroskopskoj slici jasno su vidljivi obojeni fragmenti (zeleni i crveni) koji vjerojatno predstavljaju plastiku ili druge polimerne materijale. Ovi fragmenti imaju nepravilne, lomljene rubove i često su povezani s finim mineralnim česticama ili organskim vlaknima. Prisutnost takvih čestica ukazuje na značajan udio antropogenih materijala u uzorku.

Zaključak

Na temelju makroskopskog i mikroskopskog pregleda može se zaključiti da uzorak H4-2 predstavlja mješoviti otpad s izraženim udjelom sintetskih materijala (mikroplastike), organskih ostataka i mineralnih čestica.



Slika 106 Uzorak H4.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

Uzorak H5.4

Makroskopskom analizom sloja H5.4 (Slika 107a) uočava se tamnosiv slabo zbijeni materijal. Dominira sitnija frakcija s uklopljenim krupnijim fragmentima veličine približno 5–30 mm. Struktura je heterogena, bez jasne prirodne slojevitosti.

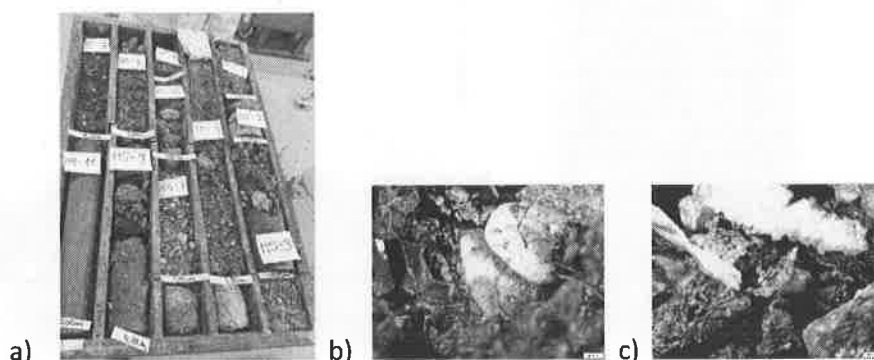
Mikroskopske snimke (Slika 107b i c) pokazuju da se većina čestica kreće u rasponu od približno 50 µm do 1,5 mm. Fina matrica (<100 µm) obavija veće agregate nepravilnog, uglavnom angularnog oblika. Mineralna zrna (vjerojatno kvarc i drugi silikati) imaju nepravilne lomne plohe i mat do blago sjajnu površinu. Uočavaju se i svjetliji, djelomično prozirni fragmenti pločaste strukture veličine oko 0,5–2 mm.

Posebno su značajni tanki, vlaknasti elementi tamne i svijetle boje te prozirni, filmoliki fragmenti nepravilnog ruba. Vlakna imaju procijenjenu debljinu manju od 50 µm i duljinu od približno 0,5 do 2 mm. Prozirni listići s glatkom površinom i bez vidljive kristalne strukture također dimenzijski spadaju u kategoriju mikroplastike (<5 mm). S obzirom na dimenzije i morfologiju, nekoliko

opaženih čestica zadovoljava kriterije za potencijalnu mikroplastiku (fragmenti i vlakna u rasponu 0,1–2 mm).

Zaključak

Uzorak H5.4 pokazuje heterogeni sastav s česticama širokog granulometrijskog raspona te prisutnošću antropogenih fragmenata i vlakana koji po veličini i obliku odgovaraju mikroplastici.



Slika 107 Uzorak H5.4 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

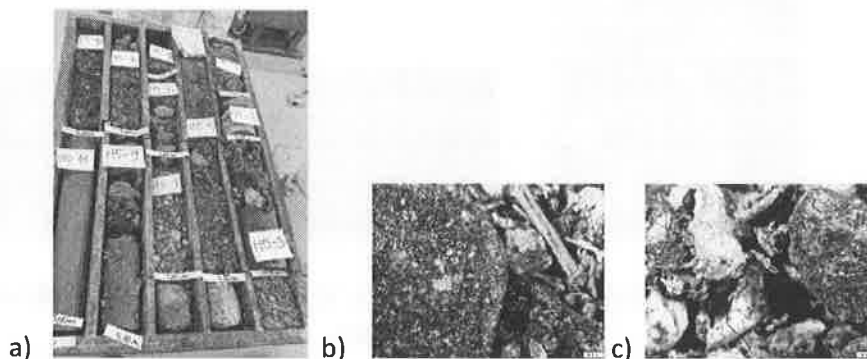
Uzorak H5.6

Makroskopski gledano, sloj H5.6 (Slika 108) karakterizira tamnosiva do smečkasta, relativno zbijena i heterogena masa. Materijal je slabo sortiran, s kombinacijom sitne zemljane matrice i krupnijih fragmenata veličine približno 5–25 mm.

Mikroskopske snimke (Slika 108b i c) pokazuju mineralne fragmente koji dosežu veličine od oko 0,5 do 2 mm. Imaju nepravilne lomne plohe, granularnu teksturu i mat do blago sjajnu površinu, što je tipično za prirodne mineralne čestice. Posebno se ističu svjetliji, pločasti i nepravilni fragmenti glatke površine, bez vidljive kristalne strukture, procijenjene veličine oko 0,3–1,5 mm. Također su prisutna tanka, tamna vlakna debljine manje od 50 µm i duljine do približno 1–2 mm. Takva morfologija (ujednačena debljina vlakana, savitljivost, homogena boja te glatke, blago prozirne pločaste čestice) odgovara tipičnim vizualnim karakteristikama mikroplastike.

Zaključak

Sloj H5.6 pokazuje heterogenu granulometriju i prisutnost čestica koje po dimenzijama (0,3–2 mm) i morfologiji mogu predstavljati mikroplastiku, osobito u obliku vlakana i tankih filmova.



Slika 108 Uzorak H5.6 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

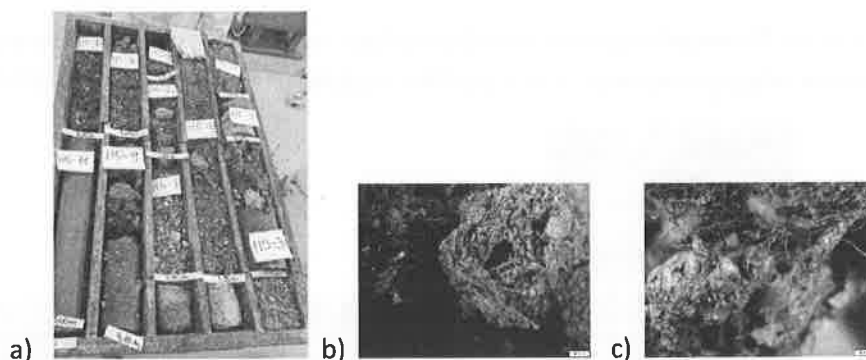
Uzorak H5.8

Makroskopski pregled jezgre (Slika 109a) pokazuje da se radi o heterogenom materijalu otpada sastavljenom od različitih frakcija. Materijal je tamno sive do crne boje, neujednačene granulacije i slabo koherentan. Uočljive su čestice mineralnog podrijetla (pijesak i sitni šljunak), ali i veća količina organskih i vlaknastih komponenti.

Mikroskopske slike (Slika 109b i c) dodatno potvrđuju heterogenu prirodu uzorka. Uočava se mrežasta struktura vlakana. Između vlakana prisutne su sitne mineralne čestice i agregati koji mogu potjecati od građevinskog otpada/jalovine. Također su vidljive tamnije, izdužene ili ovalne čestice koje mogu predstavljati organske fragmente, polimerni materijal ili druge komponente otpada.

Zaključak

Uzorak H5.8 predstavlja heterogeni otpadni materijal koji sadrži udjele polimerne/organske tvari, s mineralnim česticama i druge fragmente otpada.



Slika 109 Uzorak H5.8 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

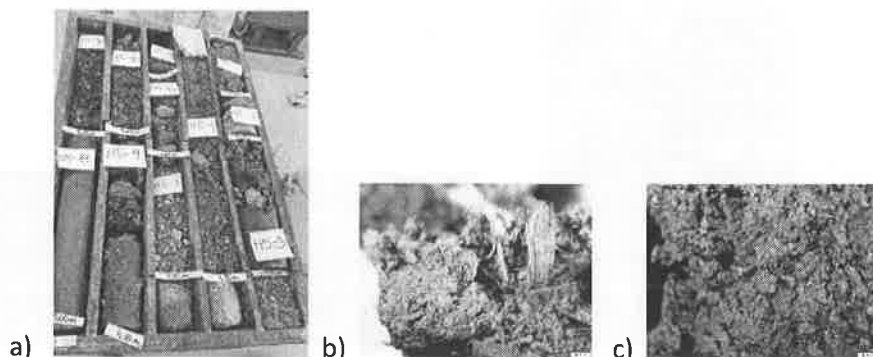
Uzorak H5.9

Makroskopski pregled jezgre (Slika 110a) pokazuje da se radi o heterogenom materijalu otpada sastavljenom od mineralnih čestica različite granulacije te organske komponente. Materijal je pretežno tamnosive do smečkaste boje, s vidljivim fragmentima šljunka, pijeska i agregiranih sitnozrnatih čestica. U strukturi uzorka prisutni su i veći komadi organskih ostataka te vlaknasti fragmenti.

Mikroskopska analiza (Slika 110b i c) pokazuje da uzorak sadrži finozrnatu matricu sastavljenu od mineralnih čestica i organskih agregata. Uočavaju se nepravilni agregati sitnih čestica povezani organskom tvari. Struktura je izrazito mikroporozna, s brojnim međupornim prostorima koji su rezultat razgradnje organskih komponenti i slabe povezanosti mineralnih čestica. Na drugoj mikroskopskoj slici jasno su vidljivi veći vlaknasti fragmenti organskog materijala.

Zaključak

Na temelju provedenog pregleda može se zaključiti da uzorak H5.9 predstavlja heterogeni otpadni materijal koji sadrži kombinaciju mineralnih čestica (pijesak i sitni šljunak) te značajan udio organskih i vlaknastih komponenti.



Slika 110 Uzorak H5.9 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

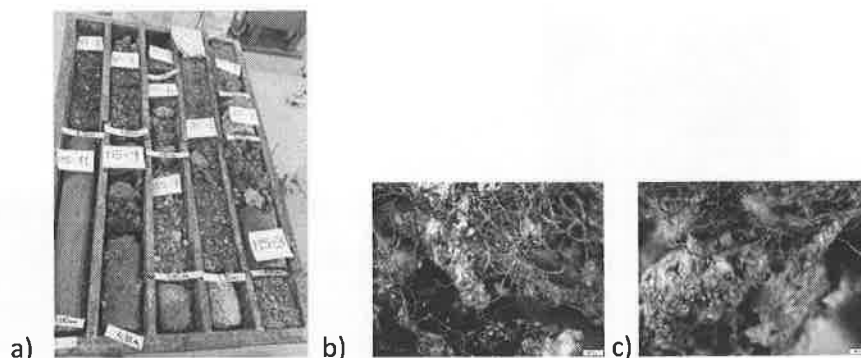
Uzorak H5.10

Makroskopski sloj H5.10 (Slika 111a) pokazuje tamnosmeđ do crnkast, izrazito heterogen materijal s vidljivim organskim ostacima i različitim fragmentima antropogenog porijekla. Struktura je rahla do umjereno zbijena, bez jasne prirodne stratifikacije.

Mikroskopske snimke (Slika 111b i c) otkrivaju vrlo složenu i vlaknastu mikrostrukturu. Dominantna fina frakcija procjenjuje se na <50–200 µm, dok veći agregati dosežu približno 0,5–2 mm. Uočavaju se brojna vlakna različite boje (crna, prozirna, plavkasta, zelenkasta), debljine uglavnom <30–50 µm i duljine od nekoliko stotina mikrometara do oko 2–3 mm. Osim vlakana, vidljivi su i plavkasti te svijetli fragmenti nepravilnog, ali oštro omeđenog oblika, veličine približno 0,5–1,5 mm. Pojedini fragmenti imaju homogenu boju i nemaju vidljivu kristalnu strukturu, što ih razlikuje od mineralnih zrna. Takva morfologija i dimenzije (<5 mm) odgovaraju definiciji mikroplastike (fragmenti i vlakna). S obzirom na brojnost vlakana, njihovu uniformnu debljinu, savitljivost i intenzivne umjetne boje (plava, crna), postoji visoka vjerojatnost prisutnosti mikroplastike.

Zaključak

Sloj H5.10 pokazuje značajnu koncentraciju fragmenata koji dimenzijski ($\approx 0,1\text{--}3$ mm) i oblikom odgovaraju mikroplastici.



Slika 111 Uzorak H5.10 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

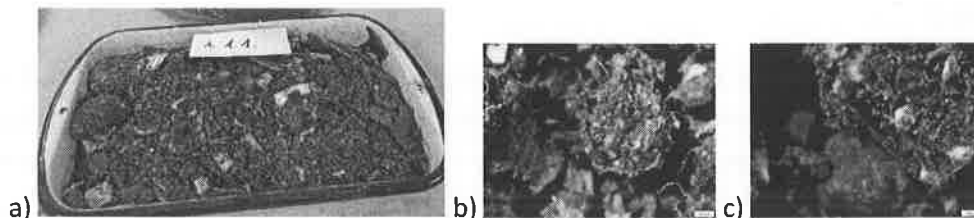
UZORAK I1.1

Na makroskopskoj slici (Slika 112a) vidljiv je heterogeni otpadni materijal sastavljen od sitnozrnatih čestica s uključenim krupnijim fragmentima mineralnog materijala i antropogenih čestica (plastike). Granulacija je izrazito neujednačena, što je tipično za otpadni materijal.

Na mikroskopskim snimkama (Slika 112b i c) uočava se znatno finija struktura: dominiraju čestice veličine približno 50–500 μm , s prisutnim vlaknima i fragmentima nepravilnog oblika. Posebno su uočljive obojene čestice (zelene, crvene) i vlaknasti oblici, koji upućuju na prisutnost mikroplastike. Mikroplastika se javlja u obliku fragmenata i vlakana. Ove čestice su jasno različite od mineralne matrice po boji, teksturi i obliku, što potvrđuje da se radi o antropogenim polimernim materijalima.

Zaključak

Uzorak predstavlja heterogeni otpadni materijal s zrnima širokog raspona veličine, uključujući i čestice mikroplastike.



Slika 112 Uzorak I1.1 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

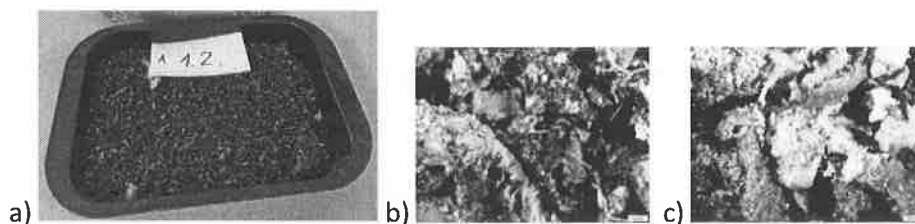
UZORAK I1.2

Na makroskopskoj slici (Slika 113a) prikazan je tamni, sitnozrnat i relativno homogen otpadni material. Dominira frakcija veličine od nekoliko milimetara, uz povremene krupnije inkluzije nešto krupnije plastike. Materijal je mrvičaste structure.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 113b i c) utvrđeno je da se radi o heterogenoj smjesi polimernih fragmenata, sintetskih i obojenih vlakana te drugih materijala različite teksture i boje. Uočeni su nepravilno slomljeni plastični fragmenti, višebojne čestice i tanki vlaknasti elementi koji dominiraju ukupnom morfologijom. U uzorku se nalaze crni i pigmentirani polimerni fragmenti (crveni, zeleni, žuti), nakupine tankih vlakana više boja, metalno obojeni elementi nalik tankim žicama, zgužvani polimerni filmovi te lokalni komadi pjenaste plastike.

Zaključak

Uzorak predstavlja heterogenu smjesu polimernih materijala, sintetskih vlakana i pigmentiranih plastičnih fragmenata od kojih neki po svojoj veličini odgovaraju mikroplastici. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od 1,41 g/cm³ potvrđuje da se radi o otpadu sa snažno prisutnom antropogenom komponentom.



Slika 113 Uzorak I1.2 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

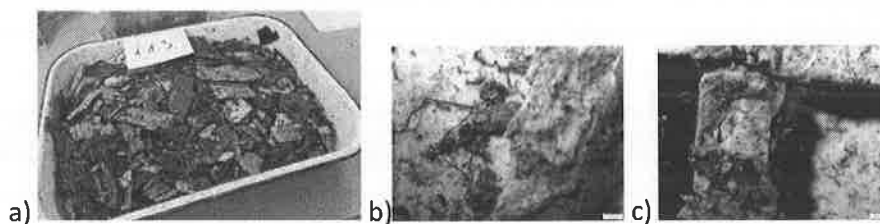
UZORAK I1.3

Na makroskopskoj slici (Slika 114a) prikazan je heterogeni uzorak sastavljen pretežito od krutih, pigmentiranih i mehanički lomljenih plastičnih fragmenata različitih dimenzija i oblika. Fragmenti su angularni, pločasti i nepravilni, često tamnih i sivih tonova. Krupnija zrna građevinskog otpadnog materijala, gume i stakla zastupljena su u manjoj mjeri.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 114b i c) utvrđeno je da uzorak čini veći plastični fragmenti na čijoj se površini nakuplja sekundarna mikroplastika. Bijela polimerna podloga pokazuje oštre lomove, glatki sjaj i tragove mehaničkog oštećenja, dok se na površini nalaze brojne sitne adherirane čestice različite boje i oblika, uključujući angularne mikrofragmente prekrivene mineralnom prašinom te pločaste zelene i smeđe čestice. Uz polimerne fragmente prisutna su i sintetska vlakna – tamne tanke niti ujednačenog promjera i glatke površine, što potvrđuje njihovo sintetsko podrijetlo. Na površini su također prisutne mineralne čestice, zemljana prašina, organski detritus i obojeni mikrofragmenti plastike.

Zaključak

Uzorak predstavlja veće plastične komade, uz prisutnost sintetskih vlakana, pigmentiranih polimernih fragmenata (mikroplastike) i mineralno-organskih čestica. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od $1,34 \text{ g/cm}^3$ potvrđuje da se radi o otpadu sa snažno prisutnom antropogenom komponentom.



Slika 114 Uzorak I1.3 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

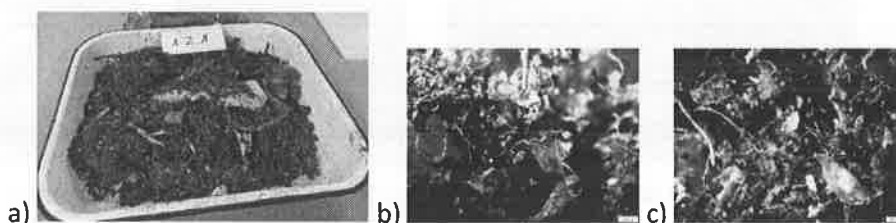
UZORAK I2.1

Na makroskopskoj slici (Slika 115a) prikazan je heterogeni otpadni materijal sitne do srednje granulacije, uz povremene krupnije fragmente plastike. Materijal je tamne boje, mrvičaste i djelomično kohezivne strukture. Vidljive obojene čestice (npr. narančaste i bijele) dodatno potvrđuju prisutnost antropogenih materijala.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 115b i c) utvrđeno je da uzorak čini izrazito heterogena mješavina fragmentirane mikroplastike i sintetskih mikrovlakana. Vidljivi su višebojni angularni i pločasti plastični fragmenti (zelena, crvena, plava, bijela) s hrapavim lomnim ploham te mrežaste nakupine tankih vlakana. Na površini fragmenata nalaze se sitne adhezivne čestice i granularni materijal. Vlaknaste strukture u uzorku imaju ujednačen promjer, glatku površinu i fleksibilnost, uz međusobno zaplitanje vlakana. Uz polimerne fragmente i vlakna prisutni su i tamni degradirani fragmenti, mineralne i organske čestice te višebojni mikrofragmenti plastike, što ukazuje na visok stupanj fragmentacije i miješanja.

Zaključak

Uzorak predstavlja frakciju obrađenog medicinskog otpada, sastavljenu od sintetskih mikrovlakana i fragmentirane plastike/mikroplastike različitih morfologija i boja karakterističnih za medicinske materijale.



Slika 115 Uzorak I2.1 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

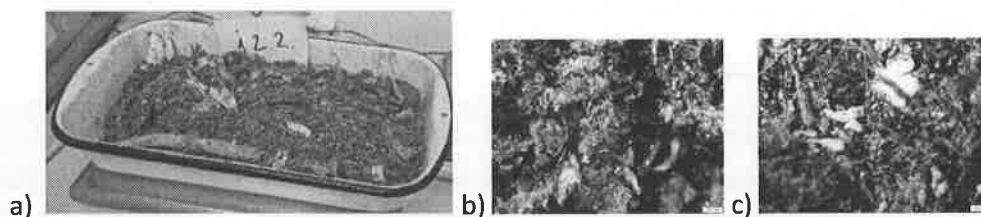
UZORAK I2.2

Na makroskopskoj slici (Slika 116a) prikazan je uzorak koji se sastoji od pretežito sitnozrnate komponente. Ova frakcija sadrži komade degradirane plastike među kojima posebno ističu fragmentirane cjevčice koje se tipično rabe u medicini. Ova frakcija sadrži komponente obrađenog medicinskog otpada. U krupnozrnatoj frakciji uočavaju se plastični (3D) materijali.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 116b i c) utvrđeno je da uzorak najvjerojatnije predstavlja mehanički obrađeni medicinski otpad koji se sastoji od sintetskih mikrovlakana, fragmentirane plastike i tankih folijastih polimera. Dominantni su gusti spletovi vrlo tankih vlakana različitih boja (bijela, prozirna, crna, crvenkasta, siva) te nepravilno lomljeni višebojni plastični fragmenti, uključujući folije tipične za PP/PE medicinske omote. Vidljive su i zgrušane mase vlakana i plastike, što je u skladu s postupkom usitnjavanja i sterilizacijom otpada. Vlakna u uzorku imaju ujednačen promjer, glatku površinu i izraženu fleksibilnost, što je tipično za sintetska mikrovlakna. Uz polimerne komponente uočavaju se i pjenasti bijeli fragmenti te sitne mineralne čestice.

Zaključak

Uzorak predstavlja frakciju obrađenog medicinskog otpada, sastavljenu od sintetskih mikrovlakana i fragmentirane plastike/mikroplastike različitih morfologija i boja karakterističnih za medicinske i ambalažne materijale.



Slika 116 Uzorak I2.2 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 µm

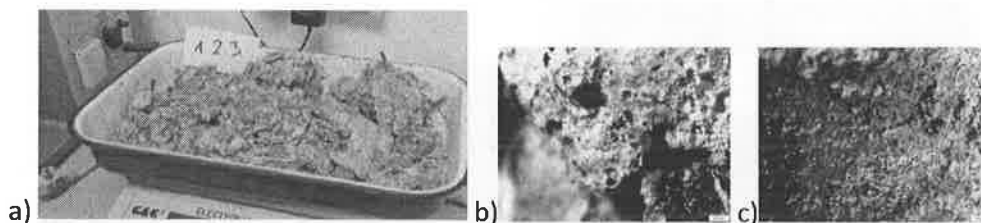
UZORAK I2.3

Na makroskopskoj slici (Slika 117a) prikazan je svijetlosivi do bež material sastavljen od mineralnog (vezivnog) materijala i komponenata antropogenog porijekla (komadi plastike, komadići žice). Vrlo lagan.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 117b i c) utvrđeno je da uzorak čini mineralni vezivni materijal bez vidljive prisutnosti mikroplastike. Uzorak sadrži mikropukotine, poroznost tipičnu za isušene mineralne agregate, te sitna zrnca tla različite granulacije.

Zaključak

Uzorak predstavlja mješavinu vezivnog mineralnog materijala i makroplastike, ali bez vidljivih indikatora prisutnosti mikroplastike na mikroskopskoj snimci. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od $1,89 \text{ g/cm}^3$ dodatno potvrđuje da se radi o otpadu s značajnom količinom antropogene (pretežito polimerne) komponente.



Slika 117 Uzorak I2.3 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu $500 \mu\text{m}$

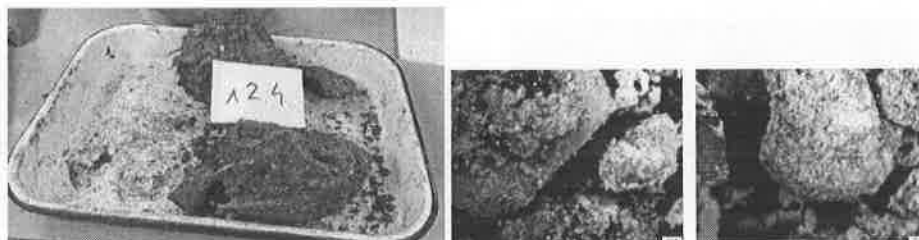
UZORAK I2.4

Na makroskopskoj slici (Slika 118a) prikazan je brečasti materijal sastavljen od mineralnog (vezivnog) materijala i komponenata antropogenog porijekla (komadi plastike, komadići žice). Vrlo lagan.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 118b i c) utvrđeno je da uzorak čini mineralna vezivna matrica unutar koje su lokalno prisutni fragmenti sekundarne mikroplastike. Dominiraju kompaktni mineralni agregati svijetlosmeđih do oker tonova, poroznih i heterogenih površina. Između agregata vidljivi su obojeni plastični fragmenti (zeleni, narančasti).

Zaključak

Uzorak predstavlja mješavinu vezivnog mineralnog materijala i makroplastike, te dodatno sadrži i mikroplastiku. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od $1,89 \text{ g/cm}^3$ dodatno potvrđuje da se radi o otpadu s značajnom količinom antropogene (pretežito polimerne) komponente.



Slika 118 Uzorak I2.4 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

UZORAK I3.1

Na makroskopskoj slici (Slika 119a) prikazan je krupnozrnat, izrazito heterogen otpadni materijal, u obliku deformiranih i mehanički slomljenih fragmenata krute plastike. Sitna frakcija, guma i mineralna komponenta prisutne su u manjoj mjeri.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 119b) nije utvrđena prisutnost mikroplastike (u polju prikaza nisu zabilježene polimerne čestice, folije ni vlakna karakteristična za mikroplastiku).

Zaključak

Uzorak predstavlja mješavinu fragmentirane plastike, ali bez potvrđene prisutnosti mikroplastike. Međutim, utvrđena gustoća čvrstih čestica od $1,63 \text{ g/cm}^3$ potvrđuje da se radi o otpadu s vrlo dominantnom polimernom komponentom.



Slika 119 Uzorak I3.1 – makroskopska slika uzorka; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu $500 \mu\text{m}$

UZORAK I3.2

Makroskopskim pregledom (Slika 120a) vidljivo je jasno prepoznatljiv udio plastike i građevinskog otpada (opeka, keramika, mort). Uzorak predstavlja mješavinu inertnog građevinskog otpada, krupne plastike i sitnozrnate frakcije u kojoj se također mogu uočiti komponente mineralnog i antropogenog porijekla.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 120b i c) nije utvrđena prisutnost mikroplastike (u polju prikaza nisu zabilježene polimerne čestice, folije ni vlakna karakteristična za mikroplastiku).

Zaključak

Uzorak predstavlja mješavinu fragmentirane plastike i građevinskog otpada, ali bez potvrđene prisutnosti mikroplastike. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od $2,25 \text{ g/cm}^3$ potvrđuje da se radi o otpadu s manje dominantnom antropogenom komponentom.



Slika 120 Uzorak I3.2 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

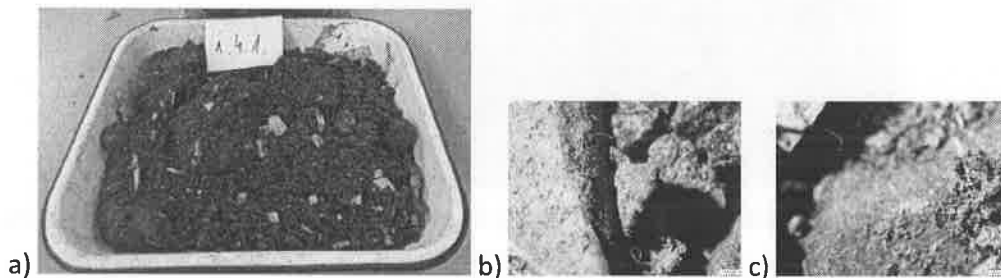
UZORAK I4.1

Na makroskopskoj slici (Slika 121a) uočljiva je mješavina prašinastog materijala mineralnog porijekla i antropogenih komponenata (primarno plastika).

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 121b i c) utvrđeno je da uzorak čini mineralni materijal unutar kojeg su jasno prisutni pigmentirani polimerni fragmenti. Uzorak sadrži i tanka svijetla vlakna koja se pojavljuju sporadično. Uočavaju se prašinate čestice adherirane na plastiku.

Zaključak

Uzorak predstavlja mješavinu mineralne komponente s jasno vidljivim fragmentima plastike. Plastični fragmenti pokazuju angularne lomove, nehomogenu pigmentaciju i površinsku abraziju, što je u skladu s okolišno degradiranim i mehanički fragmentiranim polimernim komadima. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od $1,63 \text{ g/cm}^3$ potvrđuje da se radi o otpadu s značajnim udjelom polimerne komponente. Mikroskopiranjem je utvrđena prisutnost mikroplastike.



Slika 121 Uzorak I4.1 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

UZORAK I5.1

Na makroskopskoj slici (Slika 122a) uočljiva je mješavina prašinastog materijala mineralnog porijekla i antropogenih komponenata (primarno plastika).

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 122b) nije utvrđena prisutnost mikroplastike (u polju prikaza nisu zabilježene polimerne čestice, folije ni vlakna karakteristična za mikroplastiku).

Zaključak

Uzorak predstavlja mješavinu mineralne komponente s jasno vidljivim fragmentima plastike. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od $1,98 \text{ g/cm}^3$ potvrđuje da se radi o otpadu s prisutnom antropogenom komponentom. Mikroskopiranjem nije utvrđena prisutnost mikroplastike.



Slika 122 Uzorak I5.1 – makroskopska slika uzorka; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu $500 \mu\text{m}$

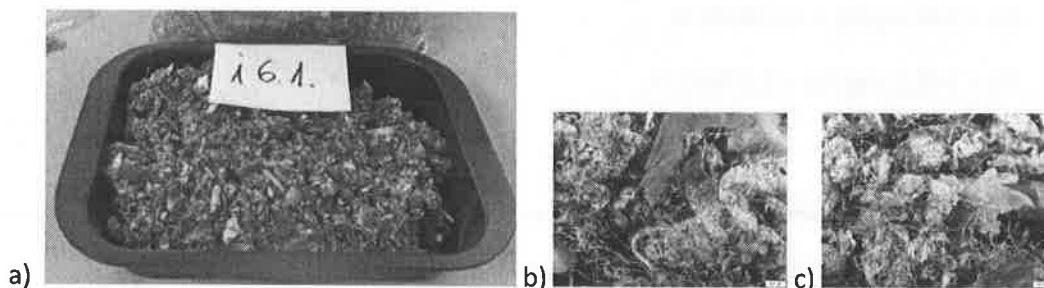
UZORAK I6.1

Uzorak s pretežito sitnozrnatom frakcijom (Slika 123a), vlaknaste strukture. Sitnozrnata frakcija sadrži komade degradirane plastike, tekstilnih vlakana i tankih folijastih polimera. Ova frakcija prema sadržaju odgovara mehanički obrađenom i steriliziranom medicinskom otpadu.

Mikroskopskim pregledom uzorka (Slika 123b i c) utvrđeno je da uzorak sadrži sintetska vlakna i fragmentiranu plastiku. Dominiraju gusti spletovi vrlo tankih vlakana različitih boja (bijela, prozirna, crna, crvenkasta, siva) te nepravilno lomljeni višebojni plastični fragmenti, uključujući folije i deformirane mase vlakana i plastike nastale drobljenjem i sterilizacijom. Vlakna su izrazito brojna, vrlo tanka (1–20 μm), homogena i glatke površine, što upućuje na sintetsko podrijetlo. Uz polimere su prisutni i pjenasti bijeli fragmenti, tamni djelomično karbonizirani polimeri, sitne čestice tla te višebojne polimerne inkluzije.

Zaključak

Uzorak predstavlja obrađeni medicinski otpad, sastavljen od sintetskih mikrovlakana i fragmentirane plastike/mikroplastike različitih morfologija i boja. Utvrđena gustoća čvrstih čestica od 1,41 g/cm^3 potvrđuje da se radi o otpadu sa snažno prisutnom antropogenom komponentom.



Slika 123 Uzorak I6.1 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm

Zaključno

Utvrđeno je da svi uzorci, izuzev uzorka I3.3, sadrže značajne primjese antropogenog podrijetla (pretežito plastike), što je u skladu s izmjerenim vrijednostima gustoće čvrstih čestica. Čestice potencijalne mikroplastike identificirane su u 70% uzoraka. U preostalih 30% uzoraka prisutnost mikroplastike nije utvrđena, no zbog prisutnosti makroplastike u ovim uzorcima i dalje postoji mogućnost nastanka mikroplastičnih fragmenta. Također je utvrđena i prisutnost obrađenog medicinskog otpada.

3.2.3.8 Izračun HP 14 – ekotoksičnost crne hrpe – I i H kompozitni uzorak

Uzorak I i H odnose se na uzorke uzete na tijelu odlagališta, samo različitim metodama. Uzorak I uzet je iz iskopa (veća reprezentativna hrpa), dok je uzorak H uzorak uzet metodom bušenja (promjer bušotine 10 cm) te je relativno manji, ali oba uzorka dolaze iz istog tijela odlagališta.

Uzorak I

Polazne koncentracije:

- $Cu = 9328,5 \text{ mg/kg} = 0,93285 \%$
- $Zn = 909 \text{ mg/kg} = 0,09090 \%$
- $Pb = 748,2 \text{ mg/kg} = 0,07482 \%$

Primjena *cut-off*-a

- $CuO \text{ (H410)} \rightarrow 0,93285 \%$ - ulazi
- $ZnO \text{ (H410)} \rightarrow 0,09090 \%$ - ne ulazi (ispod 0,1 %)
- $PbCO_3 \text{ (H411)} \rightarrow 0,07482 \%$ - ne ulazi (ispod 1,0 %)
- $PbO \text{ (H410)} - 0,07482 \%$ - ne ulazi (ispod 0,1 %)

Račun: $100 \times 0,93285 = 93,285 \%$

Rezultat: $93,285 \% \geq 25 \%$

Zaključak: HP14 = DA

Uzorak H

Polazne koncentracije:

- $\text{Cu} = 7929,1 \text{ mg/kg} = 0,79291 \%$
- $\text{Zn} = 839,5 \text{ mg/kg} = 0,08395 \%$
- $\text{Pb} = 802,2 \text{ mg/kg} = 0,08022 \%$

Primjena *cut-off*-a

- CuO (H410) $\rightarrow 0,79291 \%$ - ulazi
- ZnO (H410) $\rightarrow 0,08395 \%$ - ne ulazi (ispod $0,1 \%$)
- PbCO_3 (H411) $\rightarrow 0,08022 \%$ - ne ulazi (ispod $1,0 \%$)
- PbO (H410) – $0,08022 \%$ - ne ulazi (ispod $0,1 \%$)

Račun: $100 \times 0,79291 = 79,291 \%$

Rezultat: $79,291 \% \geq 25 \%$

Zaključak za H: HP14 = DA

Na temelju izračuna HP14 prema Uredbi (EU) 2017/997 uzorak kompozita I i H pokazuju opasno svojstvo HP14 (ekotoksično) te se mora smatrati opasnim otpadom s obzirom na potencijal i stvarni učinak na vodeni okoliš.

Za kompozitni uzorak I rezultata bioeseja *Daphnia magna* (LID–D) je 2, dok je za kompozitni uzorak H rezultat bioeseja *Daphnia magna* (LID–D) je 1 što u smislu intenziteta ekotoksičnosti odgovara dobivenim vrijednostima HP14 za navedene uzorke.

3.2.4 Konačna karakterizacija

Na temelju cjelokupnog skupa provedenih ispitivanja, uključujući fizikalnu i kemijsku karakterizaciju otpada, testove procjeđivanja ($L/S = 10 \text{ l/kg}$), analizu mikroplastike te utvrđena H-svojstva, moguće je jasno i nedvojbeno odrediti pripadnost otpada pojedinoj kategoriji u smislu važećeg zakonodavnog okvira.

3.2.4.1 Crna hrpa

Crna hrpa predstavlja sekundarno obrađeni tehnogeni otpad u kojem dominira polimerna frakcija u obliku sekundarne mikroplastike. Mikroskopski nalazi potvrđuju mikroplastične



čestice različitih morfologija i veličina (fragmenti/filmovi/vlakna), uz tehničke komponente, što upućuje na porijeklo iz rezidualnih frakcija obrade otpada (MBT/RDF-SRF tokovi) i/ili tehničkih plastika (koje sadrže PET). Uz mikroplastiku su utvrđeni i povišeni teški elementi/metali. Za reprezentativni kompozitni uzorak crne hrpe nedvojbeno je utvrđeno opasno svojstvo HP14 (ekotoksično), potvrđeno i računski i biotestom *Daphnia magna*. Istodobno, rezultati testova procjeđivanja pokazuju povišene koncentracije antimona (Sb) u eluatu, koje prelaze granične vrijednosti za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada. Slijedom navedenog, **crna hrpa se konačno karakterizira kao opasan otpad**, koji se u postojećem stanju mora zbrinjavati isključivo na odlagalištu opasnog otpada, odnosno prethodno obraditi uz dokazivo uklanjanje opasnih svojstava i prekoračenja u eluatu, a energetska uporaba je moguća.

3.2.4.2 Zakopani otpad

Zakopani otpad predstavlja nehomogenu, slojevit masu miješanog otpada, koja uključuje plastično-organske i sitnozrnate tehnogene frakcije te mineralne/građevinske komponente, uz varijabilna energetska svojstva, što potvrđuje da se ne radi o inertnom materijalu. Kemijski nalazi pokazuju prisutnost teških elemenata/metala u krutoj fazi (s lokalno povišenim vrijednostima, osobito za Pb te dodatno Ni/Cr/Cd u pojedinim uzorcima), što upućuje na antropogeni/tehnološki utjecaj i miješanje frakcija. U testovima procjeđivanja **antimon (Sb)** se pojavljuje kao ključni regulatorni parametar, s vrijednostima koje u dijelu uzoraka prelaze graničnu vrijednost za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada, uz lokalno vrlo povišene vrijednosti DOC, što ukazuje na aktivan emisijski potencijal. U pogledu opasnih svojstava, maseno veći I kompozitni uzorak (iskop bagerom) pokazuje prisutno opasno svojstvo HP14. Maseno manji H kompozitni uzorak (bušenje) također pokazuje prisutno opasno svojstvo, ali smanjenog intenziteta.

Usporednom analizom rezultata mikroskopiranja, sortiranja i testova procjeđivanja vidljivo je da je otpad proslojen mineralnim materijalom koji je sadrži antropogene komponente i u testu procjeđivanja evidentira se antimon koji prelazi vrijednosti za odlaganje na odlagalište neopasnog otpada.

Uzimajući u obzir maseno veći I uzorak, povišene teške metale u krutoj fazi i prekoračenja Sb u procjeđivanju, zakopani otpad se konačno karakterizira kao neopasan miješani otpad s lokalno izraženim opasnim svojstvima, koji u postojećem stanju **nije prihvatljiv za odlaganje na odlagalište neopasnog otpada**, već se mora zbrinjavati na **odlagalištu opasnog otpada** i/ili prethodno obraditi i ponovno ispitati sukladno kriterijima.

Tablica 47. Sumarni prikaz rezultata karakterizacija uzoraka iskopa (I) i bušotina (H)

Uzorak	Mikroplastika	Sastav	Element (eluata)	Izmjerena vrijednost	MDK neopasni (mg/kg s.t.)	Indikator antropogenog otpada	Klasifikacija
I1.1	da	plastika + mineralna frakcija	Sb	1,6	0,7	fragmentirana plastika	miješani otpad
I1.2	da	sitnozrnati plastični materijal	Sb	2,0	0,7	homogeni polimeri	plastični tehnogeni otpad
I1.3	da	dominirna plastika	Sb	4,0	0,7	fragmentirani EE polimeri	plastični otpad
I2.1	da	sitna frakcija + folija	Sb	2,1	0,7	polimerna vlakna	medicinski / obrađeni otpad
I2.2	da	sitna frakcija	Sb	1,6	0,7	vlaknasta plastika	miješani otpad
I2.3	ne	homogenizirani granulirani materijal	DOC	819	800	industrijski obrađen materijal	tehnološki obrađen otpad
I2.4	ne	homogenizirani materijal	Sb	1,1	0,7	antropogeni agregat	obrađeni otpad
I3.1	da	plastika + sitna frakcija	Cd	0,5	0,2	polimeri	miješani otpad
I3.2	da	plastika + mineralni agregati	–	<0,07	0,7	plastika	miješani otpad
I3.3	da	građevinski materijal	–	<0,07	0,7	građevinski agregati	inertni materijal
I4.1	tragovi	mineralno-zemljani materijal	Sb	1,4	0,7	plastika u sitnici	miješani otpad
I5.1	ne	zemljani materijal	Sb	1,1	0,7	antropogeni materijal	miješani otpad
I6.1	ne	homogenizirani materijal	DOC	6960	800	organska kontaminacija	tehnološki otpad
H1 (1 m)	ne	mineralni materijal	Sb	0,74	0,7	antropogeni tragovi	miješani materijal
H1 (2 m)	ne	mineralni materijal	Sb	1,1	0,7	antropogeni tragovi	miješani materijal
H1 (3 m)	ne	mineralni materijal	–	0,093	0,7	nema	mineralni sloj
H2 (1 m)	ne	mineralno-organski materijal	Sb	0,74	0,7	antropogeni tragovi	miješani sloj

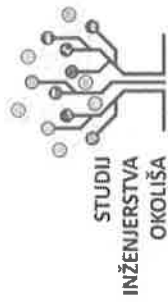
¹⁶ Pravilnik o uvjetima i načinima odlaganja otpada na odlagalište



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



H2 (2 m)	da	plastika + mineralna frakcija	Sb	0,98	0,7	mikroplastika	tehnogeni sloj
H2 (3 m)	da	plastika + mineralna frakcija	Sb	1,9	0,7	mikroplastika	tehnogeni sloj
H3 (1 m)	ne	mineralni materijal	–	0,59	0,7	nema	mineralni sloj
H3 (2 m)	ne	mineralni materijal	–	0,62	0,7	nema	mineralni sloj
H3 (3 m)	ne	mineralni materijal	–	<0,07	0,7	nema	mineralni sloj
H4 (1 m)	ne	mineralni materijal	Sb	0,77	0,7	antropogeni tragovi	miješani sloj
H4 (2 m)	ne	mineralni materijal	Sb	1,1	0,7	antropogeni tragovi	miješani sloj
H4 (3 m)	ne	mineralni materijal	–	0,33	0,7	nema	mineralni sloj
H5 (1 m)	ne	mineralni materijal	–	0,25	0,7	nema	mineralni sloj
H5 (2 m)	ne	mineralni materijal	–	0,40	0,7	nema	mineralni sloj
H5 (3 m)	ne	mineralni materijal	Sb	1,7	0,7	antropogeni tragovi	miješani sloj
H5 (4 m)	ne	mineralni materijal	Sb	3,0	0,7	antropogeni tragovi	miješani sloj
H5 (5 m)	ne	mineralni materijal	–	1,9	0,7	nema	mineralni sloj



3.3 Utjecaj na tlo

Iako se predmetna lokacija prema prostorno-planskoj dokumentaciji nalazi unutar I. zone (izdvojena građevinska/industrijska zona), ista trenutačno nije privedena namjeni te je fizički dostupna. U praksi se takav prostor može koristiti za poljoprivredu, ispašu, boravak ljudi i druge otvorene aktivnosti, sve dok zona ne bude u potpunosti realizirana. Zbog toga se u procjeni stanja tla primjenjuju granične vrijednosti (MDK) za poljoprivredna i prirodna tla, što predstavlja konzervativan i zdravstveno zaštitni pristup, u skladu s europskom praksom upravljanja potencijalno onečišćenim lokacijama. (European Commission, 2014; European Commission, 2023)

Za procjenu stvarnog onečišćenja rezultati su dodatno uspoređeni s prirodnom geokemijskom pozadinom europskih tala, prema *Geochemical Atlas of Europe*. (Salminen et al., 2005; Reimann et al., 2014)

3.3.1 Reakcija tla (pH)

Uzorci tla u kojima je određivana reakcija tla sakupljeni su na različitim funkcionalnim dijelovima na području Gospića: na površini samog odlagališta, uz rub odlagališta, na dvije dijagonale (NW i NNE) u smjeru prevladavajuće čestine vjetrova (1 – 10 – 25 – 50 – 100 – 250 – 500 m udaljenosti od ruba odlagališta), paralelno uz željezničku prugu, na dijagonali okomitoj na željeznički kolodvor (1 – 5 – 15 – 25 – 50 m udaljenosti od željezničke pruge), u vrtovima i na kontrolnim lokacijama.

Rezultati pokazuju sljedeće (Slika 124, Slika 125, Slika 126):

- pH vrijednosti svih uzoraka tla/supstrata kreću se u rasponu od 4,6 do 8,8.
- Na površini i uz rub odlagališta u tlu/supstratu izmjerene su pH vrijednosti u alkalnom području, od 7,3 do čak 8,8. Primjerice najviše vrijednosti izmjerene su u uzorcima 1 (pH 8,8), 3 (pH 8,8) i 6 (pH 8,5).
- pH vrijednosti uz željezničku prugu pokazuju blago alkalnu reakciju i kreću se u rasponu od 7 do 7,3.
- Uzorci tla sakupljeni dalje od odlagališta i pruge, uključujući kontrolne uzorke, pokazuju kiselu reakciju, što odgovara prirodnim pedogenetskim uvjetima toga područja. Primjerice vrijednosti u kontrolnim uzorcima pokazuju kiselu reakciju, uzorak broj 21 (pH 4,7) i 22 (pH 5,2).
- Uzorci tla sakupljeni na dijagonalama od ruba odlagališta u smjeru prevladavajuće čestine vjetrova pokazuju opadajući gradijent pH vrijednosti od alkalnog do kiselog područja, posebice izražen na dijagonali u smjeru NNE: pH = 7,4 (1 m udaljenosti), 5,9 (10 m), 5,8 (25 m), 5,3 (100 m), 5,1 (150 m), 5,0 (250 m), 4,6 (500 m).



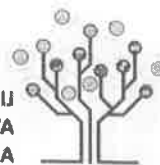
Slika 124 pH vrijednosti izmjerene u tlu (1) – tijelo odlagališta, dijagonale u smjeru čestina vjetrova, paralelno uz željezničku prugu i okomito na željeznički kolodvor



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



Slika 125 pH vrijednosti izmjerene u tlu (2) – paralelno uz željezničku prugu i u vrtovima



Slika 126 pH vrijednosti izmjerene u tlu (3) – kontrolne lokacije

Uzrok visokom pH vrijednostima na površini i uz rub odlagališta upućuje na antropogeno porijeklo te se vjerojatno radi o građevinskom otpadu s udjelom cementnih materijala, čijom hidrolizom nastaje kalcijev hidroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) koji povisuje pH vrijednost (Yousuf et al., 2020) ili pepeo ili troska. Antropogeni utjecaj na povišene pH vrijednosti potvrđuje i usporedba s kontrolnim uzorcima prikupljenim dalje od prometnica i pruge, gdje prevladavaju kiselja tla.

Promjena pH ima ključan utjecaj na mobilnost i bioraspoloživost metala, osobito antimona, kadmija i cinka (Hjelmar et al., 2013; Astrup et al., 2015).

Posljedice promjene pH vrijednosti tla su utjecaj na topljivost, mobilnost i bioraspoloživost teških metala. U kiselim uvjetima ($\text{pH} < 5,5$) teški metali poput Cd, Zn, Ni, Cu, Co i Pb su više mobilni i postoji opasnost od toksičnosti, dok u lužnatim uvjetima ($> 7,5$) pokazuju nisku mobilnost te se vežu za mineralnu i organsku tvar (Adriano, 2001; Alloway, 2013; Neina, 2019). Donekle pogodna okolnost je što je područje najvećeg onečišćenja (površina i rub odlagališta) alkalno, čime se donekle imobilizira većina teških metala i time smanjuje njihova emisija u dublje slojeve i okolna staništa. Međutim, mogu ostati problematični ako su prisutni u sitnoj frakciji otpada (Hjelmar et al., 2013; Astrup et al., 2015). Suprotno tome, u lužnatim uvjetima As, Mo i Sb su mobilniji (Adriano, 2001), što predstavlja opasnost na površini odlagališta i u pojasu oko odlagališta gdje su pH vrijednosti iznad 7.

3.3.2 Teški metali u tlu

Iako se predmetna lokacija prema prostorno-planskoj dokumentaciji nalazi unutar I. zone (izdvojena građevinska/industrijska zona), ista trenutačno nije privedena namjeni te je fizički dostupna. U praksi se takav prostor može koristiti za poljoprivredu, ispašu, boravak ljudi i druge otvorene aktivnosti, sve dok zona ne bude u potpunosti realizirana. Zbog toga se u procjeni stanja tla primjenjuju maksimalno dozvoljene količine (MDK) za poljoprivredna tla prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/2019), jedini je propis u Hrvatskoj koji regulira onečišćenje tla. Budući da on propisuje stroge kriterije za proizvodnju hrane, ove vrijednosti u kontekstu odlagališta otpada treba interpretirati s rezervom. Međutim, to predstavlja konzervativan i zdravstveno zaštitni pristup, u skladu s europskom praksom upravljanja potencijalno onečišćenim lokacijama (European Commission, 2014; European Commission, 2023). Dodatno, za procjenu onečišćenja tla rezultati su uspoređeni s prirodnom geokemijskom pozadinom prema Geokemijskom atlasu Republike Hrvatske (Halamić & Miko, 2009) i prema *Geochemical Atlas of Europe* (Salminen et al., 2005). Nadalje, vrijednosti su uspoređene s *Dutch Target and Intervention Values* (The Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment's, 2000). To je dokument koji definira razinu „intervention values“ iznad kojih je nužna remedijacija tla zbog rizika za zdravlje ljudi i ostali živi svijet. Zbog nedostataka propisa iz područja zaštite tla, osim u Nizozemskoj, često se primjenjuje i u drugim zemljama Europe.

Uzorci tla sakupljeni su na različitim funkcionalnim dijelovima: na površini samog odlagališta, uz rub odlagališta, na dvije dijagonale (NW i NNE) u smjeru prevladavajuće čestine vjetrova (1

– 10 – 25 – 50 – 100 – 250 – 500 m), paralelno uz željezničku prugu, na dijagonali okomitoj na željeznički kolodvor (1 – 5 – 15 – 25 – 50 m), u vrtovima i na kontrolnim lokacijama.

Određivani su sljedeći teški metali (potencijalno toksični elementi): antimon (Sb), arsen (As), bakar (Cu), cink (Zn), kadmij (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), molibden (Mo), nikal (Ni), olovo (Pb) i živa (Hg).

Koncentracije teških metala u tlu određivane su u Nastavnom zavodu za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar u Zagrebu. Za određivanje korištena je akreditirana metoda HRN EN 13657:2008.

Sve izmjerene koncentracije po pojedinim lokalitetima (točkama) uzorkovanja nalaze se prikazane u tablici 42.

Za pet teških metala (Co, Cr, Mo, Ni i Hg) vrijednosti se nalaze ispod MDK, što znači da nije utvrđeno onečišćenje tim teškim metalima, ali izmjerene vrijednosti doprinose ukupnom kemijskom profilu lokacije.

Najveće kontaminacijske faktore pokazuju sljedeći teški metali (poredani od najviših prema nižim vrijednostima): bakar (Cu) (C_f - kontaminacijski faktor iznosi 332), antimon (Sb) (C_f = 305), olovo (Pb) (C_f = 28), cink (Zn) (C_f = 21) i kadmij (Cd) (C_f = 16). Kontaminacijski faktor izračunat je na način da je odabran uzorak tla u kojem je izmjerena maksimalna vrijednost za pojedini teški metal, te je ta vrijednost podijeljena sa srednjom vrijednošću za Hrvatsku (ili Europu ukoliko nedostaju podaci za Hrvatsku) za navedeni teški metal. Prekoračenje MDK vrijednosti zabilježeno je za Cu, Pb, Zn, Cd i As, dok za Sb MDK nije definiran. Prekoračenje „*intervention values*“ utvrđeno je za Cu, Sb, Pb i Zn.

Najveće vrijednosti za šest teških metala (Cu, Sb, Pb, Zn, Cd i As) zabilježene su na površini i uz rub odlagališta otpada, koje višestruko premašuju prirodnu geokemijsku pozadinu odnosno srednje vrijednosti zabilježene prema Geokemijskom atlasu Republike Hrvatske (Halamić & Miko, 2009) i prema *Geochemical Atlas of Europe* (Salminen et al., 2005). Takve koncentracije mogu upućivati na prisutnost tehnogenog materijala, poput plastike, metalnog otpada, elektroničkog otpada, pepela ili industrijskih ostataka.

Na dijagonalnim linijama uzorkovanja, posebice u smjeru NNE, uočen je jasan gradijent smanjenja koncentracija Cu, Sb, Zn i Pb udaljavanjem od ruba odlagališta, što ukazuje na emisiju tih metala na okolne površine. Na primjer gradijent bakra je sljedeći: 1 m udaljenosti – 466 mg kg⁻¹, 10 m – 57 mg kg⁻¹, 25 m – 29 mg kg⁻¹, 100 m – 13 mg kg⁻¹, 150 m – 12 mg kg⁻¹, 250 m – 15 mg kg⁻¹, 500 m – 13 mg kg⁻¹. Na dijagonalnoj liniji NW gradijenti smanjenja koncentracija teških metala su slabije izraženi, što upućuje da su emisije s odlagališta nejednoliko izražene u prostoru.



Uzorci tla izvan zone otpada, uključujući kontrolne uzorke, u najvećem dijelu odgovaraju srednjim vrijednostima koncentracija teških metala za tla Hrvatske i Europe, što upućuje da tlo izvan lokacije odlagališta otpada ne pokazuje obilježja sekundarnog onečišćenja. Jedini izuzetak je kadmij, koji pokazuje lokalno povišene vrijednosti. Uz željezničku prugu vjerojatni uzrok je željeznički promet. Međutim na drugim lokalitetima mogući izvori su korištenje mineralnih gnojiva, pesticida i neki drugi izvori.

U daljnjem tekstu opisani su teški metali za koje su utvrđene povišene koncentracije i to redoslijedom od najviših prema nižim kontaminacijskim faktorima. Radi procjene onečišćenja, rezultati su uspoređeni sa srednjim vrijednostima koncentracija teških metala u tlima Hrvatske (HR) i Europe (EU) (Halamić & Miko, 2009; Salminen et al., 2005):

- bakar: HR – 30, EU - 17,3 mg/kg,
- antimon: HR – n. d., EU - 1,04 mg/kg,
- olovo: HR – 38, EU – 32,6 mg/kg,
- cink: HR – 99, EU – 68,1 mg/kg,
- kadmij: HR – 0,7, EU – 0,284 mg/kg,
- arsen: HR – 13, EU – 11,6 mg/kg.

Bakar (Cu)

Utjecaj na okoliš i ljude

Bakar pokazuje ekstremno visoke koncentracije u zoni otpada, višestruko iznad MDK vrijednosti od 120 mg/kg. Najviše vrijednosti izmjerene su u uzorcima 4 (9.946 mg/kg), 3 (7.162 mg/kg), 9 (3.338 mg/kg) i 11 (3.008 mg/kg). Izvan zone otpada koncentracije bakra su uglavnom < 50 mg/kg, što odgovara prirodnoj pozadini. Prekoračenje MDK vrijednosti zabilježeno je u 13 uzoraka (Slika 127) od toga u 7 uzoraka sakupljenih na površini odlagališta, u 5 uzorka sakupljenih uz rub odlagališta, i u 1 uzorku na 1 m udaljenosti od ruba odlagališta. Nedvojbeno je da je uzrok kontaminacije odloženi otpad. Vrijednosti ukazuju na tehnogeni izvor (metalni, elektronički ili industrijski otpad).



Slika 127 Bakar (Cu) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK - 120 mg kg⁻¹ s.t.

Utjecaj na okoliš i ljude

Bakar se može akumulirati u tlu i sedimentima te migrirati u vodene sustave. U površinskim vodama koncentracije u neonečišćenim uvjetima najčešće su ispod 5 µg/L, dok u područjima industrijskog utjecaja mogu doseći više desetaka µg/L. Povišene koncentracije bakra mogu biti toksične za vodene organizme jer oštećuju škrge riba i narušavaju metaboličke procese kod vodenih beskrjalježnjaka, dok kod biljaka mogu uzrokovati smanjenu fotosintezu i inhibiciju rasta (Kabata-Pendias, 2011).

Iako je bakar esencijalan za ljudski organizam, prekomjerna izloženost može biti štetna. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije maksimalna preporučena koncentracija bakra



u vodi za piće iznosi 2 mg/L. Povišene koncentracije mogu uzrokovati gastrointestinalne smetnje, a dugotrajna izloženost može dovesti do oštećenja jetre i bubrega (WHO, 2011).

Migracijski potencijal: nizak do srednji

Bakar se snažno veže na mineralne i organske čestice tla, osobito u alkalnim uvjetima, ali može pokazivati lokalnu mobilnost ako je prisutan u sitnoj frakciji otpada (Kabata-Pendias, 2011; Alloway, 2013).

Antimon

Antimon je u zoni otpada prisutan u izrazito visokim koncentracijama, npr. u uzorcima 6 (317 mg/kg), 9 (306 mg/kg), 4 (144 mg/kg) i 3 (115 mg/kg) (Slika 128), dok se u prirodnim tlima vrijednosti kreću oko 1 mg/kg. MDK i srednje vrijednosti antimona za Hrvatsku nisu određene. Međutim, ukoliko se usporede najveće izmjerene koncentracije antimona (na površini odlagališta) (uzorak 6 - 317 mg/kg), sa srednjim vrijednostima za tla Europe (1,04 mg/kg), vidljivo je da su koncentracije na odlagalištu 305 puta veće (vrijednost kontaminacijskog faktora). To upućuje na značajno onečišćenje lokacije.



Slika 128 Antimon sve izmjerene vrijednosti u tlu¹⁷

Utjecaj na okoliš i ljude

U okolišu se antimon može akumulirati u tlu i sedimentima te migrirati u površinske i podzemne vode. Njegova mobilnost ovisi o kemijskom obliku i geokemijskim uvjetima poput pH vrijednosti i redoks potencijala. U površinskim vodama koncentracije antimona u neonečišćenim uvjetima obično su ispod 1 µg/L, dok u područjima rudarenja mogu doseći više desetaka µg/L (Chen et al., 2024). Zbog toksičnosti antimon može imati negativan učinak na vodene organizme, osobito plankton i mikroorganizme, pri čemu laboratorijska istraživanja pokazuju da se toksični učinci na vodene organizme mogu pojaviti već pri koncentracijama od 1–5 mg/L u vodi. Antimon se također može usvajati u biljkama putem korijena, gdje može

¹⁷ na slici su označene sve izmjerene vrijednosti Sb u uzorcima, obzirom na to da je ovo element koji se pokazao u testu procjeđivanja, a MDK nisu propisane



uzrokovati smanjenu fotosintezu, oksidativni stres i poremećaje u rastu i razvoju biljaka (Tang et al., 2022).

Za ljudski organizam antimon nije esencijalan element te izloženost povećanim koncentracijama može imati štetne učinke. Glavni putevi izloženosti uključuju inhalaciju prašine u industrijskim uvjetima te unos kontaminirane vode ili hrane. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije, maksimalna preporučena koncentracija antimona u vodi za piće iznosi 20 µg/L (WHO, 2017a). Akutna izloženost može uzrokovati iritaciju kože i dišnih puteva te gastrointestinalne smetnje, dok kronična izloženost može dovesti do respiratornih bolesti, oštećenja jetre i promjena u radu srca. Antimon-trioksid (Sb_2O_3) također je klasificiran kao potencijalno kancerogena tvar za ljude, osobito u uvjetima dugotrajne profesionalne izloženosti (Sundar & Chakravarty, 2010). Zbog navedenih svojstava antimon predstavlja važan element u procjeni onečišćenja tla i voda te zahtijeva kontinuirani monitoring u okolišu.

Migracijski potencijal: povišen

Antimon pokazuje povećanu mobilnost u alkalnim uvjetima i može migrirati u otopljenom obliku (Filella et al., 2002).

Olovo

Najviše koncentracije zabilježene su u uzorcima red. br. 4 (1.051 mg/kg), 9 (746 mg/kg) i 23 (486 mg/kg). Prekoračenje MDK vrijednosti (150 mg/kg) zabilježeno je u 9 uzoraka (Slika 129), od toga u 6 uzoraka sakupljenih na površini odlagališta i u 3 uzorka sakupljena uz rub odlagališta (Slika 129). Nedvojbeno je da je uzrok kontaminacije odloženi otpad. U prirodnom tlu izvan zone otpada koncentracije su uglavnom u rasponu od 19 do 45 mg/kg, u skladu s prirodnom pozadinom.



Slika 129 Olovo (Pb) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 150 mg kg⁻¹.

Utjecaj na okoliš i ljude:

Olovo se u okolišu najčešće akumulira u tlu i sedimentima te može migrirati u površinske i podzemne vode. U neonečišćenim površinskim vodama koncentracije su obično **ispod 5 µg/L**, dok u industrijski opterećenim područjima mogu biti znatno više. Povišene koncentracije olova imaju izražen toksični učinak na vodene organizme i biljke jer ometaju enzimske procese, fotosintezu i rast biljaka te mogu uzrokovati bioakumulaciju u hranidbenom lancu (Alloway, 2013).

Olovo nema biološku funkciju u ljudskom organizmu i smatra se izrazito toksičnim metalom. Izloženost se najčešće događa putem kontaminirane hrane, vode, tla ili inhalacijom prašine.



Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije, maksimalna dopuštena koncentracija olova u vodi za piće iznosi **10 µg/L**. Dugotrajna izloženost može uzrokovati oštećenja živčanog sustava, posebno kod djece, kao i poremećaje u radu bubrega, hematološkog sustava i kardiovaskularnog sustava (WHO, 2017b).

Migracijski potencijal: nizak

Olovo je slabo mobilno u tlu, osobito u neutralnim i alkalnim uvjetima.

Cink (Zn)

Cink pokazuje višestruka prekoračenja MDK vrijednosti od 200 mg/kg, uključujući ekstremnu vrijednost u uzorku 33 (2.100 mg/kg) te povišene koncentracije u uzorcima 23 (661 mg/kg), 6 (656 mg/kg) i 4 (644 mg/kg). Prekoračenje MDK vrijednosti zabilježeno je u 9 uzoraka (Slika 130), od toga u 5 uzoraka sakupljenih na površini odlagališta, u 3 uzorka sakupljena uz rub odlagališta, u 1 uzorku na 1 m udaljenosti od ruba odlagališta. Nedvojbeno je da je uzrok kontaminacije odloženi otpad. Izvan zone otpada koncentracije su uglavnom < 80 mg/kg, što odgovara prirodnoj pozadini (50–90 mg/kg).



Slika 130 Cink (Zn) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 200 mg kg⁻¹.

Utjecaj na okoliš i ljude:

Cink se može akumulirati u tlu i sedimentima te migrirati u vodene sustave. U neonečišćenim površinskim vodama koncentracije su najčešće ispod 10 µg/L, dok u područjima pod utjecajem industrije mogu doseći više desetaka ili stotina µg/L. Povišene koncentracije cinka mogu biti toksične za vodene organizme jer narušavaju enzimske i metaboličke procese te mogu uzrokovati poremećaje u rastu i razvoju biljaka (Alloway, 2013).

Iako je cink esencijalan element za ljudski organizam, prekomjerna izloženost može imati štetne učinke. Glavni put izloženosti je unos putem hrane i vode. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije, preporučena maksimalna koncentracija cinka u vodi za piće iznosi 3 mg/L. Povišene koncentracije mogu uzrokovati gastrointestinalne smetnje poput mučnine i



povraćanja te poremećaje u metabolizmu drugih esencijalnih elemenata poput bakra (WHO, 2017c).

Migracijski potencijal: srednji

Cink je mobilniji od bakra i olova, osobito u kiselijim tlima.

Kadmij (Cd)

Kadmij je u više uzoraka prisutan u koncentracijama koje prelaze MDK vrijednost od 2 mg/kg. Najviše koncentracije zabilježene su u uzorcima 9 (11 mg/kg), 1 (7,4 mg/kg) i 5 (6 mg/kg). Prekoračenje MDK vrijednosti zabilježeno je u 18 uzoraka (Slika 131, Slika 132, Slika 133) od toga u 5 uzoraka sakupljenih na površini odlagališta, u 5 uzorka sakupljena uz rub odlagališta, 4 uzorka uz prugu, ali i na nekoliko drugih lokaliteta (Slika 131, Slika 132, Slika 133). Za razliku od Cu, Sb, Pb i Zn, Cd je osim na i uz rub odlagališta zabilježen u povišenim koncentracijama i na drugim lokacijama, uključujući i kontrolne lokacije.

Za to postoji više mogućih objašnjenja:

- povijesna poljoprivredna aktivnost, osobito primjena fosfatnih mineralnih gnojiva koja prirodno sadrže kadmij,
- dugotrajno difuzno atmosfersko taloženje (industrijske i energetske emisije u regionalnom kontekstu),
- povijesna poljoprivredna aktivnost, osobito primjena fosfatnih mineralnih gnojiva koja prirodno sadrže kadmij,
- geogeni čimbenici i kiselija reakcija tla, koja povećava mjerljivost i bioraspoloživost kadmija,

Važno je naglasiti da ne postoji prostorni gradijent koncentracija kadmija koji bi pokazivao porast prema lokaciji otpada. Najviše koncentracije kadmija jasno su vezane uz zonu zakopanog otpada, dok su vrijednosti u kontrolnim uzorcima ujednačene. To upućuje da kadmij izvan zone otpada može predstavljati pozadinsko ili difuzno opterećenje, a ne sekundarni utjecaj predmetne lokacije.



Slika 131 Kadmij (Cd) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 2 mg kg⁻¹.



Slika 132 Kadmij - lokaliteta uz željezničku prugu - iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 2 mg kg⁻¹.



Slika 133 Kadmij – kontrolni lokalitet - iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 2 mg kg⁻¹.

Utjecaj na okoliš i ljude:

Kadmij se može akumulirati u tlu i sedimentima te relativno lako prelaziti u biljke i vodene sustave. U neonečišćenim površinskim vodama koncentracije su obično ispod 1 µg/L, dok u industrijski opterećenim područjima mogu biti znatno više. Kadmij je izrazito toksičan za vodene organizme, jer može uzrokovati poremećaje u metabolizmu, oštećenja škrge kod riba i



inhibiciju rasta vodenih organizama. Biljke mogu akumulirati kadmij iz tla, što omogućuje njegov prijenos kroz hranidbeni lanac (Alloway, 2013).

Kadmij nema biološku funkciju u ljudskom organizmu i smatra se jednim od najtoksičnijih teških metala. Izloženost se najčešće događa putem kontaminirane hrane, vode ili inhalacijom industrijske prašine. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije maksimalna dopuštena koncentracija kadmija u vodi za piće iznosi 3 $\mu\text{g/L}$. Dugotrajna izloženost može dovesti do oštećenja bubrega, poremećaja metabolizma kalcija i demineralizacije kostiju te je kadmij klasificiran kao kancerogena tvar za ljude (WHO, 2017d).

Migracijski potencijal: srednji do povišen

Arsen

Blago prekoračenje MDK vrijednosti od 30 mg/kg zabilježeno je samo u jednom u uzorku red. br. 11 (32,3 mg/kg). Radi se o uzorku tla uz rub odlagališta. Potencijalni izvor su boje i premazi za drvo. Ostali uzorci, pokazuju vrijednosti u rasponu od <0,5–10 mg/kg, što odgovara prirodnim tlima.

Utjecaj na okoliš i ljude

Arsen se može akumulirati u tlu i sedimentima te migrirati u površinske i podzemne vode. U neonečišćenim površinskim vodama koncentracije su najčešće ispod 1–2 $\mu\text{g/L}$, dok u područjima pod utjecajem rudarenja i geotermalnih izvora mogu doseći više desetaka ili stotina $\mu\text{g/L}$. Arsen je toksičan za vodene organizme i biljke jer narušava enzimske procese i metabolizam te može uzrokovati smanjeni rast i razvoj biljaka. Također se može akumulirati u biljkama i ulaziti u hranidbeni lanac (Alloway, 2013).

Arsen nema biološku funkciju u ljudskom organizmu i smatra se izrazito toksičnim elementom. Izloženost se najčešće događa putem kontaminirane pitke vode, hrane ili inhalacijom prašine. Prema smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije maksimalna dopuštena koncentracija arsena u vodi za piće iznosi 10 $\mu\text{g/L}$. Dugotrajna izloženost može uzrokovati oštećenja kože, jetre i živčanog sustava te povećava rizik od razvoja raka kože, pluća i mokraćnog mjehura (WHO, 2017e).

Migracijski potencijal: srednji

Mobilnost arsena ovisi o pH i redoks uvjetima.



Krom (Cr), nikal (Ni), živa (Hg), molibden (Mo) i kobalt (Co)

Maksimalne izmjerene vrijednosti ovih elemenata ostaju ispod MDK vrijednosti:

- Cr do 81 mg/kg (uzorak 23; MDK 120),
- Ni do 42 mg/kg (uzorak 4; MDK 75),
- Hg do 0,27 mg/kg (uzorak 4; MDK 1,5).

Migracijski potencijal: nizak

Ovi elementi ne pokazuju značajan migracijski potencijal niti predstavljaju dominantan izvor rizika na predmetnoj lokaciji.

Kobalt. Za Co raspon izmjerenih vrijednosti je od 5,2 do 26 mg kg⁻¹ s.t. Prema Pravilniku (NN 71/2019) MDK iznosi 30 mg kg⁻¹ s.t. (pH tla u 1 M otopini KCl-a <5), 50 mg kg⁻¹ s.t. (pH 5-6), 60 mg kg⁻¹ s.t. (pH >6).

Prekoračenje MDK vrijednosti nije zabilježeno.

Krom. Za Cr raspon izmjerenih vrijednosti je od 7,3 do 81 mg kg⁻¹ s.t. Prema Pravilniku (NN 71/2019) MDK iznosi 40 mg kg⁻¹ s.t. (pH tla u 1 M otopini KCl-a <5), 80 mg kg⁻¹ s.t. (pH 5-6), 120 mg kg⁻¹ s.t. (pH >6).

Prekoračenje MDK vrijednosti nije zabilježeno.

Molibden. Za Mo raspon izmjerenih vrijednosti je od <0,5 do 8,4 mg kg⁻¹ s.t. Prema Pravilniku (NN 71/2019) MDK iznosi 15 mg kg⁻¹ s.t. (pH tla u 1 M otopini KCl-a - <5), 15 mg kg⁻¹ s.t. (pH 5-6), 15 mg kg⁻¹ s.t. (pH >6).

Prekoračenje MDK vrijednosti nije zabilježeno.

Nikal. Za Ni raspon izmjerenih vrijednosti je od 13 do 42 mg kg⁻¹ s.t. Prema Pravilniku (NN 71/2019) MDK iznosi 30 mg kg⁻¹ s.t. (pH tla u 1 M otopini KCl-a <5), 50 mg kg⁻¹ s.t. (pH 5-6), 75 mg kg⁻¹ s.t. (pH >6).

Prekoračenje MDK vrijednosti nije zabilježeno.

Živa. Za Hg raspon izmjerenih vrijednosti je od 0,015 do 0,27 mg kg⁻¹ s.t. Prema Pravilniku (NN 71/2019) MDK iznosi 0,5 mg kg⁻¹ s.t. (pH tla u 1 M otopini KCl-a - <5), 1 mg kg⁻¹ s.t. (pH 5-6), 1,5 mg kg⁻¹ s.t. (pH >6).

Prekoračenje MDK vrijednosti nije zabilježeno.

3.3.3 Zaključak

Zaključno, najveće onečišćenje pokazuju sljedeći teški metali: Cu (ekstremno visoke vrijednosti), Zn, Pb i Cd. Iako su teški metali prirodno prisutni u tlu do određenih pozadinskih koncentracija (Halamić i Miko, 2009), njihove povišene vrijednosti najčešće su posljedica antropogenog utjecaja. U ovom istraživanju, visoke koncentracije Cu, Zn, Pb, Cd te u jednom uzorku As, izravno su povezane s odloženim otpadom na odlagalištu u Gospiću.

Analizom pojedinih funkcionalnih površina, najveće vrijednosti navedenih metala, s prekoračenim maksimalno dopuštenim koncentracijama (MDK), zabilježene su na samoj površini i uz rub odlagališta. Na dijagonalnim linijama uzorkovanja, posebice u smjeru NNE, uočen je jasan gradijent smanjenja koncentracija Cu i Zn udaljavanjem od ruba odlagališta, što ukazuje na emisiju tih metala na okolne površine. Na dijagonalnoj liniji NW taj je gradijent slabije izražen.

Uz analizu metala, određene su i pH vrijednosti (u 1 M KCl) prema standardu HRN ISO 10390:2022. Rezultati potvrđuju da je odloženi otpad značajno utjecao na kiselost supstrata. Na površini i rubovima odlagališta izmjerene su alkalne vrijednosti (pH 7,3 – 8,8). Uzrok visokom pH vrijednostima vjerojatno je građevinski otpad s udjelom cementnih materijala, čijom hidrolizom nastaje kalcijev hidroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) koji povisuje pH vrijednost (Yousuf et al., 2020). Antropogeni utjecaj potvrđuje i usporedba s kontrolnim uzorcima prikupljenim dalje od prometnica i pruge, gdje prevladavaju kisela tla. Utjecaj odlagališta na okolne površine vidljiv je i kroz opadajući gradijent pH vrijednosti (npr. u smjeru NNE: 7,4 – 5,9 – 5,8 – 5,3 – 5,1 – 5,0 – 4,6), što ukazuje na domet utjecaja odlagališta u određenom radijusu.

pH vrijednost izravno određuje topivost i bioraspoloživost metala. Dok su u kiselim tlima (pH < 6) metali poput Cd i Zn izrazito mobilni i toksični, u alkalnim uvjetima (pH > 7,5) oni se vežu za mineralnu i organsku tvar (Alloway, 2013; Neina, 2019). Pogodna je okolnost što je područje najvećeg onečišćenja (površina i rub odlagališta) alkalno, čime se donekle imobiliziraju metali i smanjuje njihova emisija u dublje slojeve ili okolna staništa.

Na temelju kemijskih svojstava tla, usporedbe s MDK vrijednostima i prirodnom geokemijskom pozadinom može se zaključiti da:

- Tlo na području zakopanog otpada pokazuje izraženo onečišćenje u usporedbi s MDK i prirodnim geokemijskim parametrima (EU i RH usporedba)
- zakopani otpad i crne hrpe **mogu uzrokovati lokalizirano, ali izraženo onečišćenje tla**



- onečišćenje površine i ruba odlagališta utvrđeno je za šest teških metala (Cu, Sb, Pb, Zn, Cd i As) s time da najveće onečišćenje pokazuju Cu i Sb,
- za Cu, Sb, Zn i Pb utvrđene su emisije na okolno tlo do udaljenosti od oko 50 -100 m (emisije su nejednoliko izražene u prostoru), dok prirodno tlo na udaljenostima većim od 100 m od odlagališta otpada **ne pokazuje obilježja sekundarnog onečišćenja**
- kadmij u kontrolnom uzorku i uzorcima sakupljenim dalje od odlagališta **može potjecati iz drugih antropogenih ili prirodnih izvora**, a ne nužno utjecaja odlagališta
- odlaganje otpada utjecalo je na promjenu pH vrijednosti tla/supstrata, na način da su na površini odlagališta otpada zabilježene alkalne vrijednosti, a utjecaj je vidljiv i na okolna tla na način da se pH vrijednosti smanjuju udaljavanjem od odlagališta, zona utjecaja je do 250 – 500 m,
- zbog dostupnosti prostora ljudima opravdano je primjenjivati **konzervativne kriterije zaštite tla** (European Commission, 2023).

3.3.4 Utjecaj otpada na tlo

Tablica 48. Utjecaj otpada na tlo

Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Mikroplastika u tlu	3 utjecaj rasprostranjen u krugu od 200 - 500 m	5 nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	4 Značajno prekoračenje vrijednosti jednog parametra u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici)
	Mikroplastika je utvrđena na lokaciji i u tijelu odlagališta, osobito u neposrednom okruženju crnih hrpa i na površinama gdje je otpad bio rasut ili mehanički izmiješan s tlom. U znanstvenoj literaturi dokazano je da se mikroplastika prostire na području do 200 m udaljenosti od odlagališta, a zatim linearno s udaljenošću koncentracija se smanjuje. Tek nakon 1500 m više nije detektabilna. Slijedom navedenog smatra se u najboljem slučaju da je utjecaj mikroplastike rasprostranjen u krugu od 200-500 m od odlagališta.	Mikroplastika u tlu predstavlja nepovratnu promjenu. Ne postoje prirodni ni tehnički procesi koji omogućuju njezino uklanjanje iz tla bez potpunog uklanjanja samog tla. Mikroplastika se ne razgrađuje u pedološkom vremenskom okviru, ne može se selektivno izdvojiti te ostaje trajno prisutna u tlu, mijenjajući njegova fizikalna, kemijska i biološka svojstva. Uklanjanje tla ne može se smatrati sanacijom, već gubitkom tla kao resursa.	Iako za mikroplastiku ne postoje zakonske granične vrijednosti, njezina količina i morfologija (sitnoznata sekundarna mikroplastika, velika specifična površina) ukazuju na značajan funkcionalni utjecaj na tlo. Primijenjena je stručna procjena utemeljena na znanstvenim spoznajama, pri čemu se mikroplastika smatra nepripadajućim onečišćivačem tla s dugoročnim posljedicama.
Antimon (Sb)	2	5	4



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR-42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	Značajno prekoračenje vrijednosti jednog parametra u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici
Temeljem rezultata ispitivanja tla utvrđeno je da je rasprostranjenost antimona (Sb) prostorno ograničena i jasno vezana uz odlagalište otpada. Najizraženiji utjecaj zabilježen je u zoni do približno 10 m od ruba odlagališta, na površinama izravnog kontakta otpada i tla te sekundarnog rasprostiranja sitnozrnate frakcije, gdje su izmjerene koncentracije Sb koje odstupaju od prirodne geokemijske pozadine. U pojasu od približno 10 do 30 m od izvora antimon je i dalje mjerljiv u tlu, ali u nižim koncentracijama, što upućuje na umjereni utjecaj povezan s disperzijom finih čestica otpada. Na udaljenostima od približno 30 do 50 m koncentracije Sb se približavaju pozadinskim vrijednostima, bez konzistentnog prostornog obrasca, dok su na udaljenostima većim od približno 50 m utvrđene isključivo vrijednosti koje odgovaraju prirodnoj pozadini, bez dokaza o utjecaju odlagališta. Slijedom	Antimon se u tlu ponaša kao dugoročno postojan element. Ne postoji realna sanacijska mjera kojom bi se antimon uklonio iz tla bez njegove fizičke eliminacije. Promjena kemijskog oblika (specijacija) ne znači uklanjanje iz sustava tla. U uvjetima utvrđenog pH-a i prisutnosti fine frakcije i mikroplastike, antimon ostaje trajno vezan ili redistribuiran unutar tla.	Rezultati ispitivanja tla pokazuju izrazito povišene koncentracije antimona (Sb) u zoni utjecaja odlagališta u odnosu na prirodno tlo. U uzorcima tla iz zone zakopanog otpada i neposrednog kontakta s crnim hrpama izmjerene su koncentracije Sb od 115 do 317 mg/kg s.t., dok su u širem utjecajnom pojasu utvrđene vrijednosti od 47,7 do 52,5 mg/kg s.t.. Navedene koncentracije višestruko premašuju prirodnu geokemijsku pozadinu tla, koja za antimon iznosi približno 0,3–1,5 mg/kg s.t., i to za desetke do više od tisuću puta, ovisno o uzorku. Suprotno tome, u kontrolnim i udaljenijim uzorcima tla izmjerene su koncentracije Sb u rasponu pozadinskih vrijednosti, bez prostorne povezanosti s odlagalištem. Takav prostorni obrazac i omjeri koncentracija isključuju prirodnu varijabilnost tla te nedvojbeno upućuju na lokalni antropogeni izvor antimona povezan s

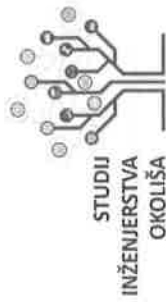
	navedenog, obuhvat rasprostranjenosti utjecaja antimona u tlu ograničen je na zonu do približno 50 m od ruba odlagališta, s jasno izraženim gradijentom opadanja koncentracija s povećanjem udaljenosti od izvora.			odlagalištem otpada, pri čemu se intenzitet onečišćenja smanjuje s udaljenošću od izvora, ali u zoni utjecaja predstavlja značajno i dugotrajno opterećenje tla.
Bakar (Cu)	2	5	4	
	utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	Značajno prekoračenje vrijednosti jednog parametra u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici	
	Povišene koncentracije bakra u tlu utvrđene su prvenstveno u zoni zakopanog otpada i neposrednoj okolini crnih hrpa, dok se s povećanjem udaljenosti od odlagališta koncentracije smanjuju i prelaze u raspon prirodne geokemijske pozadine. Na primjer, gradijent na dijagonalnoj liniji uzorkovanja u smjeru NNE je sljedeći: 1 m udaljenosti – 466 mg kg ⁻¹ , 10 m – 57 mg kg ⁻¹ , 25 m – 29 mg kg ⁻¹ , 100 m – 13 mg kg ⁻¹ , 150 m – 12 mg kg ⁻¹ , 250 m – 15 mg kg ⁻¹ , 500 m – 13 mg kg ⁻¹ . Na dijagonalnoj liniji NW gradijent smanjenja Cu je slabije izražen, što upućuje da su emisije s	Bakar se u tlu snažno veže na mineralnu i organsku frakciju, osobito u neutralnim i alkalnim uvjetima kakvi su utvrđeni u zoni otpada. Iako se s vremenom može smanjiti njegova bioraspoloživost, bakar ne nestaje iz tla, već ostaje trajno prisutan u krutoj fazi. Ne postoji realna sanacijska mjera kojom bi se bakar uklonio iz tla bez fizičkog uklanjanja kontaminiranog tla. Stoga se oporavak tla u pogledu bakra smatra dugotrajnom štetom.	U zoni zakopanog otpada izmjerene su izrazito visoke koncentracije bakra, koje višestruko premašuju prirodnu geokemijsku pozadinu. Primjerice, u pojedinim uzorcima tla koncentracije Cu dosežu 9.946 mg/kg, 7.162 mg/kg, 3.338 mg/kg, 3.008 mg/kg, dok prirodne koncentracije bakra u tlima iznose 30 mg/kg, a MDK za poljoprivredno tlo je <120 mg/kg. Time izmjerene vrijednosti premašuju prirodnu pozadinu za više od tristo puta, a u 13 uzoraka prelaze i MDK vrijednost od 120 mg/kg za tlo. U širem pojasu izvan zone	



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR-42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



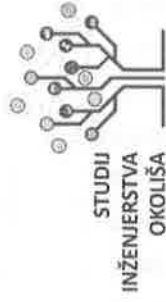
	odlagališta nejednoliko izražene u prostoru. Vrijednosti na udaljenostima od 50 m i većim odgovaraju prirodnoj pozadini. Slijedom navedenog, emisije Cu s odlagališta na okolne površine ograničene su približno na zonu od 30 do 50 m od ruba odlagališta, s jasno izraženim gradijentom opadanja koncentracija s povećanjem udaljenosti od izvora.		otpada koncentracije Cu se smanjuju i približavaju pozadinskim vrijednostima.
Cink (Zn) i olovo (Pb)	2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	5 nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	4 Značajno prekoračenje vrijednosti jednog parametra u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici)
	Povišene koncentracije cinka i olova u tlu utvrđene su prvenstveno u zoni zakopanog otpada i neposrednoj okolici crnih hrpa, dok se s povećanjem udaljenosti od odlagališta bilježi postupno smanjenje koncentracija. Izvan utjecajne zone koncentracije Zn i Pb u tlu uglavnom odgovaraju prirodnoj geokemijskoj pozadini, što upućuje na lokalizirani karakter utjecaja, bez dokaza o regionalnom rasprostranju (do 50 m).	Cink i olovo se u tlu vežu na mineralnu i organsku frakciju, pri čemu olovo pokazuje izrazito nizak migracijski potencijal, dok je cink umjereno mobilan, osobito u kiselim uvjetima. U uvjetima neutralnog do alkalnog pH-a, kakvi su utvrđeni u zoni otpada, oba elementa se stabiliziraju u tlu, ali ostaju trajno prisutni. Potpuni oporavak tla bez fizičkog uklanjanja kontaminiranog materijala nije	U zoni zakopanog otpada izmjerene su izrazito povišene koncentracije cinka i olova. Za cink su utvrđene vrijednosti do 2.100 mg/kg (npr. uzorak 33), kao i 661 mg/kg, 656 mg/kg i 644 mg/kg u drugim uzorcima, dok prirodna pozadina iznosi 99 mg/kg, a MDK vrijednost 200 mg/kg. Za olovo su izmjerene koncentracije do 1.051 mg/kg, 746 mg/kg i 486 mg/kg s.t., u usporedbi s prirodnom pozadinom od 38 mg/kg i MDK vrijednošću



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



			realno izvediv, a sanacija bi bila dugotrajna i ostavila bi rezidualne učinke.	150 mg/kg. Time su u više uzoraka oba elementa višestruko iznad prirodne pozadine i zakonskih graničnih vrijednosti, što ukazuje na značajno lokalno opterećenje tla. U širem pojasu izvan zone otpada koncentracije Zn i Pb se smanjuju i u većini uzoraka ostaju unutar raspona prirodne pozadine, što potvrđuje prostorni gradijent u odnosu na izvor.
Tlo	2 m	utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	5 nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	5 Značajno prekoračenje vrijednosti više parametara u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici).

3.4 Utjecaj na floru i faunu

3.4.1 Utjecaj odloženog otpada na floru

Analiza vegetacije provedena je na uzorcima smreke (*Picea abies*), maslačka (*Taraxacum officinale*) i kupusa (*Brassica oleracea*) radi procjene mogućeg prijenosa teških metala iz tla u biljni materijal na istraživanim lokacijama. Ove vrste u literaturi se često koriste kao bioindikatori okolišnih uvjeta, pri čemu maslačak primarno reflektira kemijski sastav tla zbog razvijenog korijenskog sustava, dok smreka može akumulirati metale iz tla, ali i iz atmosferskog taloženja na površini iglica (Kabata-Pendias, 2011; Rautio et al., 2010). Smreka je uzeta uz rubove odlagališta otpada gdje je uočeno je sušenje stabala smreke, stoga su sakupljeni uzorci kako bi se utvrdilo da li se u tkivima nalaze povećane koncentracije teških metala što bi se eventualno moglo povezati s uzrocima sušenja. Maslačak je uzet uz prugu (nije nađen na tijelu odlagališta niti neposredno uz rub odlagališta), a inače je jedna od najčešćih samoniklih biljaka u kojoj se istražuje akumulacija teških metala, ujedno vrlo česta zeljasta biljna vrsta na travnjačkim i ruderalnim staništima. Kupus je uzet kao uzorak jer je jedna od često uzgajanih vrsta na području Like.

Radi utvrđivanja potencijala akumulacije teških metala od strane tri ispitivane biljne vrste izračunati su bio-koncentracijski faktori (BCF) koji predstavljaju odnos koncentracija teških metala u uzorcima biljaka i pripadajućim uzorcima tla (Ali et al., 2013). Ukoliko je vrijednost $BCF > 1$ smatra se da se radi o značajnoj akumulaciji teških metala i takve biljke se nazivaju hiperakumulatorima.

Smreka

Sakupljena su četiri uzorka smreke (*Picea abies*) uz rub odlagališta i jedan kontrolni uzorak, i to drvenasti dijelovi (grane promjera 2-3 cm). U uzorcima smreke izmjerene su niske i relativno ujednačene koncentracije metala: za antimon (Sb) 0,28–0,34 mg/kg, arsen (As) <0,5–0,6 mg/kg, bakar (Cu) < 9 mg/kg, cink (Zn) <15–43 mg/kg, kadmij (Cd) <0,5 mg/kg, kobalt <5–5,5 mg/kg, krom (Cr) <3 mg/kg, molibden <0,5 mg/kg, nikal (Ni) <5 mg/kg, olovo (Pb) <10 mg/kg te živu <0,1 mg/kg s.t. Uzorci smreke povezani su s uzorcima tla s istih lokacija. Primjerice, uzorak smreke pod red. br. 41 odgovara uzorku tla pod red. br. 9, u kojem su izmjerene koncentracije Cu 3338 mg/kg i Zn 530 mg/kg, dok su u uzorcima smreke s iste lokacije izmjerene vrijednosti Cu <9 mg/kg i Zn 34 mg/kg. Uzorak smreke red. br. 42 povezan je s uzorkom tla red. br. 10, u kojem su izmjerene koncentracije L 11 Cu 136 mg/kg i Zn 11 mg/kg,



dok su u uzorku smreke izmjerene niže koncentracije Cu <9 mg/kg i Zn 15 mg/kg. Slično, uzorak smreke red. br. 43 odgovara uzorku tla red. br. 11 u kojem su izmjerene koncentracije Cu 3008 mg/kg i Zn 339 mg/kg, dok su u uzorku smreke izmjerene koncentracije Cu <9 mg/kg i Zn 43 mg/kg. Takav odnos, pri kojem su koncentracije metala u biljci niže nego u tlu, predstavlja uobičajen obrazac jer se samo dio teških metala prisutnih u supstratu prenosi u biljno tkivo. Takav odnos jasnije pokazuju biokoncentracijski faktori, koji za većinu teških metala u uzorcima smreke pokazuju vrijednosti < 1, osim u jednom uzorku i to za cink gdje je vrijednost > 1 (1,36), prema čemu smreka ne pripada u hiperakumulatore teških metala.

Usporedba s literaturnim vrijednostima dodatno potvrđuje da koncentracije izmjerene u smreci ne ukazuju na povećanu akumulaciju metala. U prirodnim šumskim ekosustavima koncentracije cinka u smreci najčešće se kreću između 40 i 80 mg/kg, dok koncentracije bakra iznose približno 7–26 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011; Nechita et al., 2025). U literaturi se također navodi da je sadržaj antimona u iglicama smreke u prirodnim, neonečišćenim područjima obično vrlo nizak, najčešće oko 0,01–0,1 mg/kg suhe tvari, dok su u ovom istraživanju izmjerene koncentracije 0,28–0,34 mg/kg, što je nešto više od tipičnih pozadinskih vrijednosti, ali i dalje višestruko niže od razina koje se povezuju s izraženim industrijskim ili rudarskim opterećenjem okoliša (Kabata-Pendias, 2011; Murciego et al., 2007).

Usporedba s literaturnim vrijednostima pokazuje da se koncentracije teških metala izmjerene u uzorcima smreke uglavnom kreću u rasponu sličnih vrijednosti kao u okviru ovoga projekta.

Problem je prema Tschan-u (2009) što biljke mogu akumulirati vrlo visoke koncentracije antimona, a da je toksičnost vrlo niska. Feng et al. (2011) sugeriraju da je tolerantna koncentracija Sb u biljkama 5 mg/kg, dok je štetna ili toksična 5–10 mg/kg. Biljke akumuliraju jedan dio biodostupnog antimona i prenose putem hranidbene mreže na ostale organizme. Treba također uzeti u obzir da su kora i iglice smreke stalno izložene atmosferskom taloženju čestica prašine na njihovoj površini. U blizini odlagališta takva prašina može sadržavati teške metale iz tijela odlagališta ili površinskih naslaga otpada. Zbog toga dio izmjerenih koncentracija metala u uzorcima smreke može potjecati i od depozicije prašine s površine odlagališta, a ne isključivo od usvajanja elemenata putem korijena iz tla. Međutim, usporedba uzoraka uz rub odlagališta s kontrolnim uzorkom smreke ne pokazuje veće koncentracije teških metala bliže odlagalištu, što upućuje na izostanak jasnog prostornog gradijenta metalnog opterećenja u smreki.

Sakupljena su četiri uzorka maslačka, tri uz željezničku prugu i jedan na kontrolnoj lokaciji. Koncentracije teških metala u uzorcima maslačka su sljedeće: za antimon 0,85–4,71 mg/kg, arsen <0,5–0,65 mg/kg, bakar <9–17 mg/kg, cink 15–64 mg/kg, kadmij < 0,5 mg/kg, kobalt <0,5–7,4 mg/kg, krom < 3 mg/kg, molibden 0,7–8,4, nikal <5 mg/kg, olovo <10 mg/kg i živu < 0,1 mg/kg. Za razliku od smreke, maslačak (*Taraxacum officinale*) pokazuje svojstva hiper-



akumulacije sljedećih teških metala: antimona ($BCF=1,05-3,96$), cinka ($1,19-1,33$), molibdena ($6-8$) i samo u jednom uzorku žive (2). Time je dokazan prijenos povećanih koncentracija teških metala iz tla u biljke te dalje u hranidbenu mrežu. Za razliku od smreke, maslačak (*Taraxacum officinale*) zbog razvijenog korijenskog sustava često pokazuje izraženiju povezanost s geokemijskim sastavom tla te se u literaturi smatra dobrom indikatorskom vrstom za procjenu raspodjele metala u tlu (Kabata-Pendias, 2011; Murciego et al., 2007).

Usporedba koncentracija između tla i maslačka pokazuje da koncentracije pojedinih elemenata u biljci u pravilu prate koncentracije u tlu, osobito za Sb, Zn i Cu, što upućuje na korelaciju između geokemijskog sastava tla i sadržaja metala u biljci.

Dodatno, kao i kod svih biljaka treba uzeti u obzir i prašinu (u kojoj se mogu nalaziti teški metali), a koja se istaloži na površini listova (Stančić et al. 2022), a koja se također može dalje prenositi kroz hranidbenu mrežu.

Dodatno je uzorkovan jedan uzorak kupusa (*Brassica oleracea*) u vrtu u Bilajskoj ulici, pri čemu je na istoj lokaciji uzet i uzorak tla. U kupusu su koncentracije većine analiziranih metala bile vrlo niske ili ispod granica kvantifikacije: antimon $0,3$ mg/kg, arsen $<0,5$ mg/kg, bakar <9 mg/kg, cink <15 mg/kg, kadmij $<0,5$ mg/kg, kobalt <5 mg/kg, krom <3 mg/kg, molibden $<0,5$ mg/kg, nikal <5 mg/kg, olovo <10 mg/kg i živa $<0,1$ mg/kg.

Usporedba s literaturom (Kabata-Pendias & Pendias, 2001) pokazuje sljedeće: za antimon Sb koncentracije u jestivim biljkama kraću se od $0,02$ do $4,3$ $\mu\text{g/kg}$ svježe tvari (ili $0,00002 - 0,0043$ mg/kg) s kupusom u gornjem rasponu, dovoljne ili normalne koncentracije u listovima biljaka su oko $7-50$ mg/kg s.t. (ppm), a prekomjerne ili toksične koncentracije 150 mg/kg s.t. (ppm) i više; arsen u kupusu $0,02-0,05$ mg/kg s.t. ($20-50$ ppb s.t.); bakar u kupusu $2,9-4$ mg/kg s.t. (ppm); cink u kupusu $24-31$ mg/kg s.t. (ppm); kadmij u kupusu $0,05$ mg/kg s.t. (ppm), a na jako kontaminiranom tlu $1,1 - 3,8$ mg/kg s.t. pa čak do 130 mg/kg s.t.; kobalt u kupusu $0,1-0,16$ mg/kg s.t.; molibden u kupusu $0,85$ mg/kg s.t., a na kontaminiranom tlu čak do 1061 mg/kg s.t.; nikal u kupusu $0,62-0,99$ mg/kg s.t.; olovo u kupusu $1,7-2,3$ mg/kg s.t.; živu u kupusu $0,0065$ mg/kg s.t. Usporedba pokazuje da su vrijednosti u okviru normalnih koncentracija. Dodatno, vrijednosti biokoncentracijskih faktora za sve ispitivane teške metale su <1 , što pokazuje da kupus ne akumulira značajne količine teških metala.

Važno je istaknuti da iako su u literaturi kupusnjače (botanička porodica pod nazivom *Brassicaceae*) najbolji poznati hiperakumulatori teških metala (Rascio et al., F. 2011), uzorak kupusa nije pokazao visoke koncentracije teških metala, pa čak ni za kadmij koji je u pripadajućem uzorku tla izmjeren iznad MDK vrijednosti (2 mg/kg). U kupusu su koncentracije većine analiziranih metala bile vrlo niske ili ispod granica kvantifikacije, što upućuje na nisku dostupnost potencijalno toksičnih elemenata u tlu na toj lokaciji.



U kontekstu procjene sigurnosti hrane, važno je usporediti koncentracije metala u biljkama s regulatornim vrijednostima propisanim u Europskoj uniji. Maksimalne dopuštene koncentracije kontaminanata u hrani propisane su Uredbom Komisije (EU) 2023/915, koja je zamijenila raniju Uredbu (EZ) br. 1881/2006. Za lisnato povrće maksimalne razine iznose približno 0,30 mg/kg svježe mase za olovo (Pb) i 0,10 mg/kg svježe mase za kadmij (Cd). U analiziranim uzorcima maslačka koncentracije kadmija su ispod 0,1 mg/kg, dok su koncentracije olova ispod granice kvantifikacije, pa dobiveni rezultati ne ukazuju na izraženo opterećenje biljne biomase teškim metalima.

Ukupno gledano, rezultati analize vegetacije pokazuju da smreka ne pokazuje povećanu akumulaciju teških metala, dok maslačak reflektira lokalni geokemijski sastav tla, pri čemu koncentracije metala u biljci prate koncentracije izmjerene u pripadajućim uzorcima tla. Istodobno, niske koncentracije metala u uzorku kupusa upućuju na dobru kvalitetu tla na lokaciji uzorkovanja koja je potencijalno utjecana odlagalištem s obzirom na dostupnost teških metala za poljoprivredne kulture.

Rizik od teških metala

Za teške metale je poznato da se akumuliraju u živim bićima. Stoga kontinuiranim unosom malih količina kroz duže vrijeme i njihovim nakupljanjem u živim organizmima, dolazi do štetnog kumulativnog djelovanja. Neki od rizika opisani su u radovima Adriano (2001), Nagajyoti et al. (2010) i Ali et al. (2019).

Povišene koncentracije teških metala također pokazuju štetno djelovanje na biljke što opisano je u knjizi Marschner and Marschner (2012).

Pojava sušenja stabala uz rub odlagališta

Treba naglasiti da su uz odlagalište otpada pronađena posušena stabla ili stabla u fazi sušenja koja su u najvećem broju bile smreke (*Picea abies*), manjim dijelom ariš (*Larix decidua*), bor (*Pinus* sp.) i trešnja (*Prunus avium*). Pojedina suha stabla bila su polegnuta ili nagnuta što upućuje na njihova mehanička oštećenja prilikom širenja i prekrivanja odlagališta.

Mogući uzroci sušenja stabala su:

- mehanički utjecaj zatrpavanja stabla i oštećenja korijenovog sustava,
- djelovanje toksičnih tvari iz otpada,
- promjena pH vrijednosti supstrata,
- djelovanje većeg broja stresnih čimbenika u sinergiji.

U znanstvenoj literaturi (Lamersdorf et al., 1991) dokazano je toksično djelovanje teških metala na smreku, posebice kadmija i olova koji su utvrđeni na površini i uz rub odlagališta u Gospiću u visokim koncentracijama.

Problem negativnog utjecaja alkalnih tala na drvenaste vrste uočen je i u literaturi (Ware, 1990). Na odlagalištu izmjerene su vrlo visoke pH vrijednosti (raspon 7,4 – 8,8). Suprotno tome, smreka na svojim prirodnim staništima uglavnom dolazi na kiselim tlima (Vukelić, 2012)

Izračun ekotoksičnog svojstva otpada (HP14) proveden je prema metodologiji iz Uredbe (EU) 2017/997, primjenom pristupa zbroja koncentracija komponenti klasificiranih kao opasne za vodeni okoliš. U izračun su uključeni spojevi bakra, cinka i olova koji su prema CLP klasificirani kao Aquatic Acute/Chronic 1 (H410) odnosno Aquatic Chronic 2 (H411). Dobivene vrijednosti indeksa ekotoksičnosti za kompozitne uzorke J, I i H iznose 254,8; 84,4 i 36,1, što u svim slučajevima prelazi graničnu vrijednost 25 propisanu za klasifikaciju otpada kao ekotoksičnog (HP14).

Tablica 49. Sumarni prikaz HP14 i testa *Daphnia magna*

Kompozit	HP14 indeks	Prag za HP14	Prekoračenje	HP14	Daphnia / ekotoksičnost
J kompozit	254,8	25	10,19×	HP14 – DA	LID-D = 3
I kompozit	93,28	25	3,7373×	HP14 – DA	LID-D = 2
H kompozit	79,291	25	3,171×	HP14 – DA	LID-D = 1

Biljni pokrov na samoj lokaciji **uklonjen je u fazi formiranja odlagališta**, pri čemu je prema dokumentaciji uklonjeno ukupno oko **17.796 m² vegetacijskog pokrova**. Time je došlo do **izravnog i potpunog gubitka vegetacije i staništa** na zahvaćenoj površini, uključujući površinski sloj tla i korijenski sustav, što predstavlja najizraženiji direktni utjecaj na floru.

Tablica 50. Utjecaj na floru

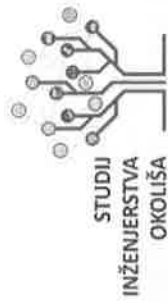
Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Flora	2	4	5
	utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	duga sanacija s rezidualnim učincima (srednjoročna šteta)	Značajno prekoračenje vrijednosti parametara u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici)
	Na samoj lokaciji došlo je do potpunog uklanjanja vegetacije na površini od 17.796 m ² , što predstavlja izravan i trenutni gubitak biljnog pokrova i staništa na zahvaćenoj površini. Na središnjem dijelu odlagališta biljni pokrov i dalje gotovo u potpunosti izostaje, dok se vegetacija javlja uglavnom uz rubne dijelove lokacije. U neposrednoj blizini odlagališta zabilježena su posušena ili oslabljena stabla, ponajprije smreke (<i>Picea abies</i>), a dijelom i ariša, bora i trešnje, pri čemu su pojedina stabla polegnuta ili nagnuta. Utvrđena jasna povezanost između koncentracija metala u tlu i u biljci. Primjerice, na lokaciji L22 u tlu je izmjereno približno Sb	Na lokaciji su prisutni višestruki čimbenici koji otežavaju spontanu obnovu vegetacije. Prije svega, tijekom formiranja odlagališta došlo je do potpunog uklanjanja vegetacijskog pokrova i korijenskog sustava na površini od gotovo 1,8 ha, što je uzrokovalo gubitak staništa i promjenu strukture tla. Dodatno, uz rub odlagališta zabilježena su posušena ili fiziološki oslabljena stabla, osobito smreke, što ukazuje na dugotrajan stres vegetacije. Mogući uzroci uključuju mehaničko zatrpavanje i oštećenje korijenskog sustava, djelovanje toksičnih tvari iz otpada, promjene kemijskih svojstava supstrata te sinergijsko djelovanje više stresnih čimbenika. Posebno je značajno da su na	Utvrđena značajna prekoračenja više parametara te potvrđena ekotoksičnost otpada. Izračun ekotoksičnog svojstva otpada (HP14) pokazuje da kompozitni uzorci J, I i H imaju indekse 254,8; 93,23 i 79,29, što je 10,19x, 3,73x i 3,17x iznad granične vrijednosti 25 za klasifikaciju otpada kao ekotoksičnog. Rezultati biotesta <i>Daphnia magna</i> dodatno potvrđuju ekotoksičnost (LID-D = 3, 2 i 1). Uz to su u otpadu i tlu utvrđene povišene koncentracije metala poput Pb, Cu, Zn, Sb i Cd, a rezultati vegetacijskih analiza pokazuju da su ti elementi bioraspoloživi. To potvrđuje primjer maslačka, kod kojeg koncentracije metala u biljci prate koncentracije u tlu. Na lokaciji L16 u tlu su



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



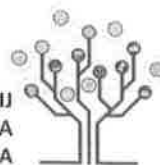
1,19 mg/kg, Zn 48 mg/kg i Cu 14 mg/kg, dok su u maslačku izmjerene vrijednosti 4,71 mg/kg Sb, 57 mg/kg Zn i 11 mg/kg Cu, što potvrđuje lokalni prijenos elemenata iz tla u biljku. Međutim, takav obrazac nije utvrđen na većim udaljenostima niti u svim tipovima vegetacije, pa se utjecaj procjenjuje kao prostorno ograničen na zonu neposredne blizine odlagališta gdje je evidentirano onečišćenje tla teškim metalima.	odlagalištu izmjerene povišene pH vrijednosti u rasponu 7,4–8,8, dok smreka prirodno preferira kiselu tla, pa alkalni uvjeti dodatno smanjuju njenu vitalnost. U literaturi je također dokumentirano da povišene koncentracije metala poput Cd i Pb mogu uzrokovati fiziološki stres i oštećenje smreke (Lamersdorf et al., 1991), dok negativan utjecaj alkalnih tala na drvenaste vrste potvrđuju i druga istraživanja (South, 2019). S obzirom na promijenjena fizikalno-kemijska svojstva tla i oštećenje vegetacije, prirodna obnova vegetacije moguća je tek nakon stabilizacije supstrata i uklanjanja izvora opterećenja, što zahtijeva dugotrajan proces oporavka.	izmjerene vrijednosti približno Cu 21 mg/kg i Zn 59 mg/kg, dok uzorak maslačka s iste lokacije sadrži 17 mg/kg Cu i 62 mg/kg Zn. Takva korelacija između tla i biljke pokazuje da su metali prisutni u supstratu dostupni za usvajanje u vegetaciji. U kombinaciji s visokim HP14 vrijednostima i potvrđenom ekotoksičnošću, to ukazuje na izražen potencijal štetnog djelovanja otpada na biološke komponente okoliša, uključujući vegetaciju.
--	--	--



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



3.4.2 Utjecaj na faunu

Utjecaj na faunu očituje se indirektno kroz onečišćenje tla, oštećenje ili gubitak biljnih vrsta i potencijal bioakumulacije u biljkama (prethodno obrađeno).

Tablica 51. Utjecaj na faunu

Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Fauna	2	4	5
	utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	duga sanacija s rezidualnim učincima (srednjoročna šteta)	Značajno prekoračenje vrijednosti više parametara u sastavnicima (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnicima)
	Utjecaj na faunu prostorno je lokaliziran, ali jasno definiran te obuhvaća područje do približno 50 m od ruba odlagališta, s najizraženijim učinkom u zoni 0–10 m, umjerenim u 10–30 m i slabljenjem prema 30–50 m. Najizraženiji direktni utjecaj predstavlja uklanjanje biljnog pokrova na površini od 17.796 m ² , izvršeno u fazi formiranja odlagališta, čime je došlo do potpunog gubitka staništa za faunu tla (edafon), beskraljčnjake, sitne sisavce, gmazove i ptice vezane uz travnjačka i rubna šumska staništa.	Oporavak faune izravno ovisi o obnovi vegetacije i funkcionalnosti tla. Na površini od oko 17.796 m ² , gdje je biljni pokrov u potpunosti uklonjen, spontani povratak stanišnih uvjeta za faunu nije moguć bez aktivne obnove (rekonstrukcija tla i vegetacije). U rubnim zonama, gdje je dio vegetacije očuvan, oporavak je dodatno ograničen kemijskim opterećenjem tla, prisutnošću mikroplastike i dugotrajnom dostupnošću metala.	Intenzitet utjecaja na faunu proizlazi iz kumulativnog djelovanja više stresora , potvrđenih mjerenjima i ekotoksikološkim ispitivanjima: HP14 – ekotoksično utvrđeno je na temelju povišenih koncentracija bakra, cinka i olova, s izmjerenim vrijednostima u tlu do 7.162 mg/kg Cu, 2.100 mg/kg Zn i 1.051 mg/kg Pb, višestruko iznad prirodne pozadine i MDK vrijednosti. Takve koncentracije predstavljaju izravno toksično okruženje za organizme tla (gliste, ličinke, mikrofaunu).

U rubnim zonama odlagališta dodatno su zabilježena mehanička oštećenja drvenastih biljaka (rušenje i naginjanje stabala), čime je došlo do fragmentacije staništa i gubitka zaklona i gnijezdišnih struktura za ptice i manje sisavce. Time se utjecaj ne ograničava isključivo na tijelo odlagališta, već se širi na okolni rubni pojas.	izloženosti za faunu tla i beskralješnjake, jer se ne razgrađuje i nema prirodni mehanizam uklanjanja. Time se izloženost ne završava prestankom odlaganja otpada, već se produljuje kroz cijelo razdoblje trajanja staništa. U kombinaciji s ekotoksičnim svojstvima otpada HP14, to znači da se potpuni oporavak faune bez sanacijskih mjera ne može očekivati.	• Ekotoksikološki test (<i>Daphnia magna</i>) potvrdio je štetno djelovanje eluata otpada, što ukazuje na realan rizik za vodene i poluvodene organizme te za faunu u kontaktu s površinskim otjecanjem. • Mikroplastika predstavlja dodatni stresor jer je izravno ingestibilna za beskralješnjake i ptice, a istodobno djeluje kao nosač metala, čime povećava njihovu bioraspoloživost i produljuje izloženost. Ovakva kombinacija ne dovodi nužno do akutnog uginuća, ali uzrokuje kronične, kumulativne učinke: smanjenje brojnosti populacija, poremećaje u razmnožavanju, promjene u ponašanju i narušavanje strukture zajednica.
--	--	---

3.4.3 Utjecaj na Natura područje i staništa

Utvrđeni kemijski i ekotoksikološki utjecaji imaju posebnu važnost u kontekstu **zaštićenih biljnih i životinjskih vrsta te staništa ekološke mreže Natura 2000**, pri čemu se lokacija nalazi u širem prostoru ekološki vrijednog područja **Lika i Gacka**, koje je prema važećim kartografskim podlogama i prostornim planovima obuhvaćeno područjima ekološke mreže Natura 2000. Navedeno područje karakteriziraju travnjačka i rubna šumska staništa visoke prirodne vrijednosti, s prisutnošću ugroženih i zaštićenih biljnih vrsta prilagođenih oligotrofnim i kemijski stabilnim tlima. Takva staništa, koja su ciljno obuhvaćena Direktivom Vijeća 92/43/EEZ o očuvanju prirodnih staništa te divlje faune i flore (Direktiva o staništima), osobito su osjetljiva na kronično onečišćenje tla metalima i metaloidima, te na promjenu pH vrijednosti. Znanstvena literatura potvrđuje da i relativno mala, ali dugotrajna odstupanja od prirodne kemijske ravnoteže tla mogu dovesti do smanjenja klijavosti, poremećaja rasta i postupnog nestanka osjetljivijih biljnih taksona, uz istodobno širenje tolerantnijih, ruderalnih vrsta (Alloway, 2013; Tang et al., 2022). U konkretnom slučaju, višestruko povišene koncentracije bakra i antimona u tlu u neposrednoj i široj okolini odlagališta, zajedno s dokazima o njegovoj dugotrajnoj mobilnosti iz zakopanog otpada, ukazuju na pogoršanje kvalitete staništa u rubnom pojasu koji je funkcionalno povezan s navedenim Natura 2000 područjem. Takvo pogoršanje, iako ne mora rezultirati trenutačnim nestankom pojedinih zaštićenih biljnih vrsta, dugoročno narušava prirodni sastav i strukturu staništa. U smislu članka 6. stavaka 2. i 3. Direktive 92/43/EEZ, takvi procesi predstavljaju potencijalno značajan negativan utjecaj na ciljeve očuvanja, jer uključuju trajnu degradaciju ekoloških uvjeta koji su temelj za održavanje povoljnog stanja očuvanosti stanišnih tipova i biljnih vrsta obuhvaćenih ekološkom mrežom, neovisno o tome nalazi li se sama lokacija formalno unutar granica Natura 2000 područja ili u njegovoj funkcionalnoj okolini.

Zaključno, na temelju kvantificiranih prekoračenja u eluatu otpada, jasno utvrđene mobilnosti bakra, antimona, cinka i olova, promjene pH vrijednosti tla, stručno se zaključuje da odloženi otpad predstavlja trajan izvor onečišćenja i degradacije staništa u neposrednoj i potencijalno široj okolini odlagališta.

Tablica 52. Utjecaj na Natura područja i staništa

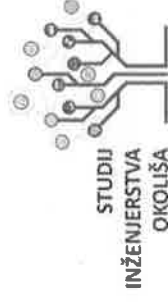
Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Natura staništa	2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	4/5 duga sanacija s rezidualnim učincima (srednjoročna šteta) / nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	5 Značajno prekoračenje vrijednosti više parametara u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici)
	Predmetna lokacija nalazi se unutar / u izravnom preklapanju s područjima ekološke mreže Natura 2000, pri čemu je utjecaj odlagališta prostorno lokalni, ali ekološki relevantan. Najizraženiji utjecaj obuhvaća zonu do približno 50 m od ruba odlagališta, s jasnim gradijentom slabljenja prema okolnom prostoru (0–10 m jak, 10–30 m umjeren, 30–50 m slab, >50 m bez konzistentnog utjecaja). U tom obuhvatu zahvaćena su travnjačka i rubna šumska staništa, koja u kontekstu Natura 2000 imaju važnu ulogu kao:	Cilj Natura 2000 mreže nije samo fizički opstanak staništa, već očuvanje povoljnog stanja očuvanosti. U tom kontekstu, mogućnost oporavka zahvaćenih staništa je znatno ograničena. Na površini od 17.796 m², gdje je stanište u potpunosti uklonjeno, prirodni oporavak nije moguć bez aktivne sanacije i rekonstrukcije tla. U okolnim zonama, gdje je stanišna struktura djelomično očuvana, oporavak je dodatno ograničen:	Intenzitet utjecaja na Natura 2000 staništa proizlazi iz kumulativnog i sinergijskog djelovanja više pritisaka: Kemijsko opterećenje tla bakrom, cinkom i olovom, s koncentracijama koje višestruko prelaze prirodnu geokemijsku pozadinu i zakonske MDK vrijednosti, mijenja edafske uvjete i selektira tolerantne, ruderalne vrste na štetu stanišno karakterističnih vrsta.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



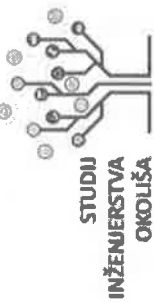
Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gtv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gtv.unizg.hr



• hranidbena i razmnožavajuća staništa, • prijelazne (ekotonske) zone visoke bioraznolikosti, • prostori povezivanja šumskih i otvorenih staništa. Najizraženiji direktni utjecaj predstavlja uklanjanje biljnog pokrova na površini od oko 17.796 m² radi formiranja odlagališta, čime je došlo do potpunog gubitka staništa na tom dijelu područja. Dodatno, u rubnom pojasu evidentirana su mehanička oštećenja i sušenje stabala, što dovodi do fragmentacije staništa i smanjenja njihove funkcionalne povezanosti.	• trajnom prisutnošću mikroplastike u tlu, koja mijenja fizikalna i biološka svojstva staništa, • dugotrajnom prisutnošću metala (Cu, Sb, Pb, Zn, Cd i As) u koncentracijama višestruko iznad prirodne pozadine, • ekotoksičnim potencijalom HP14, koji djeluje kronično, a ne jednokratno. Mikroplastika, kao trajni i mobilni stresor, može se prenijeti površinskim otjecanjem i zahvatiti dijelove staništa izvan neposredne zone uklanjanja vegetacije, čime se produžuje i prostorno širi negativni učinak. Zbog toga se povrat staništa u povoljno stanje očuvanosti ne može očekivati bez sanacijskih mjera, niti se može smatrati kratkoročnim.	• HP14 – ekotoksično, utvrđeno za Cu, Zn i Pb, potvrđuje da takvo opterećenje ima potencijal uzrokovati štetne učinke na ekosustave, osobito na organizme tla i rane razvojne stadije vrsta. • Mikroplastika predstavlja dodatni stresor bez praga sigurnosti: trajno ostaje u tlu, veže metale i organske tvari, te dugoročno narušava funkcionalnost staništa. • Neizravni utjecaji kroz hranidbene lance, potvrđeni nalazima onečišćenja u biljkama, dodatno opterećuju ekosustav i smanjuju njegovu otpornost. Ovakva kombinacija predstavlja visok intenzitet pritiska na staništa, čak i ako
--	---	---



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

			ne dolazi do trenutalnog nestanka pojedinih vrsta.
--	--	--	--



3.5 Utjecaj na zrak

Odlaganje otpada na otvorenim površinama predstavlja potencijalni izvor emisija u zrak, osobito kada se radi o rasutom, sitnozrnatnom i mehanički nestabilnom materijalu koji je izložen atmosferskim utjecajima. Takav otpad može emitirati lebdeće čestice, metalne aerosole i mikroplastične čestice u okolišni zrak uslijed djelovanja vjetra, mehaničkog poremećaja površine i procesa sušenja materijala (Amato et al., 2014; Querol et al., 2004). Na predmetnoj lokaciji u industrijskom kompleksu u Gospiću utvrđena je prisutnost velikih količina rasutog otpada u obliku tzv. crnih hrpa te dodatnih količina otpada zakopanog u tlu. Materijal crnih hrpa sastoji se od sitnozrnatog heterogenog materijala koji uključuje usitnjene polimerne fragmente, mineralne čestice, građevinski materijal i druge komponente otpada, pri čemu su pojedine frakcije vrlo lagane i podložne resuspenziji u atmosferu.

Geodetskim snimanjem volumena odloženog otpada utvrđeno je da se na lokaciji nalazi (4.245,01 + 168,44 t) otpada na otvorenom – crna hrpa. Površina odlagališta gdje je otpad zakopan je neasfaltirana, odnosno predstavlja zemljanu onečišćenu površinu.

Takva količina heterogenog sitnozrnatog materijala značajno povećava potencijal resuspenzije čestica i njihovog prijenosa u atmosferu, osobito tijekom sušnih i vjetrovitih razdoblja.

U znanstvenoj literaturi utvrđeno je da intenzitet emisija lebdećih čestica s otvorenih površina raste s povećanjem površine izloženog materijala i ukupne količine rasutog materijala koji je podložan mehaničkom raznošenju, pri čemu veće količine sitnozrnatog otpada značajno povećavaju potencijal resuspenzije i emisije čestica u zrak (Amato et al., 2014; Etyemezian et al., 2003).

Takva struktura materijala predstavlja tipičan potencijalni izvor tzv. fugitivnih emisija čestica, odnosno emisija koje nastaju bez kontroliranog ispusta, već uslijed mehaničkog raznošenja čestica u atmosferu. U znanstvenoj literaturi utvrđeno je da površine s rasutim otpadom i neuređenim odlagalištima mogu generirati značajne količine lebdećih čestica (PM₁₀ i PM_{2.5}), osobito tijekom sušnih razdoblja i pri povećanim brzinama vjetra (Amato et al., 2014; Etyemezian et al., 2003). Sitne čestice mogu se resuspendirati s površine otpada i transportirati na udaljenosti od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara, pri čemu se postupno talože na tlo, vegetaciju i druge površine. Povećanje površine izloženog otpada, kao i ukupna količina odloženog materijala, izravno utječu na intenzitet takvih emisija.

Rezultati mjerenja kvalitete zraka provedenih na mjernoj postaji LC Gospić pokazali su da tijekom promatranog razdoblja nije došlo do sustavnih prekoračenja graničnih vrijednosti za lebdeće čestice PM₁₀ i PM_{2.5}. Dnevna granična vrijednost za PM₁₀ (50 µg/m³) prekoračena

je samo jednom tijekom promatranog razdoblja, dok su ostale izmjerene vrijednosti bile ispod propisanih graničnih vrijednosti.

Slično tome, koncentracije frakcije PM_{2.5} nisu prelazile propisane godišnje granične vrijednosti, a koncentracije metala u lebdećim česticama (arsen, kadmij, nikal i olovo) bile su ispod ciljanih vrijednosti propisanih zakonodavstvom.

Međutim, činjenica da u promatranom razdoblju nisu utvrđena regulatorna prekoračenja ne isključuje postojanje lokalnih emisija čestica s odlagališta otpada. U znanstvenoj literaturi jasno je dokumentirano da mjerenja kvalitete zraka često predstavljaju vremenski ograničen presjek stanja atmosfere te da emisije čestica s otvorenih površina mogu biti izrazito epizodne i ovisne o meteorološkim uvjetima, osobito brzini i smjeru vjetra, vlažnosti zraka te stanju površinskog materijala (Etyemezian et al., 2003; Amato et al., 2014). Zbog toga se epizodne emisije mogu pojavljivati samo u određenim vremenskim intervalima, dok u ostalim razdobljima koncentracije mogu ostati unutar propisanih vrijednosti. Također treba naglasiti da je mjerenje provedeno u periodu od 21.5. do 4.6.2025. godine kada su aktivnosti ilegalnog odlaganja već bile prekinute. Količina PM₁₀ i PM_{2.5} čestica u zraku je tijekom rada teških strojeva koji su korišteni za odlaganje otpada zasigurno bila veća od izmjerenih, a što se i pokazalo tijekom uzimanja i uzoraka bagerom s predmetne lokacije. Međutim, nema podataka da li je u tom slučaju dolazilo do prekoračenja **GV vrijednosti.

Dodatni aspekt potencijalnog utjecaja otpada na kvalitetu zraka predstavlja emisija mikroplastike. Analize otpada s predmetne lokacije pokazale su prisutnost usitnjenih plastičnih fragmenata i vlaknastih polimernih struktura u materijalu crnih hrpa, što upućuje na potencijal nastanka mikroplastičnih čestica. Mikroplastika u okolišu definira se kao plastične čestice veličine manje od 5 mm, dok čestice promjera manjih od približno 100 µm mogu postati aerodinamički stabilne i prenositi se zrakom (Dris et al., 2016; Allen et al., 2019). Atmosferski transport mikroplastike posljednjih je godina prepoznat kao važan mehanizam širenja plastičnih čestica u okolišu, pri čemu su istraživanja pokazala da se mikroplastika može transportirati na udaljenosti od nekoliko kilometara te taložiti na tlo, vegetaciju i vodene površine (Allen et al., 2019).

Površine odlagališta otpada i mjesta skladištenja plastičnog otpada posebno su identificirane kao potencijalni lokalni izvori mikroplastike u atmosferi. Usitnjavanje plastike, fotooksidativna degradacija materijala i mehaničko trošenje dovode do postupnog raspadanja plastičnih fragmenata u sve manje čestice koje se mogu prenijeti u zrak (Dris et al., 2016; Brahney et al., 2020). Jednom kada dospiju u atmosferu, te čestice mogu biti transportirane vjetrom i taložiti se na okolnim površinama, čime dolazi do sekundarnog onečišćenja tla, vegetacije i vodenih tijela.



Uz mikroplastiku, u lebdećim česticama mogu biti prisutni i teški metali adsorbirani na površini mineralnih i organskih čestica. Iako izmjerene koncentracije metala u lebdećim česticama na mjernoj postaji nisu prelazile ciljne vrijednosti, analiza ukupne taložne tvari pokazala je prisutnost metala poput olova, kadmija, arsena i nikla u taložnim česticama.

Takvi metali mogu biti transportirani u atmosferi vezani uz čestice prašine te se taložiti u okolišu, pri čemu predstavljaju potencijalni dugoročni izvor onečišćenja tla i vegetacije (Alloway, 2013).

Na temelju karakteristika otpada, načina odlaganja i dostupnih podataka o kvaliteti zraka može se zaključiti da odloženi otpad na predmetnoj lokaciji predstavlja potencijalni izvor lokalnih emisija lebdećih čestica i mikroplastike u zrak. Najveći utjecaj očekuje se u neposrednoj blizini odlagališta, gdje resuspenzija čestica može uzrokovati povećane koncentracije lebdećih čestica u zraku, osobito tijekom sušnih i vjetrovitih razdoblja. S obzirom na značajnu ukupnu količinu odloženog otpada te činjenicu da se dio otpada nalazi izložen na otvorenoj površini bez zaštitnog pokrova, potencijal emisije čestica iz takvog izvora dodatno je povećan.

U takvim uvjetima može doći do lokalnog povećanja koncentracija PM_{2,5} i PM₁₀ i mikroplastičnih čestica, dok se s udaljenošću od izvora koncentracije postupno smanjuju uslijed disperzije i taloženja čestica (do 200 m udaljenosti od tijela odlagališta).

Sveukupno gledano, iako izmjerene koncentracije lebdećih čestica i metala u zraku tijekom promatranog razdoblja nisu pokazale prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti, fizikalna svojstva otpada, njegova ukupna količina i način njegova odlaganja ukazuju da predmetna lokacija predstavlja potencijalni lokalni izvor emisija čestica u zrak. Utjecaj se stoga može okarakterizirati kao lokalni i epizodni, ali realan, osobito u neposrednoj okolini odlagališta gdje resuspenzija čestica i emisija mikroplastike mogu imati negativan utjecaj na kvalitetu zraka i okoliš.

Tablica 53. Utjecaj na zrak

Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Zrak	2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 - 200 m	2 spontani oporavak	3 Neznatno prekoračenje vrijednosti 2 i više parametara u sastavnicu (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnicu)
	Odloženi otpad na predmetnoj lokaciji nalazi se dijelom u obliku crnih hrpa na površini , a dijelom kao zakopani otpad ispod platoa industrijskog kompleksa . Površinski odloženi otpad predstavlja potencijalni izvor fugitivnih emisija lebdećih čestica i mikroplastike u zrak, osobito tijekom sušnih i vjetrovitih razdoblja. Sitnozrnati materijal, koji uključuje mineralne čestice, fragmentiranu plastiku i druge lagane frakcije otpada, može se resuspendirati	Utjecaj odloženog otpada na zrak prvenstveno je povezan s emisijama lebdećih čestica i mikroplastike koje nastaju resuspenzijom materijala s površine odlagališta. Takve emisije su u pravilu reverzibilne , jer se koncentracije čestica u zraku smanjuju nakon prestanka emisije, odnosno nakon uklanjanja izvora onečišćenja ili stabilizacije površine otpada. U slučaju uklanjanja otpada, prekrivanja površine ili provedbe sanacijskih mjera	Rezultati mjerenja kvalitete zraka na mjernoj postaji LC Gospić pokazali su da tijekom promatranog razdoblja nije došlo do sustavnih prekoračenja graničnih vrijednosti za lebdeće čestice PM10 i PM2.5 , dok su koncentracije metala u lebdećim česticama (arsen, kadmij, nikal i olovo) također bile ispod ciljanih vrijednosti propisanih zakonodavstvom. Međutim, analiza ukupne taložne tvari pokazala je prisutnost metala poput olova, kadmija, arsena i nikla u taložnim česticama,



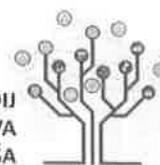
Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



djelovanjem vjetra te transportirati u okolišu. Takve emisije u pravilu imaju lokalni karakter, pri čemu je najveći utjecaj ograničen na područje neposredno oko izvora emisije. Na temelju dostupnih znanstvenih spoznaja o resuspenziji čestica s površina odlagališta otpada te karakteristika otpada na predmetnoj lokaciji, može se procijeniti da se potencijalni utjecaj na kvalitetu zraka prvenstveno javlja u zoni do približno 200 m od izvora emisije, dok se na većim udaljenostima koncentracije čestica smanjuju uslijed disperzije i taloženja.	(npr. stabilizacija tla, prekrivanje inertnim materijalom, vegetacijska stabilizacija), emisije čestica mogu se relativno brzo smanjiti ili potpuno prestati. Atmosferski sustav ima visoku sposobnost prirodne disperzije i razrjeđivanja onečišćujućih tvari, pa se koncentracije lebdećih čestica u pravilu vraćaju na pozadinske vrijednosti nakon uklanjanja izvora emisije. Sukladno navedenom, procjenjuje se da je oporavak okoliša moguć spontan ili uz relativno jednostavne sanacijske mjere.	što potvrđuje da se određene količine metalnih čestica transportiraju zrakom i talože u okolišu. Uz to, analiza otpada s predmetne lokacije pokazala je prisutnost fragmentirane plastike i mikroplastičnih čestica koje mogu predstavljati dodatni izvor lebdećih čestica u zraku. Iako nisu utvrđena značajna prekoračenja regulatornih vrijednosti, prisutnost više potencijalno štetnih komponenti u otpadu (teški metali, mikroplastika, sitnozrnati materijal) ukazuje da postoji potencijal za emisiju više različitih parametara koji mogu utjecati na kvalitetu zraka.
---	--	---



3.6 Utjecaj na podzemne vode

3.6.1 Geološko-hidrogeološki okvir lokacije

Geološko-hidrogeološkom prospekcijom šire i uže lokacije ilegalnog odlagališta utvrđeno je da područje pripada strukturnoj jedinici Ličkog sredogorja, unutar sliva rijeke Like. Terenskim rekognosciranjem, izradom hidrogeološke karte te provedbom neinvazivnih geofizičkih istraživanja (geoelektrična tomografija – ERT, georadar – GPR, seizmička refrakcija i MASW) izdvojene su tri osnovne litostratigrafske jedinice: Jelar naslage (E, Ol), proluvijalne naslage (pr) i recentni nanos (n).

Jelar naslage, koje čine vapnenačke breče, konglomerati i vapnenci eocenske do oligocenske starosti, karakterizirane su vrlo slabom vodopropusnošću, osobito u dubljim dijelovima stijenske mase. Okršavanje je ograničeno pretežito na plitku pripovršinsku zonu, dok prema većim dubinama prevladava kompaktna, slabo propusna karbonatna stijena. Takva svojstva potvrđena su i geofizičkim mjerenjima, gdje su ispod približno 10 m dubine izmjerene vrlo visoke vrijednosti geoelektrične otpornosti ($>1000\text{--}3000\ \Omega\text{m}$), koje upućuju na slabo okršenu do nepropusnu stijensku podlogu. Terenski je slaba vodopropusnost Jelar naslaga dodatno potvrđena pojavom zadržavanja oborinske vode na površini (lokve) istočno od lokacije odlagališta.

Proluvijalne naslage, sastavljene od glina, ilovača, pijesaka i šljunaka, imaju promjenjivu, ali zbog relativno male debljine ograničenu hidrogeološku funkciju. Recentni nanos, procijenjene debljine oko 4–5 m, predstavlja antropogeno izmijenjeni sloj koji sam po sebi nema značajnu ulogu u regionalnom toku podzemnih voda, ali je ključan s aspekta okolišnog rizika jer u njemu leži ilegalno odloženi otpad, u izravnom kontaktu s infiltracijskim vodama.

Opći smjer tečenja podzemne vode na istraživanom području je od zone Ličkog rasjeda prema sjeveru i sjeveroistoku. Najbliži zahvati podzemne vode za javnu vodoopskrbu (Mrđenovac i Divoselo) nalaze se znatno uzvodno i hidrogeološki nisu povezani s predmetnom lokacijom, zbog čega se utjecaj ilegalnog odlagališta na javne vodoopskrbne izvore može isključiti.

Unatoč općenito slaboj vodopropusnosti Jelar naslaga, geofizičkim istraživanjima (posebno geoelektričnom tomografijom i seizmičkom refrakcijom) na lokaciji su evidentirane **lokalne pukotinske i rasjedne zone**, prepoznate kao područja snižene geoelektrične otpornosti i izmijenjenih seizmičkih brzina. Te zone predstavljaju **lokalno povećanu sekundarnu poroznost i vodopropusnost** u odnosu na okolnu, kompaktniju stijensku masu.

Navedene pukotinske zone:

- pojavljuju se **lokalno i diskontinuirano**,

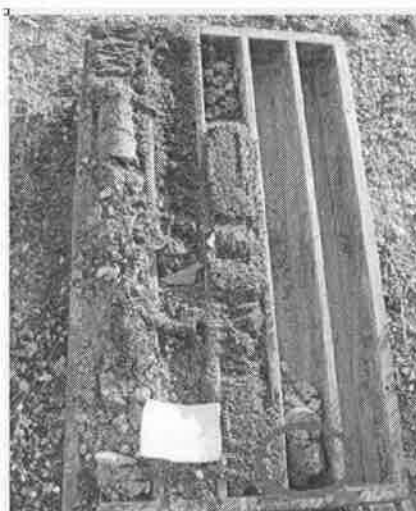
- prostorno su uglavnom ograničene na **pliće dijelove stijenske mase**,
- ne čine regionalno razvijen vodonosnik, već potencijalne **preferencijalne putove lokalne infiltracije i procjeđivanja**.

Upravo su te zone uzete u obzir pri određivanju lokacija piezometarskih bušotina, kako bi se obuhvatile najnepovoljnije hidrogeološke okolnosti s aspekta mogućeg prijenosa onečišćivala.

3.6.2 Položaj i svojstva otpada u hidrogeološkom profilu

Neinvazivnim geofizičkim istraživanjima utvrđeno je da se tijelo ilegalnog odlagališta nalazi pretežito u zoni recentnog nanosa i gornjih dijelova proluvijalnih naslaga, do dubine približno 3–5 m, lokalno do oko 10 m. U tom se rasponu preklapaju zona otpada i zona lokalno razlomljene stijenske mase, što znači da je moguć lokalni prijenos procjednih voda u plitke pukotinske sustave. Ispod te zone nalazi se slabo okršena do kompaktna karbonatna stijenska masa male vodopropusnosti, koja predstavlja prirodnu barijeru daljnjoj vertikalnoj migraciji onečišćivala prema dubljim hidrogeološkim razinama .

U bušotinama H1, H3 i H5 neposredno ispod otpada utvrđen je sloj gline male vodopropusnosti ($2,7 \times 10^{-11}$ m/s). Međutim, na bušotini H2 sloj gline koji se nalazi između otpada i razlomljene stijenske mase (Slika 134, H2) neznatne je debljine čime je utvrđen položaj preferencijalnog puta tečenja procjednih voda iz tijela odlagališta u plitke pukotinske sustave.



Slika 134 Nedostatna debljina glinenog sloja na bušotini B2



Automatska mjerenja na sva tri piezometra pokazala su da u bušotini B1 postoji kolebanje saliniteta temperature i vodljivosti u periodu od 19. prosinca 2025. do 24. veljače 2026. godine. Izmjerene vrijednosti su još uvijek bile ispod MDK za pitku vodu, dok na ostalim piezometrima ista nije evidentirana. Evidentirano kolebanje ukazuje postojanje preferencijalnog puta tečenja prema piezometru B1 iz tijela odlagališta.

Rezultati kemijske karakterizacije otpada i testova procjeđivanja (eluata), pokazuju da otpad sadrži elemente koji imaju mobilnu frakciju u vodenoj fazi. Posebno se ističe antimon (Sb), čije su koncentracije u eluatu u pojedinim uzorcima veće od granične vrijednosti propisane za neopasni otpad (0,7 mg/kg s.t.), dok su niže od granične vrijednosti za opasni otpad. Takvi rezultati ukazuju da otpad ima potencijal ispiranja Sb u okoliš, osobito u uvjetima dugotrajnog kontakta s vodom.

Povišene vrijednosti otopljenih krutih tvari (TDS) i otopljenog organskog ugljika (DOC) dodatno povećavaju kemijsku reaktivnost procjednih voda te mogu pogodovati lokalnoj mobilnosti antimona u pukotinskim zonama.

3.6.3 Stanje podzemnih voda prema rezultatima monitoringa

U okviru vještačenja provedeno je uzorkovanje podzemnih voda iz piezometarskih bušotina smještenih uzvodno i nizvodno od tijela odlagališta, uključujući bušotine pozicionirane u blizini identificiranih pukotinskih zona. Analize su pokazale da su koncentracije antimona i ostalih analiziranih metala u podzemnoj vodi ispod granica detekcije ili na vrlo niskim razinama, bez prekoračenja relevantnih graničnih vrijednosti.

U pojedinim piezometrima zabilježene su umjerene razlike u koncentracijama cinka (Zn) i barija (Ba) između uzvodnih i nizvodnih točaka, bez konzistentnog prostornog ili hidrogeološkog obrasca koji bi nedvosmisleno upućivao na tijelo ilegalno odloženog otpada kao izvor tih elemenata. Takva varijabilnost može biti povezana s prirodnom heterogenošću geološke podloge i lokalnim geokemijskim uvjetima. Svi fizikalno kemijski parametri u sve tri bušotine odgovaraju zahtjevima MDK za pitku vodu.

Rezultati mikrobiološke analize podzemnih voda iz piezometara pokazuju odstupanja od kriterija propisanih za vodu namijenjenu za ljudsku potrošnju. Prema **Direktivi (EU) 2020/2184 o kvaliteti vode za ljudsku potrošnju i Pravilniku o parametrima sukladnosti vode za ljudsku potrošnju (NN 125/17, 39/20)**, parametarska vrijednost za *Escherichia coli* iznosi **0/100 mL**, odnosno bakterija mora biti potpuno odsutna. U uzorcima je utvrđena prisutnost *E. coli* u



piezometrima N1-B3 (2 cfu/100 mL) i O1-B2 (6 cfu/100 mL), što predstavlja mikrobiološku nesukladnost vode.

Također je u svim uzorcima utvrđena prisutnost bakterije *Clostridium perfringens* (35, 22 i 16 cfu/100 mL), za koju je također propisana vrijednost **0/100 mL**, što ukazuje na mogući utjecaj fekalnog ili organskog onečišćenja. U uzorku iz piezometra N1-B3 dodatno je izolirana bakterija *Salmonella*, koja se prema sanitarnim kriterijima u vodi za ljudsku potrošnju mora nalaziti u **potpunoj odsutnosti**.

Ukupno gledano, prisutnost *E. coli*, *Clostridium perfringens* i izolirane *Salmonella* pokazuje da analizirana podzemna voda **nije mikrobiološki sukladna kriterijima za vodu za ljudsku potrošnju**, što upućuje na utjecaj fekalnog ili organskog mikrobiološkog opterećenja u vodonosniku, a ne na djelovanje otpada na podzemnu vodu. Mikrobiološke analize otpada pokazale su da ovdje detektirane bakterije nisu prisutne u otpadu.

Važno je naglasiti da izostanak povišenih koncentracija onečišćivala u podzemnoj vodi ne isključuje u potpunosti utjecaj ilegalnog odlagališta, budući da:

- provedena mjerenja predstavljaju **vremenski ograničen presjek stanja**,
- migracija onečišćivala u krškim i pukotinskim sustavima može biti **brza i kratkotrajna**,
- onečišćenje se može pojavljivati **isključivo tijekom hidrauličkih maksimuma**, primjerice za vrijeme ili neposredno nakon intenzivnih oborinskih događaja,
- dio onečišćivala može se kretati **ispod ili izvan osi piezometarskih bušotina**, izvan obuhvata postojećeg monitoringa.

Uzimajući u obzir:

- općenito slabo propusnu geološku građu lokacije,
- postojanje **lokalnih, plitkih pukotinskih zona** koje mogu predstavljati preferencijalne putove migracije,
- položaj otpada u zoni infiltracije,
- dokazanu mobilnost antimona u eluatu,
- trenutačno neonečišćeno stanje podzemnih voda (osim indikatora fekalnog zagađenja koja ne potiču od odloženog otpada), uz uočene, ali nekonzistentne razlike u Zn i Ba,

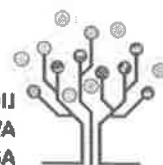
utvrđuje se da ilegalno odloženi otpad trenutno ne uzrokuje dokazivo onečišćenje podzemnih voda, ali predstavlja potencijalni izvor lokalnog, ograničenog utjecaja, prvenstveno na plitke



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



podzemne vode u zoni lokalnih pukotinskih sustava putem utvrđenog preferencijalnog puta tečenja. Regionalni hidrogeološki rizik i utjecaj na javne vodoopskrbne izvore procjenjuju se kao niski do zanemarivi.



Tablica 54. Utjecaj na podzemne vode

Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Podzemne vode	2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50 -200 m	3 rutinska sanacija (kratkoročna šteta)	2 neznatno prekoračenje vrijednosti jednog ili više parametara u sastavnici
	Utjecaj na podzemne vode procjenjuje se kao lokalan, ali hidrogeološki potencijalno širi, s obzirom na prirodu podzemlja i mehanizme migracije. Istražni radovi (iskopi, bušenja i piezometri) pokazali su da se utjecaj ne može ograničiti isključivo na vertikalnu projekciju odlagališta, već postoji mogućnost bočne i diskontinuirane migracije onečišćujućih tvari. Mjerenja u podzemnim vodama provedena su u ograničenom broju točaka i predstavljaju vremenski presjek, pri čemu: - nisu zabilježene sustavno povišene koncentracije većine analiziranih elemenata, - uočene su umjerene razlike u Zn i Ba, ali bez konzistentnog prostornog obrasca koji	Podzemne vode imaju ograničenu sposobnost prirodnog oporavka, osobito u uvjetima kontinuiranog ili povremenog dotoka onečišćujućih tvari. Iako trenutna mjerenja ne pokazuju trajno povišene koncentracije, to ne isključuje utjecaj, jer: - mjerenja predstavljaju vremenski ograničen presjek, - onečišćenje se može pojavljivati epizodično, osobito tijekom hidrauličkih maksimuma (obilne oborine), - migracija u kršu može biti brza i kratkotrajna, pa se zagađenje može pojaviti i nestati između kampanja uzorkovanja,	Intenzitet utjecaja na podzemne vode ne proizlazi iz trenutnačno izmjerenih prekoračenja u vodi. Iz tog razloga se trenutni utjecaj ocjenjuje ocjenom 2. Ostali utjecaji proizlaze iz potencijala i mehanizama unosa, potvrđenih analizama otpada, eluata i tla: HP14 – ekotoksično utvrđeno je za otpad na temelju bakra, cinka i olova, pri čemu su ti elementi u otpadu i tlu prisutni u koncentracijama višestruko iznad prirodne pozadine. Testovi eluata potvrđuju da su pojedini metali mobilni u vodenom mediju, što predstavlja realan mehanizam prijenosa prema podzemnim vodama. Neizravan unos mikroplastike u podzemne vode moguć je putem:

	bi samostalno i nedvojbeno upućivao na izvor otpada. • Uočen je povišeni salinitet • Uočeni su indikatori fekalnog zagađenja koji ne potječu od odlagališta Međutim, s obzirom na: • postojanje lokalnih pukotina i propusnih zona, • mogućnost brze migracije u krškom podzemlju, • te hidrauličku povezanost površinskih i podzemnih tokova, opseg potencijalnog utjecaja na podzemne vode ne može se smatrati strogo ograničenim na zonu ispod odlagališta, već obuhvaća širi lokalni hidrogeološki sustav.	• dio onečišćenja može se kretati ispod ili izvan osi piezometara. U tom kontekstu, ako dođe do unosa metala ili mikroplastike u vodonosnik, prirodni povratak na početno stanje bio bi dugotrajan, a u nekim slučajevima i nepotpun, osobito za čestice mikroplastike koje nemaju mehanizam razgradnje u podzemnim vodama.	○ infiltracije oborinskih voda kroz kontaminirani površinski sloj tla, ○ prijenosa sitnih čestica kroz pukotine i propusne zone, ○ površinskog otjecanja i ponovnog infiltriranja nizvodno. • Iako izravna detekcija mikroplastike u podzemnoj vodi nije provedena, postojanje izvora (tlo i otpad) i mehanizma prijenosa opravdava uključivanje potencijala onečišćenja mikroplastikom u procjenu intenziteta.
--	--	--	--



3.7 Mikroplastika - rekapitulacija

Mikroplastika je definirana kao bilo koja sintetička čvrsta čestica ili polimerna matrica, pravilnog ili nepravilnog oblika, veličine u rasponu od 1 μm do 5 mm, primarnog ili sekundarnog podrijetla, koja je netopiva u vodi (Frias and Nash, 2019). U ovom vještačenju provedeno je mikroskopiranje otpada sa ciljem utvrđivanja čestica koje su manje od 5 mm, a za koje je vizualno moguće potvrditi da su plastične.

U okolišu mikroplastika predstavlja perzistentni oblik onečišćenja koji se ne razgrađuje u relevantnim vremenskim razmjerima, već se fragmentira na sve sitnije čestice, pri čemu se njezina ukupna količina u okolišu dugoročno povećava. Zbog male veličine, velike specifične površine i sposobnosti adsorpcije drugih onečišćivača, mikroplastika se danas smatra ne samo fizičkim zagađivačem već i aktivnim vektorom prijenosa kemijskih tvari u okolišu.

Globalna proizvodnja plastike kontinuirano raste, a znatan udio plastičnih proizvoda nakon završetka uporabnog vijeka završava na odlagalištima. Procjenjuje se da se približno 21–42 % ukupno proizvedene plastike trajno odlaže na odlagalištima, čime ona postaju najveći antropogeni rezervoari plastike u okolišu (Gupta et al., 2025). Iako se odlagališta tradicionalno smatraju konačnim „ponorima“ otpada, brojna znanstvena istraživanja posljednjih godina pokazala su da ona funkcioniraju kao dinamični sustavi u kojima dolazi do razgradnje, fragmentacije i ponovne mobilizacije plastike u obliku mikroplastike (Wojnowska-Baryła et al., 2022).

Istraživanja povezanosti mikroplastike i odlagališta provedena su primjenom različitih metodoloških pristupa, uključujući terenska uzorkovanja tla, procjednih voda, podzemnih i površinskih voda u blizini odlagališta, laboratorijska ispitivanja eluata, mikroskopsku i spektroskopsku identifikaciju čestica te eksperimentalna ispitivanja migracije mikroplastike kroz porozne medije. Rezultati tih istraživanja dosljedno potvrđuju da se mikroplastika nalazi u svim okolišnim komponentama povezanim s odlagalištima te da koncentracije u pravilu opadaju s udaljenošću od izvora, što predstavlja snažan pokazatelj uzročno-posljedične veze između odlagališta i lokalnog mikroplastičnog onečišćenja (Silvia et al., 2024; Loppi et al., 2021).

Na predmetnoj lokaciji, prema rezultatima karakterizacije otpada i vještačenja, utvrđena je prisutnost heterogenog tehnogenog materijala s izraženom polimernom komponentom, uključujući mehanički obrađene, sitnozrnate frakcije otpada. Fizikalna i strukturna svojstva tog materijala, kao što su gustoća čvrstih čestica u rasponu približno 1,3–1,5 g/cm³, niska nasipna gustoća, visoka kompresibilnost, povišena ogrjevnost te granulometrijski sastav s velikim udjelom čestica manjih od 10 mm, jasno upućuju na otpad pretežito plastičnog podrijetla, a ne na prirodno tlo ili inertni materijal. Takva svojstva tipična su za mehanički



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



obrađene frakcije otpada, uključujući RDF/SRF tokove, što potvrđuje da je na lokaciji odložen plastični otpad.

Zakopana ili površinski odložena plastika na odlagalištima izložena je specifičnim okolišnim uvjetima koji značajno ubrzavaju njezinu fragmentaciju. Istraživanja pokazuju da promjenjive pH vrijednosti procjednih voda (u rasponu približno 4,5–9), povišena slanost, oscilacije temperature, anaerobni uvjeti, stvaranje plinova (CO_2 i CH_4), mehaničko opterećenje te mikroba aktivnost djeluju sinergijski i dovode do raspada makroplastike u mikroplastične čestice (Gupta et al., 2025; Upadhyay and Bajpai, 2021). Zbog toga odlagališta ne predstavljaju statična odlagališta plastike, već kontinuirane izvore mikroplastike u okolišu.

Mikroskopskim analizama uzoraka s predmetne lokacije izravno je potvrđena prisutnost mikroplastike. Identificirane su polimerne čestice veličine od približno 50 μm do nekoliko milimetara, pri čemu cjelokupna polimerna frakcija pripada kategoriji mikroplastike. Uočeni su fragmenti nepravilnih, angularnih rubova, tanki plastični filmovi, sintetska vlakna te porozni i pjenasti polimerni materijali. Morfološke značajke čestica, poput svježih lomova, mikro-pukotina i hrapavih površina, ukazuju na sekundarnu mikroplastiku nastalu mehaničkom fragmentacijom većih plastičnih predmeta, što je u skladu s nalazima iz znanstvene literature o mikroplastici u odlagalištima (Wojnowska-Baryła et al., 2022).

Analize eluata dodatno potvrđuju okolišni značaj identificirane mikroplastike. U više uzoraka utvrđeno je izlučivanje antimona (Sb), uz lokalno povišene koncentracije bakra (Cu) i otopljenog organskog ugljika (DOC). Znanstvena literatura navodi da je antimon često povezan s plastičnim materijalima, osobito s PET plastikom i tehničkim polimerima u kojima se koristi kao katalizator ili sinergist u sustavima s usporivačima gorenja (Filella et al., 2002). Mikroplastika, zbog svoje velike specifične površine i degradiranih površinskih struktura, može adsorbirati i potom otpuštati metale i organske spojeve, čime postaje mobilni nosač onečišćivala u okolišu (Wojnowska-Baryła et al., 2022).

Jednom nastala, mikroplastika s odlagališta može se širiti u okoliš putem više putova. Procjedne vode predstavljaju ključni mehanizam prijenosa mikroplastike u podzemne i površinske vode, pri čemu su istraživanja pokazala da čak oko 90 % mikroplastike detektirane u podzemnim vodama u blizini odlagališta potječe od razgradnje zakopane plastike (Manikanda Bharath et al., 2021). Osim vodenim putem, mikroplastika se može širiti i zrakom, osobito s otvorenih i neuređenih odlagališta, gdje vjetrom potaknuta resuspenzija sitnih čestica i vlakana dovodi do taloženja u okolnim ekosustavima (Loppi et al., 2021).

Na temelju provedenih istraživanja i dostupnih rezultata, nedvojbeno je utvrđeno da analizirani otpad s predmetne lokacije sadrži značajnu količinu mikroplastike, pri čemu cjelokupna polimerna frakcija identificirana mikroskopskom analizom pripada kategoriji



mikroplastike (< 5 mm). Time je s visokom razinom pouzdanosti potvrđeno da se na lokaciji nalazi izvor sekundarne mikroplastike, nastale fragmentacijom većih plastičnih predmeta uslijed mehaničke obrade i okolišnih procesa.

Međutim, u okviru ovog vještačenja nisu provedena izravna mjerenja koncentracija mikroplastike u okolišnim matricama izvan samog otpada, poput tla u okolici lokacije, podzemnih ili površinskih voda te zraka. Iz razloga što prisutnost mikroplastike u okolišu nije kvantitativno dokazana mjerenjem, njezina pojava i prostorni doseg procjenjuju se na temelju utvrđenih svojstava otpada, okolišnih uvjeta na lokaciji i relevantnih znanstvenih spoznaja.

S obzirom na karakter utvrđenog otpada, osobito sitnozrnatost, visoki udio mikroplastične frakcije, otvoreni ili nedovoljno izolirani način odlaganja te dokazane procese izluživanja i mobilnosti pojedinih tvari, opravdano je očekivati da dolazi do emisije mikroplastike iz tijela otpada u neposredni okoliš. Znanstvena literatura dosljedno pokazuje da se u takvim uvjetima mikroplastika prvenstveno akumulira u tlu u neposrednoj blizini izvora, gdje se koncentracije u pravilu kreću od nekoliko stotina do nekoliko tisuća čestica po kilogramu suhe tvari, uz izražen pad koncentracija s udaljenošću od izvora. Najviše koncentracije očekuju se u zoni neposrednog kontakta otpada i tla, odnosno unutar prvih nekoliko desetaka metara od ruba odlaganja, dok se s povećanjem udaljenosti koncentracije smanjuju, ovisno o topografiji, tipu tla i hidrodinamičkim uvjetima.

Procjedne vode predstavljaju drugi ključni mehanizam potencijalnog širenja mikroplastike. Budući da je u otpadu potvrđena prisutnost mikroplastike i mobilnih komponenti (npr. antimon, DOC), razumno je pretpostaviti da mikroplastične čestice mogu biti transportirane vodenim putem u dublje slojeve tla te potencijalno u podzemne vode, osobito u situacijama gdje dokazano postoji preferencijalni put tečenja vode od tijela odlagališta prema podzemnom vodonosniku. Prema usporedivim istraživanjima u blizini odlagališta, mikroplastika u podzemnim vodama najčešće se detektira u rasponu stotina čestica po litri u zoni neposrednog utjecaja, pri čemu koncentracije opadaju s udaljenošću i dubinom, ali i dalje mogu biti detektabilne na udaljenostima od nekoliko stotina metara nizvodno od izvora, ovisno o hidrogeološkim uvjetima.

Dodatno, s obzirom na sitnu veličinu dijela mikroplastičnih čestica i otvoreni karakter otpada, moguće je i širenje mikroplastike zrakom putem resuspenzije čestica s površine otpada, osobito tijekom sušnih i vjetrovitih razdoblja. U takvim slučajevima, prema literaturi, taloženje mikroplastike iz zraka najveće je u neposrednoj blizini izvora, unutar nekoliko desetaka do stotinjak metara, uz brzo smanjenje koncentracija s udaljenošću.

Količinski gledano, bez izravnih mjerenja nije moguće odrediti apsolutne koncentracije mikroplastike u okolišu predmetne lokacije. Međutim, s obzirom na potvrđeni sadržaj



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



mikroplastike u otpadu, njegovu granulometriju, otvoreni način odlaganja i dokumentirane mehanizme migracije, može se stručno procijeniti da je okoliš u neposrednoj blizini lokacije pod povišenim rizikom mikroplastičnog onečišćenja u odnosu na referentna područja bez izvora plastičnog otpada. Taj se utjecaj prvenstveno odnosi na tlo u zoni neposrednog kontakta i bliskog okruženja, zatim na procjedne i podzemne vode u smjeru prirodnog otjecanja, dok je utjecaj na udaljenija područja vjerojatno slabiji, ali ne i isključen.

Integracijom rezultata terenskih istraživanja, laboratorijskih analiza, mikroskopskih nalaza i testova izluživanja, kao i usporedbom s relevantnom znanstvenom literaturom, može se zaključiti da je mikroplastika utvrđena na predmetnoj lokaciji izravna posljedica lokalnog odlaganja plastičnog otpada. Odlagalište se stoga ne može smatrati izoliranim ili pasivnim sustavom, već aktivnim i dugoročnim izvorom mikroplastičnog onečišćenja koje se može širiti u tlo, vode, zrak i biotu, s kumulativnim i potencijalno značajnim posljedicama za okoliš.

3.8 Kumulativni utjecaj

Analiza svih provedenih terenskih istraživanja, laboratorijskih analiza i interpretacije rezultata pokazuje da na predmetnoj lokaciji postoje višestruki izvori onečišćenja koji djeluju istodobno i međusobno se pojačavaju. Na lokaciji su utvrđene dvije osnovne kategorije otpada: otpad odložen na površini (crna hrpa) i otpad zakopan u podzemlju, koji se razlikuju po sastavu, fizikalnim svojstvima i potencijalnim mehanizmima utjecaja na okoliš.

Crna hrpa sastoji se pretežito od mehanički obrađene polimerne frakcije otpada s dominantnom mikroplastičnom komponentom. Mikroskopska analiza pokazuje prisutnost sekundarne mikroplastike veličine približno 100 µm do nekoliko milimetara, uz prisutnost vlaknastih i pjenastih polimernih materijala te mineralnih inkluzija. Ovakva struktura rezultira velikom specifičnom površinom čestica, što povećava potencijal adsorpcije i mobilizacije metala i drugih onečišćivala.

Otpad je odložen na neasfaltiranoj i neizoliranoj površini tla, bez zaštitnih barijera prema okolišu, što omogućuje infiltraciju oborinskih voda i procjeđivanje kroz tijelo otpada. Takav način odlaganja predstavlja izravan mehanizam prijenosa onečišćivala u tlo i potencijalno prema podzemnim vodama.

Laboratorijski testovi procjeđivanja pokazali su da u eluatu otpada dolazi do povišene mobilnosti određenih elemenata, osobito antimona (Sb). U više uzoraka koncentracije prelaze 0,7 mg/kg suhe tvari, što je granična vrijednost za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada prema Pravilniku o odlagalištima otpada (NN 4/23). Pojedini uzorci pokazuju i povišene vrijednosti otopljenog organskog ugljika (DOC), koje lokalno prelaze 800–1000 mg/kg suhe



tvori, što dodatno povećava mobilnost metala kroz mehanizam kompleksacije s organskom tvari.

Istodobno su u otpadu i tlu utvrđene izrazito povišene koncentracije metala. U pojedinim uzorcima izmjerene su vrijednosti:

- bakar (Cu) do približno 22 500 mg/kg (MDK za poljoprivredno tlo: 100 mg/kg)
- cink (Zn) do približno 1 154 mg/kg (MDK: 300 mg/kg)
- olovo (Pb) do približno 1 750 mg/kg (MDK: 100 mg/kg)
- nikl (Ni) do približno 93 mg/kg (MDK: 50 mg/kg)
- krom (Cr) do približno 103 mg/kg (MDK: 100 mg/kg)
- kadmij (Cd) do približno 6 mg/kg (MDK: 1 mg/kg)

Navedene vrijednosti u pojedinim slučajevima višestruko prelaze granične vrijednosti za poljoprivredno tlo prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 71/19), što jasno upućuje na antropogeno podrijetlo onečišćenja.

Utvrđeno je i opasno svojstvo otpada HP14 – ekotoksičnost, pri čemu izračun prema metodologiji klasifikacije otpada daje vrijednost HP14 iznosi 254,9 za uzorak J, 93,285 za uzorak I i 79,291 za uzorak H, što značajno prelazi graničnu vrijednost 25. Ovaj rezultat potvrđen je i ekotoksikološkim ispitivanjem *Daphnia magna*, čime je potvrđeno da otpad ima potencijal štetnog djelovanja na vodene organizme i ekosustave.

Jednom kada se mobilne tvari iz otpada prenesu u tlo, utjecaj se ne zaustavlja. Tlo u zoni odlaganja pokazuje povišene koncentracije elemenata u odnosu na kontrolne uzorke, a mikroplastika prisutna u površinskom sloju tla dodatno povećava zadržavanje i reaktivnost tih elemenata jer djeluje kao dugotrajni nosač onečišćivala.

Odlaganje otpada na lokaciji dovelo je i do uklanjanja prirodnog biljnog pokrova na površini od približno 17 796 m², čime je došlo do degradacije tla i gubitka staništa za biljne i životinjske vrste. Takve promjene mogu utjecati na funkciju lokalnih ekosustava te na staništa povezana s područjem ekološke mreže Natura 2000.

Vertikalni prijenos onečišćivala odvija se u hidrogeološkim uvjetima krškog sustava, koji karakterizira raspucala stijenska masa i heterogen tok podzemnih voda. Tijelo odlagališta djelomično je položeno na glinoviti sloj koji lokalno djeluje kao prirodna barijera, ali je na više mjesta raspucan, čime se povećava njegova propusnost. Upravo zbog toga je utvrđena hidrogeološka povezanost između tijela odlagališta i bušotine B1, iako se onečišćenje u podzemnim vodama može pojavljivati epizodično, ovisno o hidrološkim uvjetima.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



Paralelno s vertikalnim prijenosom odvija se i horizontalni prijenos putem zraka. Sitnoznata struktura otpada i prisutnost mikroplastike omogućuju resuspenziju čestica pri djelovanju vjetra, nakon čega se čestice talože na okolno tlo i vegetaciju.

Analiza vegetacije pokazuje da su koncentracije elemenata u biljkama u granicama prirodne varijabilnosti, ali je moguće da dio elemenata potječe od površinskog taloženja prašine na listovima i iglicama, osobito kod smreke koja je poznata po akumulaciji čestica iz atmosfere.

Upravo ponavljanje oborinskih i vjetrovnih događaja ponovno aktivira sustav prijenosa onečišćivala između otpada, tla, zraka i biote. U toj trajnoj ponovljivosti leži kumulativni karakter utjecaja.

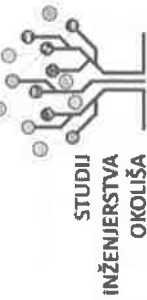
Opseg utjecaja potvrđuje prostorna rasprostranjenost promjena u okolišu koje su utvrđene u zoni do približno 50 m od ruba odlagališta, s najizraženijim utjecajem u pojasu 0–10 m, postupnim slabljenjem u zoni 10–30 m te još uvijek mjerljivim promjenama u zoni 30–50 m, što pokazuje da utjecaj nije ograničen isključivo na tijelo odlagališta, već zahvaća i okolni prostor kroz prijenos čestica, procjednih voda i taloženje prašine.

Tablica 55. Opis kumulativnog utjecaja

Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Kumulativni utjecaj	2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50-200 m	4-5 duga sanacija s rezidualnim učincima (srednjoročna šteta) - nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	5 Značajno prekoračenje vrijednosti više parametara u sastavnic (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnic)
	Kumulativni utjecaj prostorno je lokalno ograničen, ali jasno definiran, te obuhvaća područje do približno 50 m od ruba odlagališta, s najvećim opterećenjem u zoni 0–10 m, umjerenim u zoni 10–30 m, te slabljenjem prema 30–50 m. U tom prostoru istodobno se preklapaju: • uklanjanje biljnog pokrova na površini 17 796 m² • povišene koncentracije metala u tlu (Cu, Zn, Pb, Sb) • trajna prisutnost mikroplastike u površinskom sloju tla • degradacija staništa i rubnih ekosustava • potencijalni epizodični unos onečišćenja u podzemne vode	Kumulativni utjecaj karakterizira ograničena mogućnost prirodnog oporavka, ali uz mogućnost djelomičnog smanjenja utjecaja sanacijom. Uklanjanjem otpada i provedbom sanacije moguće je: • ukloniti primarni izvor onečišćenja • smanjiti daljnje procjeđivanje i emisiju čestica • provesti rekultivaciju tla i obnovu vegetacije. Međutim, određeni utjecaji mogu imati dugotrajne ili trajne posljedice:	Intenzitet kumulativnog utjecaja proizlazi iz istodobne prisutnosti više stresora: • vrlo visoke koncentracije metala u tlu (Cu do 22 500 mg/kg, Zn do 1 154 mg/kg, Pb do 1 750 mg/kg) • potvrđeno opasno svojstvo otpada HP14 – ekotoksično • mobilnost antimona u testovima procjeđivanja • trajna prisutnost mikroplastike u tlu • degradacija vegetacije i staništa. Pojedinačni utjecaji mogli bi se ocijeniti umjerenima, ali njihova kumulacija u istom



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET



Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

	• potencijalno epizodično širenje onečišćenja zrakom Iako pojedini mehanizmi mogu imati hidrogeološki širi doseg, ne postoje dokazi o regionalnom širenju onečišćenja, pa se utjecaj ocjenjuje kao lokalni, ali jasno izražen.	• mikroplastika predstavlja praktično trajnu promjenu tla • metali (Cu, Zn, Pb, Sb) ostaju dugotrajno prisutni u tlu • degradirana staništa mogu se oporavljati vrlo sporo • hidrološki događaji mogu ponovno mobilizirati metale. Stoga se utjecaj smatra dugoročnim i djelomično reverzibilnim, uz potrebu za opsežnim sanacijskim mjerama.	prostoru i vremenu stvara znatno veće opterećenje ekosustava.
--	---	--	---



3.9 Utjecaj na zdravlje ljudi

Utjecaj na zdravlje ljudi prema zonama udaljenosti od završetka otpada

Utjecaj na zdravlje ljudi u ovom vještačenju temelji se na znanstvenim referencama i potencijalu utjecaja zbog izloženosti određenih elemenata kroz više puteva pronosa. Na lokaciji su relevantni prvenstveno udisanje prašine i sitnih čestica (uključujući mikroplastiku) tijekom epizoda resuspenzije, kontakt s kontaminiranim tlom, te prehrambeni put (unos preko biljaka uzgojenih u zahvaćenoj zoni). Izloženost putem vode prema dostupnim mjerenjima nije dominantna i kontinuirana, ali se zbog dokazane mobilnosti pojedinih tvari u testovima procjeđivanja (osobito Sb) ne može isključiti epizodno, osobito nakon oborinskih događaja u krškom okolišu.

Zdravstvena relevantnost proizlazi iz činjenice da su u tlu na mjestu otpada utvrđene izrazito povišene koncentracije elemenata koji su toksikološki značajni (posebno bakar, cink, olovo i antimon), uz dokazanu biološku dostupnost (nalazi u biljkama) i prisutnost mikroplastike koja djeluje kao dodatni nosač i pojačivač izloženosti. U konkretnim nalazima antimon u tlu doseže vrijednosti reda stotina mg/kg, dok su prirodne razine reda jedinica ili manje; olovo doseže vrijednosti stotinama do preko tisuću mg/kg u tlu, a bakar lokalno više tisuća mg/kg, uz uočljiv gradijent opadanja s udaljenošću. Time je opravdano zoniranje rizika po udaljenosti, jer se intenzitet izloženosti i vjerojatnost unosa u organizam mijenjaju s dostupnošću kontaminiranog medija i učestalošću kontakta.

Na predmetnoj lokaciji u industrijskom kompleksu u Gospiću utvrđeno je postojanje značajnih količina otpada u različitim oblicima odlaganja, uključujući rasuti otpad u obliku crnih hrpa na otvorenom prostoru te zakopani otpad ispod platoa industrijskog kompleksa. Otpad sadrži različite materijale uključujući plastiku, mineralne frakcije, građevinski materijal i druge heterogene komponente, pri čemu su analizama utvrđene i povišene koncentracije pojedinih teških metala te prisutnost mikroplastike.

Potencijalni utjecaj na zdravlje ljudi može se ostvariti kroz nekoliko glavnih putova izloženosti:

- **udisanje lebdećih čestica i prašine** nastale resuspenzijom sitnozrnatog otpada,
- **kontakt s onečišćenim tlom i česticama prašine**, osobito na području same lokacije,
- **unos kroz prehrambeni lanac**, putem biljaka koje rastu u blizini lokacije i mogu akumulirati teške metale,
- **dugoročno izlaganje mikroplastici i metalnim česticama** koje se mogu taložiti u okolišu.



Znanstvena istraživanja pokazuju da lebdeće čestice koje sadrže metale i druge kontaminante mogu predstavljati zdravstveni rizik, osobito ako se radi o respirabilnim česticama koje mogu dospjeti u dišni sustav. Dugotrajna izloženost takvim česticama povezana je s respiratornim i kardiovaskularnim učincima te s povećanim rizikom od kroničnih zdravstvenih problema (WHO, 2021; Pope & Dockery, 2006). Osim toga, teški metali poput olova, kadmija i arsena mogu imati toksične učinke na ljudski organizam, osobito u slučaju dugotrajnog izlaganja i bioakumulacije u prehranbenom lancu (Alloway, 2013).

Analize biljnog materijala provedene na predmetnoj lokaciji pokazale su prisutnost određenih metala u biljkama koje rastu u blizini odlagališta, što ukazuje na mogućnost prijenosa kontaminanata iz tla u vegetaciju. Budući da biljke predstavljaju osnovu hranidbenog lanca, takav prijenos može predstavljati potencijalni indirektni put izloženosti za ljude i životinje.

Međutim, rezultati mjerenja kvalitete zraka na mjernoj postaji u Gospiću nisu pokazali sustavna prekoračenja graničnih vrijednosti za lebdeće čestice niti za metale u zraku. To upućuje da trenutne koncentracije onečišćujućih tvari u zraku ne predstavljaju značajan neposredni zdravstveni rizik za širu populaciju. Unatoč tome, zbog karakteristika otpada i načina njegova odlaganja, postoji potencijal za lokalnu izloženost stanovništva u neposrednoj blizini lokacije, osobito tijekom meteoroloških uvjeta koji pogoduju resuspenziji čestica.

Utjecaj na zdravlje ljudi na mjestu otpada

Na samom mjestu otpada radi se o zoni najvišeg intenziteta izloženosti. U ovoj zoni se preklapaju svi putevi izloženosti: neposredan kontakt s otpadom i kontaminiranim tlom, udisanje prašine i sitnih čestica te potencijalni kontakt s procjednim vodama nakon oborina. Ovdje su izmjerene najviše koncentracije metala/metaloida u tlu (npr. olovo do ~1.051 mg/kg, antimon do ~317 mg/kg, bakar lokalno do ~9.946 mg/kg) te je u eluatu potvrđena mobilnost Sb (prekoračenja kriterija za neopasan otpad), što znači da se radi o zoni u kojoj je izloženost ne samo moguća nego očekivana pri svakom boravku i aktivnosti (hodanje, rad, manipulacija materijalom). U ovoj zoni zdravstveni rizik je najizraženiji za respiratorni sustav (prašina, mikroplastika i metali), neurološke učinke kod djece (olovo) te kumulativne učinke mješavine onečišćivala. Čak i kraći boravci mogu biti relevantni ako su ponavljani, dok višemjesečni ili višegodišnji rad ili kretanje po toj zoni predstavlja visokorizičan scenarij, osobito bez osobne zaštite.

Zona 0–50 m od završetka otpada

U zoni do 50 m rizik se i dalje smatra visokim do umjereno visokim, jer je to zona u kojoj su u nalazu potvrđeni mjerljivi učinci u okolišu i gdje se u praksi događaju najčešći "prijelazi"



onečišćenja s izvora u životni prostor. U ovoj zoni dominantan je put izloženosti putem tla/prašine i resuspenzije sitnih čestica, a dodatno je relevantan prehrambeni put ako se uzgaja povrće ili boravi na okućnicama. Nalazi biljnog materijala ukazuju na biološki unos antimona (npr. ~0,28–0,34 mg/kg s.t. u drvenastim biljkama) te je u kultiviranoj biljci (kupus) na udaljenosti ~20–30 m utvrđena koncentracija antimona oko ~0,3 mg/kg s.t., što potvrđuje da se izloženost ne ograničava samo na “mjesto otpada”, već zahvaća rubnu zonu okoliša u kojoj ljudi mogu boraviti i proizvoditi hranu. U ovoj zoni su posebno relevantne ponavljane epizode prašine (vjetar, sušno razdoblje, promet/kretnje) i svakodnevni kontakt s tlom, pri čemu je rizik veći za djecu i osobe koje se bave vrtlarstvom. U smislu vremena, tjedni do mjeseci ponavljane izloženosti u ovoj zoni mogu biti zdravstveno relevantni za olovo (nema sigurnog praga), dok se za antimon i ostale elemente relevantnost tipično jača kroz mjesece do godine kontinuiranog boravka.

Zona 50–200 m od završetka otpada

U zoni 50–200 m očekuje se prijelaz iz “mjerljivog utjecaja” u “rubno/epizodno opterećenje”, uz bitno manju učestalost i intenzitet izloženosti. U ovoj zoni dominantan put izloženosti postaje udisanje sitnih čestica tijekom rijetkih epizoda resuspenzije i taloženja prašine, dok izloženost preko tla postaje relevantna samo ako postoje lokalne mikrolokacije s taloženjem ili sekundarnim prijenosom (npr. transport zemlje, odlaganje materijala, povremeno raznošenje). Budući da su u nalazima utvrđeni mehanizmi horizontalnog pronosa (sitnozrnata frakcija + mikroplastika) te da mikroplastika može djelovati kao nosač metala, ova zona se ne može automatski proglasiti “bez rizika”, ali se rizik procjenjuje kao niži i više ovisan o meteorološkim uvjetima i obrascima korištenja prostora. U ovoj zoni je tipično presudna kroničnost: povremeni kratki boravci imaju nisku vjerojatnost značajne doze, dok boravak kroz godine (npr. rad na otvorenom, dugotrajno stanovanje s čestim boravkom vani, vrtovi) može povećati kumulativni rizik, osobito ako postoji dokazano taloženje prašine ili kontaminacija tla.

Zona 200–1000 m od završetka otpada

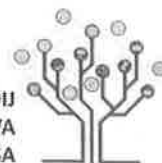
U zoni 200–1000 m, na temelju logike pronosa i dostupnih nalaza, očekuje se pretežito pozadinska izloženost, uz mogućnost rijetkih epizoda vrlo niskog intenziteta (primarno zrakom). U ovoj zoni izloženost putem tla i hrane postaje relevantna samo ako postoji specifičan razlog (npr. sekundarno odlaganje, premještanje kontaminiranog materijala, ili lokalna mikrolokacija taloženja). Bez takvih okolnosti, rizik za zdravlje ljudi procjenjuje se kao nizak, jer se i doza i učestalost kontakta s kontaminiranim medijem značajno smanjuju s udaljenošću, a utvrđeni gradijent utjecaja u nalazu upućuje na slabljenje učinaka izvan neposredne zone. Ipak, s obzirom na prisutnost mikroplastike i mogućnost resuspenzije finih čestica, potpuno isključenje bilo kakvog doprinosa nije forenzički opravdano; opravdano je reći da je utjecaj u ovoj zoni, ako postoji, vjerojatno mali i uglavnom epizodan.



Sveučilište u Zagrebu **GEOTEHNIČKI FAKULTET**

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA

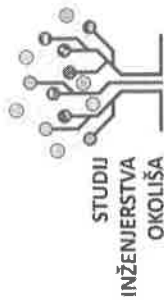


Zaključno, zdravstveni rizik je najveći na mjestu otpada, zatim u zoni 0–50 m gdje se i dalje preklapaju mjerljivi okolišni učinci i realni putevi izloženosti, u zoni 50–200 m rizik se uglavnom svodi na epizodne događaje i ovisi o korištenju prostora, dok je u zoni 200–1000 m rizik u pravilu nizak i usporediv s pozadinskim opterećenjem, osim u slučaju sekundarnih izvora ili specifičnih mikrolokacija taloženja.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



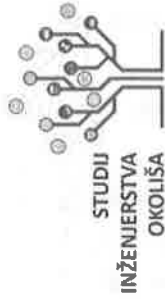
Tablica 56. Utjecaj na zdravlje ljudi

Komponenta	Opseg utjecaja (A)	Mogućnost oporavka – reverzibilnost (B)	Intenzitet štetnih tvari (C)
Utjecaj na zdravlje ljudi	2 utjecaj rasprostranjen u krugu od 50-200 m	4-5 duga sanacija s rezidualnim učincima (srednjoročna šteta) - nepovratno, sanacija nije moguća (dugotrajna šteta)	5 Značajno prekoračenje vrijednosti više parametara u sastavnici (propisane propisom, dozvolom ili nepripadajućeg parametra u sastavnici)
	Utjecaj na zdravlje ljudi povezan je prvenstveno s neposrednom blizinom izvora emisija čestica i potencijalnim kontaktom s kontaminiranim tlom i biljkama. Najveći potencijal izloženosti očekuje se na samoj lokaciji i u njenoj neposrednoj okolini, dok se s udaljenošću od izvora koncentracije čestica i kontaminanata smanjuju zbog disperzije u okolišu. Sukladno kriterijima metodologije procjenjuje se da je utjecaj ograničen na relativno lokalno područje oko lokacije u krugu od 50-200 m	Utjecaj na zdravlje ljudi u ovom slučaju povezan je prvenstveno s prisutnošću otpada kao izvora potencijalnog onečišćenja. U slučaju uklanjanja otpada i sanacije lokacije, izvor emisije čestica i kontaminanata može se ukloniti, čime se smanjuje i potencijalna izloženost stanovništva. Atmosferske koncentracije lebdećih čestica u pravilu se relativno brzo vraćaju na pozadinske vrijednosti nakon uklanjanja izvora emisije, dok onečišćenje	Na lokaciji utvrđena značajna prekoračenja više toksikološki važnih elemenata, uz potvrđeno opasno svojstvo otpada. U tlu su izmjerene vrlo visoke koncentracije olova, bakra, cinka i antimona , pri čemu su neke vrijednosti reda stotina do tisuća mg/kg, uz jasan gradijent opadanja s udaljenošću od otpada. Na samom mjestu otpada navedene su koncentracije približno Pb do 1 051 mg/kg, Sb do 317 mg/kg i Cu lokalno do 9 946 mg/kg , dok je u eluatu potvrđena mobilnost Sb s



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



		tla u zoni utjecaja ostaje trajno. Moguća je sanacija, ali djelomična. Stoga se procjenjuje da je oporavak okoliša i smanjenje potencijalnog utjecaja na zdravlje ljudi moguće nakon sanacije lokacije dok neke promjene u okolišu ostaju kao što je onečišćenje tla mikroplastikom i teškim metalima.	prekoračenjem kriterija za neopasan otpad. Dodatno, utvrđena je prisutnost mikroplastike kao nosača i pojačivača izloženosti te biološka dostupnost određenih elemenata kroz nalaze u biljkama. Posebno je važno da je za dio otpada potvrđeno svojstvo HP14 – ekotoksičnost, što ukazuje na stvarni potencijal štetnog djelovanja mješavine onečišćivala.
--	--	--	--



4 Nalaz i mišljenje vještaka

4.1 Utvrđene činjenice

Činjenice utvrđene vještačenjem:

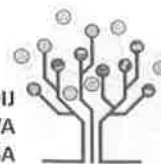
- Prostor na kojem se nalazi crna hrpa i zakopani otpad obuhvaćena je Prostornim planom uređenja Grada Gospića. Na predmetnoj lokaciji temeljem prostornog plana nije dopušteno odlaganje otpada.
- Otpad u objektima nije bio predmet vještačenja i količine nisu izmjerene i prikazane.
- Na svim sakupljenim uzorcima nije evidentirana radioaktivnost.
- Na lokaciji je utvrđena prisutnost glomaznog i kabastog otpada te otpadne ambalaže u procijenjenom volumenu od približno 1.077 m³.
- Crna hrpa je smještena na neasfaltiranoj površini od 1.855 m² i ima volumen od 9.101.78 m³. Manja crna hrpa bočno smještena ima volumen 313.02 m³, a smještena je na površini od 166 m². Gustoća ovog otpada je 456,6 kg/m³. Crna hrpa ima masu od 4.245,01 t dok bočna hrpa ima masu od 168,44 t.
- Površina ispod koje je zakopan otpad iznosi 14.267 m², prosječna dubina iznosi 2,9 m³, a prosječna gustoća 793,73 kg/m³. Prosječan volumen tijela odlagališta je 41.374 m³, a masa odloženog otpada procjenjuje se na 32.915 t.
- Patogeni organizmi nisu utvrđeni na niti jednom analiziranom otpadu.
- Na svim piezometrima svi fizikalno - kemijski parametri bili su ispod MDK za pitku vodu.
- Na svim uzorcima iz piezometara pronađeni su indikatori fekalnog onečišćenja.
- U periodu od 2017. do 2024. godine na lokaciji zahvata uklonjen je biljni pokrov na površini od 17.796 m².
- Uz rub odlagališta utvrđen je veći broj posušenih stabala ili u fazi sušenja, uglavnom smreke. Dio posušenih stabala mehanički je oštećen, dok na drugom dijelu nema vidljivih mehaničkih oštećenja, a suha su.
- U krugu od 20 km od lokacije nalaze se tri zaštićena područja i to Nacionalni park Paklenica, Park prirode Planine Velebit, Značajni krajobraz Risovac – Grabovača, te se nalaze još slijedeća područja: Geomorfološki spomenik prirode Pećina Ostrovnica, Geomorfološki spomenik prirode Pčelinja pećina, Spomenik prirode Amidžina pećina kod Perušića u Lici, Spomenik prirode Medina pećina kod Perušića u Lici, Spomenik prirode Samogradska pećina kod Perušića u Lici, Spomenik prirode Budina Ledenica / Pećina Ledenica, Spomenik prirode Petrićeva pećina.



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



- Neposredno uz lokaciju i oko lokacije nalazi se Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o pticama (HR1000021) – Lička krška polja.
- Neposredno uz lokaciju i oko lokacije nalazi se zaštićeno područje ekološke mreže Direktive o staništima – POVS (HR2001012) – Ličko polje.
- Crna hrpa predstavlja sekundarno obrađeni tehnogeni otpad u kojem dominira polimerna frakcija u obliku sekundarne mikroplastike.
- Mikroskopski nalazi potvrđuju mikroplastične čestice različitih morfologija i veličina (fragmenti/filmovi/vlakna), uz tehničke komponente.
- U crnoj hrpi utvrđeni su povišeni teški elementi/metali i povišeni pH.
- Za sva tri kompozitna uzorka (J, I i H) nedvojbeno je utvrđeno opasno svojstvo otpada HP14 – ekotoksičnost, potvrđeno izračunom prema metodologiji iz Uredbe (EU) 2017/997 i biotestom *Daphnia magna*. Izračunati indeksi ekotoksičnosti iznose: J kompozit: HP14 = 254,8, I kompozit: HP14 = 93,23, H kompozit: HP14 = 79,29 i svi uzorci prelaze graničnu vrijednost 25 za klasifikaciju otpada kao ekotoksičnog. Rezultati biotesta dodatno potvrđuju ekotoksičnost s vrijednostima LID-D = 3, 2 i 1.
- Rezultati testova procjeđivanja pokazali su povišene koncentracije antimona (Sb) u eluatu. Koncentracije antimona u velikom broju uzoraka prelaze 0,7 mg/kg suhe tvari, što predstavlja graničnu vrijednost za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada, a udovoljavaju uvjetu za prihvrat otpada na odlagalište opasnog otpada.
- Crna hrpa se konačno karakterizira kao opasan otpad, koji se u postojećem stanju mora zbrinjavati kao takav.
- Zakopani otpad predstavlja nehomogenu, slojevit masu miješanog otpada, koja uključuje plastično-organske i sitnozrnate tehnogene frakcije te mineralne/građevinske komponente, uz varijabilna energetska svojstva.
- Sortiranjem je utvrđeno da tijelo odlagališta sadrži otpad od obrade EE opreme, otpad od obrade medicinskog otpada, miješani tehnološki obrađeni otpad, nerazvrstani građevinski otpad te miješani mineralni otpad s tragovima plastike.
- U reprezentativnim kompozitnim uzorcima izmjerene su koncentracije bakra (Cu) od približno 7.929 do 22.500 mg/kg, cinka (Zn) od približno 839 do 1.154 mg/kg te olova (Pb) od približno 748 do 1.834 mg/kg, povišen je i pH.
- Na površini odlagališta utvrđeno je postojanje supstrata koji predstavlja mješavinu tla i usitnjenog otpada, uključujući vidljive fragmente plastike i drugih antropogenih materijala.
- Svi mjereni parametri tla uspoređeni su s prirodnim sadržajem metala u tlu prema Geokemijskom atlasu Republike Hrvatske (Halamić & Miko, 2009) te s MDK vrijednostima za poljoprivredno tlo prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta (NN 71/2019).



- **Kadmij (Cd)** – u tlu su izmjerene koncentracije 0,84–7,4 mg/kg. Prirodna geokemijska vrijednost u tlu iznosi približno 0,1–0,5 mg/kg, a MDK za poljoprivredno tlo je 1 mg/kg. Ne postoji jasan prostorni gradijent koncentracija kadmija u odnosu na udaljenost od odlagališta.
- **Bakar (Cu)** – u zoni odlagališta izmjerene su koncentracije 680–9.946 mg/kg, dok prirodne koncentracije u tlu iznose oko 30 mg/kg, a MDK za poljoprivredno tlo iznosi 100 mg/kg. Povišene koncentracije utvrđene su na tijelu odlagališta i u perimetru do približno 50 m od odlagališta, dok se na većim udaljenostima koncentracije smanjuju (npr. 466 mg/kg na 1 m, 57 mg/kg na 10 m, 29 mg/kg na 25 m, 13–15 mg/kg na 100–500 m).
- **Olovo (Pb)** – u tlu su izmjerene koncentracije 61,2–1.051 mg/kg. Prirodna geokemijska vrijednost u tlu iznosi približno 20–30 mg/kg, dok MDK za poljoprivredno tlo iznosi 100 mg/kg. Prekoračenja prirodnih vrijednosti utvrđena su u zoni odlagališta i lokalno u neposrednoj blizini odlagališta.
- **Cink (Zn)** – u tlu su izmjerene koncentracije 143–644 mg/kg u zoni odlagališta. Prirodne koncentracije u tlu iznose približno 60–90 mg/kg, a MDK za poljoprivredno tlo iznosi 300 mg/kg. Povišene koncentracije utvrđene su na tijelu odlagališta i u perimetru do približno 50 m od odlagališta.
- **Antimon (Sb)** – izmjerene koncentracije u tlu iznose 2,52–144 mg/kg. Prirodna geokemijska vrijednost antimona u tlu iznosi približno 0,3–1 mg/kg, dok MDK vrijednost za antimon nije propisana. Antimon je utvrđen u svim uzorcima tla, s najvišim vrijednostima na tijelu odlagališta te smanjenjem koncentracija s udaljenošću.
- **Arsen (As)** – izmjerene koncentracije u tlu iznose 0,69–2,83 mg/kg. Prirodne vrijednosti u tlima iznose približno 5–10 mg/kg, a MDK za poljoprivredno tlo iznosi 20 mg/kg. Lokalno povišenje zabilježeno je u jednom uzorku na tijelu odlagališta.
- **Krom (Cr), nikal (Ni), živa (Hg), molibden (Mo) i kobalt (Co)** – izmjerene koncentracije u tlu iznose približno: Cr 12–33 mg/kg, Ni 28–42 mg/kg, Hg 0,015–0,27 mg/kg, Mo <0,5–1,96 mg/kg i Co 15–23 mg/kg, što je unutar raspona prirodnih vrijednosti i ispod MDK za poljoprivredno tlo.
- U biljnim uzorcima uzetim na udaljenostima 0–10 m, 10–50 m i 50–200 m od tijela odlagališta utvrđena je prisutnost Sb, Cu, Zn, Pb i Cd.
- Nedvojbeno je utvrđeno onečišćenje na lokaciji odloženog otpada kao i širenje onečišćenja u ovom periodu na minimalno 50 m od odlagališta.
- Rezultati mjerenja kvalitete zraka u ljetnom, proljetnom i zimskom periodu UTT, teških metala u UTT i PM 10 i PM 2, utvrđeno je da nije bilo prekoračenja propisanih Uredbom.



4.2 Sažeti prikaz nalaza

4.2.1 Karakterizacija otpada

4.2.1.1 Crne hrpe

Na lokaciji su identificirane dvije akumulacije rasutog sitnozrnatog otpada ("crne hrpe"). Geodetskim snimanjem utvrđeno je da veća crna hrpa zauzima 1.855 m² površine i ima volumen 9.101,78 m³, dok manja hrpa zauzima 166 m² i ima volumen 313,02 m³. Na temelju utvrđene nasipne gustoće procijenjena masa otpada iznosi približno 4.245 t za veliku hrpu te 168 t za manju hrpu. Analize uzoraka pokazale su da crna hrpa predstavlja heterogeni sitnozrnati tehnogeni materijal, u kojem dominira frakcija manja od 16 mm. Granulometrijska analiza i mikroskopski pregled potvrđuju da se radi o sekundarno usitnjenom otpadu, pri čemu su identificirani fragmenti plastike, polimernih filmova, vlaknastih materijala, gume, stakla, metala i mineralnih agregata.

Mikroskopska analiza pokazala je značajnu prisutnost sekundarne mikroplastike (čestice 100–1500 µm) različitih morfologija (fragmenti, filmovi i vlakna), što jasno upućuje da materijal potječe iz tokova obrade otpada ili industrijske prerade plastike.

Kemijske analize i testovi procjeđivanja pokazali su da materijal sadrži povišene koncentracije pojedinih metala, dok se u eluatu posebno ističe antimon (Sb) koji u pojedinim uzorcima prelazi granične vrijednosti za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada.

Prisutnost metala povezuje se s dodatcima i stabilizatorima koji se koriste u tehničkim plastikama i drugim industrijskim materijalima.

Na reprezentativnom kompozitnom uzorku crne hrpe utvrđeno je opasno svojstvo HP14 – ekotoksičnost. To svojstvo potvrđeno je dvjema metodama i to računski prema Uredbi (EU) 2017/997 i biološkim testom *Daphnia magna*.

Rezultati biotesta potvrđuju stvarni ekotoksični učinak eluata otpada na vodene organizme.

Integracijom fizikalnih, kemijskih i bioloških analiza može se zaključiti da crne hrpe predstavljaju sekundarno obrađeni industrijski otpad u kojem dominira mikroplastična frakcija, vjerojatno nastala mehaničkom obradom ili usitnjavanjem različitih tehnogenih materijala (MBT/RDF ili slični rezidualni tokovi).

Zbog prisutnosti teških metala, povišenih koncentracija antimona u eluatu i potvrđenog opasnog svojstva HP14 koji je iznosio 254,89 (granica je 25), crne hrpe se konačno karakteriziraju kao opasan otpad koji se u postojećem stanju može zbrinjavati isključivo na odlagalištu opasnog otpada ili se može zbrinuti kroz postupak energetske oporabe.



4.2.1.2 Zakopani otpad

Nalazi se ispod ravne površine platoa, a zauzima površinu od oko 14.267 m². Prosječna dubina tijela odlagališta je 2,9 metara, a ukupni procijenjeni volumen zakopanog otpada iznosi približno 41.374 m³, s procijenjenom masom od 32.915 tona.

Uzorkovanje zakopanog otpada je provedeno na dva načina: iskopi bagerom (uzorci I) – uzorci veće mase i bušenje jezgri (uzorci H) – uzorci iz vertikalnog profila tijela odlagališta manje mase.

Analize pokazuju da zakopani materijal predstavlja slojevit, heterogenu masu otpada sastavljenu od mješavine: plastičnih i polimernih frakcija, organskog materijala, mineralnih i građevinskih komponenti, sitnozrnatog tehnogenog materijala.

Horizontalno otpad je nejednoliko protkan sa slojevima zemlje koja je onečišćena otpadom te razdvajanje nije moguće. Takva struktura potvrđuje da se ne radi o inertnom materijalu nego o miješanom tehnogenom otpadu.

Analize krute faze pokazale su prisutnost teških metala, pri čemu su u pojedinim uzorcima povišene koncentracije posebno za: olovo (Pb), bakar (Cu), nikal (Ni), krom (Cr) i kadmij (Cd).

Testovi procjeđivanja pokazali su da je antimon (Sb) ključni regulatorni element, jer u dijelu uzoraka prelazi granične vrijednosti za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada. Uz to su zabilježene i povišene vrijednosti DOC, što ukazuje na potencijal mobilnosti organskih tvari i emisijski potencijal otpada.

Izračun opasnog svojstva HP14 (ekotoksičnost) proveden je za reprezentativne kompozitne uzorke iz iskopa i bušotina. U oba slučaja dobiveni rezultat prelazi regulatorni prag od 25, i to za kompozitni uzorak I: $93,285 \geq 25$, za kompozitni uzorak H: $79,291 \geq 25$.

Dobiveni rezultati potvrđeni su i biološkim testom *Daphnia magna*, što dodatno potvrđuje ekotoksični potencijal otpada.

Na temelju svih analiza može se zaključiti da zakopani materijal predstavlja nehomogenu, slojevit masu miješanog industrijskog otpada, koja uključuje tehnogene sitnozrnate frakcije, plastiku i mineralne komponente.

Kemijski sastav, povišene koncentracije teških metala i prekoračenja antimona u eluatu, zajedno s potvrđenim opasnim svojstvom HP14, pokazuju da ovaj otpad nije stabiliziran, ne može se kategorizirati kao inertan niti neopasan otpad već opasan otpad koji ima aktivni emisijski i ekotoksični potencijal.

Stoga se zakopani materijal također mora smatrati neopasnim **otpadom s lokalizirano opasnim svojstvima**, čije daljnje gospodarenje zahtijeva odgovarajuće postupke obrade ili zbrinjavanja sukladno propisima za opasan otpad.

4.2.1.3 Glomazni otpad

Glomazni i ambalažni otpad: Na otvorenom prostoru zatečeno je oko **1.077 m³** glomaznog, kabastog i ambalažnog otpada (uključujući IBC kontejnere i gume).

4.2.2 Otpad kao osnovni izvor utjecaja

Na predmetnoj lokaciji utvrđeno je postojanje više kategorija otpada, od kojih su najznačajniji otpad odložen u tzv. crnim hrapama na površini terena te otpad zakopan u tlu na platou lokacije. Analize sastava otpada, rezultati sortiranja i mikroskopiranja ukazuju da se radi o heterogenom industrijskom otpadu koji sadrži značajan udio plastike, polimernih folija, gume, tekstila, mineralnih frakcija i metalnih čestica. U uzorcima otpada potvrđena je prisutnost mikroplastike, kao i povišene koncentracije pojedinih teških metala, osobito bakra (Cu), cinka (Zn), olova (Pb) i antimona (Sb).

Rezultati testova procjeđivanja ukazuju na mobilnost dijela metala iz otpada te mogućnost njihovog oslobađanja u okoliš pod utjecajem oborinskih voda i infiltracije. Ekotoksikološki testovi i proračuni provedeni prema metodologiji klasifikacije otpada pokazali su da analizirani kompozitni uzorci otpada posjeduju opasno svojstvo HP14 – ekotoksičnost. Takvo svojstvo znači da otpad može uzrokovati štetne učinke na ekosustave, osobito na vodene organizme i druge komponente okoliša.

S obzirom na sastav otpada, njegovu količinu, način odlaganja i utvrđena opasna svojstva, otpad predstavlja trajni izvor potencijalnog onečišćenja okoliša i može djelovati kao izvor utjecaja na više sastavnica okoliša istodobno.

4.2.3 Sažeti prikaz utjecaja otpada na okoliš i zdravlje ljudi

Tablica 57. Sažeti prikaz utjecaja otpada na okoliš i zdravlje ljudi

Komponenta	Utvrđene činjenice (dokaz)	Uzrok / povezanost s odlagalištem	Mehanizam prijenosa	Posljedica u okolišu	A	B	C	Sažeti opis utjecaja
HP14 – ekotoksičnost otpada	HP14 utvrđen za sve kompozite (J=254,8; I=84,4; H=36,1; prag 25)	sastav otpada (visoke koncentracije metala i kombinirani učinak)	procjeđivanje, kontakt, disperzija	toksično djelovanje na organizme i ekosustav	2	5	5	Dokazano opasno svojstvo otpada koje potvrđuje visoki ekotoksični potencijal i temelj je svih daljnjih utjecaja
Mikroplastika u tlu	prisutna mikroplastika u tlu i otpadu	izravno porijeklo iz crne hrpe (MBT/RDF tokovi)	resuspenzija, miješanje s tlom	trajna promjena svojstava tla i nosača kontaminanata	3	5	4	Trajan i srednje rasprostranjen utjecaj bez mogućnosti prirodne sanacije
Antimon (Sb)	povišene koncentracije u tlu + mobilnost u eluatu	otpad (tehneni materijal)	procjeđivanje i migracija	kemijsko opterećenje tla i potencijalni prijenos u vode	2	5	4	Lokalno rasprostranjen, ali trajan i mobilan kontaminant
Bakar (Cu)	ekstremne koncentracije u tlu (zona odlagališta + do 50 m)	otpad (tehničke/plastične frakcije)	infiltracija i miješanje	toksičnost za tlo i vegetaciju	2	5	4	Lokalno izražen, ali dugotrajan utjecaj
Cink (Zn) i olovo (Pb)	povišene koncentracije u tlu (zona + do 50 m)	otpad	infiltracija i disperzija	akumulacija i dugotrajno opterećenje tla	2	5	4	Lokalni, ali perzistentan utjecaj
Tlo (ukupno)	višestruka prekoračenja parametara + prisutnost miješanog supstrata (tlo + otpad)	odloženi i zakopani otpad + HP14 svojstva otpad	infiltracija, miješanje, kemijsko opterećenje	degradacija i trajna promjena tla	2	5	5	Značajno i trajno oštećenje tla s nepovratnim promjenama

Komponenta	Utvrdene činjenice (dokaz)	Uzrok / povezanost s odlagalištem	Mehanizam prijenosa	Posljedica u okolišu	A	B	C	Sažeti opis utjecaja
Flora	metali u biljkama + sušenje stabala	kontaminirano tlo + prašina + HP14 utjecaj	bioakumulacija i depozicija	stres, smanjenje vitalnosti i propadanje vegetacije	2	4	5	Dugotrajan utjecaj s otežanim oporavkom
Fauna	gubitak vegetacije i staništa + izloženost kontaminantima	uklanjanje pokrova + kontaminacija + HP14	prehrambeni lanac	poremećaj ekosustava i smanjenje biodiverziteta	2	4	5	Srednjoročni do dugoročni utjecaj
Natura i staništa	uklonjen biljni pokrov (17.796 m ²) + prisutnost kontaminacije	odlaganje otpada + kemijsko opterećenje + HP14	degradacija staništa	gubitak funkcije i strukture staništa	2	4-5	5	Dugotrajan do nepovratan utjecaj na staništa
Zrak	nema trajnih prekoračenja, ali prisutna prašina	sitnozrnati otpad	resuspenzija čestica	lokalna izloženost i taloženje	2	2	3	Lokalni i povremeni utjecaj
Podzemne vode	kolebanja parametara u piezometru K1-B1 (Ba, vodljivost/salinitet)	dokazana hidrogeološka povezanost s odlagalištem (B1)	procjeđivanje i infiltracija kroz krški, pukotinski sustav	promjena kemijskog sastava vode	2	3	2	Dokazano postojanje preferencijalnog puta tečenja (moguća hidrogeološka povezanost) između odlagališta i pizeometra B1.
Kumulativni utjecaj	preklapanje svih utjecaja (metali, mikroplastika, gubitak pokrova, vode) + HP14	kombinirani učinci otpada	svi putevi prijenosa	ukupna degradacija okoliša	2	4-5	5	Značajan i djelomično nepovratan ukupni utjecaj
Utjecaj na zdravlje ljudi	izloženost (tlo, prašina, hrana) + prisutnost HP14 otpada	blizina otpada	udisanje, kontakt, prehrambeni lanac	potencijalni rizik zdravstvenih rizika	2	4-5	5	Značajan lokalni rizik s dugoročnim potencijalom



5 Zaključak i mišljenje

Na predmetnoj lokaciji utvrđene su značajne količine otpada različitog sastava i svojstava, uključujući otpad koji je nedvojbeno klasificiran kao opasan (HP14 – ekotoksičan), pri čemu su analizama potvrđene izrazito povišene koncentracije štetnih i opasnih tvari (osobito Cu, Zn, Pb i Sb), kao i prisutnost mikroplastike kao trajnog i kemijski aktivnog nositelja onečišćenja.

Rezultati provedenih istraživanja potvrđuju da je došlo do onečišćenja tla i širenja utjecaja izvan samog tijela odlagališta, s jasno izraženim gradijentom koncentracija i zahvaćenim područjem koje je prostorno ograničeno, ali lokalno značajno (do približno 50–200 m). Utvrđeni su i dokazani ključni mehanizmi prijenosa onečišćujućih tvari, uključujući procjeđivanje i infiltraciju u tlo, resuspenziju sitnih čestica i mikroplastike, biološki prijenos u vegetaciju, kao i mogućnost postojanja hidrogeološke povezanosti odlagališta s podzemnim vodama (utvrđen preferencijalni put tečenja, uočena kolebanja fizikalno-kemijskih parametara u piezometru K1-B1).

Na lokaciji je došlo do uklanjanja biljnog pokrova na površini od približno 17.796 m², uz istodobno kemijsko opterećenje tla, što je rezultiralo degradacijom i nepovratnim uništenjem staništa. Prisutnost mikroplastike i povišenih koncentracija metala predstavlja trajnu promjenu svojstava tla, dok su zabilježeni i negativni učinci na vegetaciju (sušenje stabala i prisutnost metala u biljkama), što potvrđuje narušavanje funkcije ekosustava.

Iako je utjecaj trenutačno prostorno ograničen i lokaliziran, utvrđeni nalazi jasno pokazuju da, u slučaju zadržavanja otpada na lokaciji, postoji realna i očekivana mogućnost daljnjeg širenja onečišćenja kroz vrijeme, osobito putem:

- migracije metala i metaloida (Sb, Pb, Cu, Zn) u tlo i podzemne vode,
- širenja mikroplastike kao trajnog kontaminanta u okolišu,
- resuspenzije sitnih čestica i njihovog taloženja u okolnom prostoru,
- bioakumulacije u biljkama i prijenosa kroz hranidbeni lanac,
- daljnje degradacije staništa i gubitka ekoloških funkcija,
- kumulativnog djelovanja više istodobnih stresora na okoliš i zdravlje ljudi.

S obzirom na utvrđene količine otpada, njegova opasna svojstva, koncentracije kontaminanata i dokazane puteve prijenosa, može se zaključiti da se radi o lokalno značajnom, ali progresivnom utjecaju, koji je već doveo do trajnih promjena u okolišu, a bez provedbe

sanacijskih mjera predstavlja kontinuirani izvor onečišćenja s tendencijom širenja i povećanja intenziteta utjecaja na okoliš i zdravlje ljudi.

U nastavku se daju taksativni odgovori na postavljena pitanja u nalogima za ovo vještačenje:

Na temelju provedenog očevida, geotehničkih i hidrogeoloških istraživanja, uzorkovanja otpada, tla, biljaka i podzemnih voda te laboratorijskih analiza (uključujući i DIRH analize), analize svih podataka te stručne procjene utvrđeno je da je na navedenim nekretninama došlo do promjena u više sastavnica okoliša uslijed nepropisnog odlaganja otpada.

5.1 Opseg, vrsta, sastav, svojstva i količina otpada

Na predmetnoj lokaciji utvrđeno je postojanje značajnih količina otpada u više oblika odlaganja, uključujući površinski odloženi otpad (crne hrpe) i zakopani otpad u tijelu odlagališta, pri čemu se radi o prostorno opsežnom i volumenski značajnom zahvatu.

Opseg otpada obuhvaća površinu od približno 1.855 m² za glavnu crnu hrpu te dodatnih 166 m² za bočnu hrpu, dok zakopani otpad zahvaća površinu od približno 14.267 m². Ukupni obuhvat lokacije odlaganja uključuje više katastarskih čestica i predstavlja kontinuiranu zonu odlaganja otpada.

Količina otpada procijenjena je na temelju geodetskih i volumetrijskih analiza. Glavna crna hrpa ima volumen od približno 9.101,78 m³ i masu od oko 4.245,01 t, dok bočna hrpa iznosi približno 313,02 m³, odnosno oko 168,44 t. Zakopani otpad ima procijenjeni volumen od približno 41.374 m³ i masu od oko 32.915 t, uz prosječnu dubinu od 2,9 m i prosječnu gustoću od približno 793,73 kg/m³. Ukupna količina otpada na lokaciji procjenjuje se na red veličine ≈ 37.000 t.

Vrsta otpada definirana je kao miješani tehnogeni otpad heterogenog sastava, koji uključuje:

- otpad od obrade električne i elektroničke opreme (EE otpad),
- ostatke obrade medicinskog otpada,
- miješani tehnološki obrađeni otpad (MBT/RDF/SRF frakcije),
- nerazvrstani građevinski i mineralni otpad,
- plastične i polimerne frakcije,
- sitnozrnate ostatke obrade otpada.

Sastav otpada karakterizira izražena heterogenost i slojevitost. Utvrđena je prisutnost:



- plastičnih materijala i sekundarne mikroplastike,
- mineralnih i građevinskih komponenti,
- organskih i tehnogenih ostataka,
- sitnozrnatih frakcija (<16 mm),
- pri čemu su sve frakcije međusobno izmiješane i djelomično integrirane s prirodnim tlom, bez jasnog razgraničenja između otpada i tla.

Kemijski sastav otpada dodatno potvrđuje njegov tehnogeni karakter, uz prisutnost povišenih koncentracija metala (Pb, Cu, Zn, Sb, Ni, Cr, Cd) te povišenog pH i saliniteta. Testovi procjeđivanja pokazuju mobilnost antimona (Sb), dok je za reprezentativne uzorke otpada utvrđeno opasno svojstvo HP14 (ekotoksičnost), čime se otpad klasificira kao opasan otpad.

Zaključno, na lokaciji je utvrđen velik volumen i masa heterogenog, tehnogenog i djelomično opasnog otpada, koji je odložen nepropisno, u više slojeva i bez kontroliranih uvjeta, što predstavlja značajan izvor potencijalnog utjecaja na okoliš.

Otpad na lokaciji karakterizira izražena heterogenost i tehnogeni sastav, uz prisutnost:

- teških metala (Pb, Cu, Zn, Sb, Ni, Cr, Cd),
- mikroplastike,
- povišenog pH i saliniteta.

Testovi procjeđivanja pokazali su mobilnost antimona (Sb), pri čemu koncentracije prelaze granične vrijednosti za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada, ali udovoljavaju kriterijima za odlaganje opasnog otpada.

Za kompozitne uzorke otpada utvrđeno je opasno svojstvo HP14 (ekotoksičnost), pri čemu izmjerene vrijednosti iznose približno:

- 254,8 (uzorak J)
- 84,4 (uzorak I)
- 36,1 (uzorak H)

uz graničnu vrijednost od 25, što znači prekoračenje do približno 10 puta.

5.2 Promjene u okolišu

Na predmetnoj lokaciji utvrđene su značajne promjene u više sastavnica okoliša kao posljedica nepropisnog odlaganja otpada, uključujući tlo, biološku raznolikost, zrak i podzemne vode.

U sastavnici tla utvrđena je fizička i kemijska degradacija. Tlo je na velikom dijelu lokacije izmiješano s otpadom te sadrži sitnozrnate tehnogene frakcije i mikroplastiku. Kemijske analize pokazale su značajna prekoračenja koncentracija metala. Antimon (Sb) doseže vrijednosti do približno 317 mg/kg, dok su prirodne geokemijske vrijednosti reda veličine <1 mg/kg, što predstavlja višestruko povećanje. Bakar (Cu) doseže do približno 9.946 mg/kg, uz maksimalno dopuštenu koncentraciju (MDK) za poljoprivredno tlo od približno 100 mg/kg, odnosno prekoračenje reda veličine oko 100 puta. Olovo (Pb) izmjereno je do približno 1.051 mg/kg u odnosu na MDK od 100 mg/kg (≈10 puta više), dok cink (Zn) također pokazuje prekoračenja u odnosu na MDK od približno 300 mg/kg, osobito u zoni odlagališta i u perimetru do približno 50 m.

U sastavnici biološke raznolikosti utvrđeno je uklanjanje vegetacijskog pokrova na površini od približno 17.796 m², kao i sušenje i degradacija drvenaste vegetacije uz rub odlagališta. Analize biljaka potvrđuju prisutnost metala (Sb, Cu, Zn, Pb i Cd), što upućuje na prijenos kontaminanata iz tla u biotu ali nisu prekoračene standardne vrijednosti.

U sastavnici zraka nisu utvrđena prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti za lebdeće čestice (PM₁₀ i PM_{2,5}), međutim utvrđen je potencijal emisije prašine i mikroplastike s površine otpada, osobito u sušnim i vjetrovitim uvjetima.

U sastavnici podzemnih voda nisu utvrđena prekoračenja standarda kakvoće vode za piće, međutim zabilježena su kolebanja fizikalno-kemijskih parametara (osobito barija – Ba i električne vodljivosti) u nizvodnom piezometru (B1), čime je izvjesna hidrogeološka povezanost s tijelom odlagališta i potencijal migracije kontaminanata.

5.3 Opseg, trajnost i reverzibilnost štete

Šteta je najizraženija na samoj lokaciji odlagališta i u njegovoj neposrednoj okolini. U sastavnici tla, povišene koncentracije metala (Sb, Cu, Zn, Pb) utvrđene su u zoni odlagališta i u perimetru do približno **50 m**, pri čemu je vidljiv jasan gradijent smanjenja koncentracija s udaljenošću. Utjecaj putem zraka, odnosno resuspenzije čestica i mikroplastike, može se prostirati do približno **200 m**, ovisno o meteorološkim uvjetima.



Zakopani otpad zahvaća površinu od približno 14.267 m², dok je dodatno uklonjen vegetacijski pokrov na površini od približno 17.796 m², čime je zahvaćen značajan dio lokalnog ekosustava. Ukupno gledano, radi se o lokalno ograničenom, ali intenzivnom utjecaju koji obuhvaća zonu neposredno oko odlagališta i njegove rubne dijelove.

Utvrđene promjene u okolišu uključuju elemente koji su trajni ili dugotrajni. Prisutnost mikroplastike u tlu predstavlja praktički trajnu promjenu, budući da se radi o materijalu koji se ne razgrađuje u relevantnim vremenskim okvirima. Također, povišene koncentracije metala (osobito Sb, Cu, Pb i Zn) u tlu predstavljaju dugotrajno opterećenje, s obzirom na njihovu perzistentnost i sklonost akumulaciji.

Dodatno, uklanjanje vegetacijskog pokrova na površini od približno 17.796 m², u kombinaciji s kemijskim opterećenjem tla, rezultiralo je degradacijom i djelomično nepovratnim gubitkom staništa, osobito u zoni neposredno uz odlagalište.

S obzirom na utvrđene količine otpada (≈ 37.000 t) i njegova svojstva (uključujući potvrđeno opasno svojstvo HP14), utjecaj se ne može smatrati kratkotrajnim, već predstavlja dugotrajan izvor opterećenja okoliša.

Reverzibilnost štete ovisi o sastavnici okoliša i mogućnosti uklanjanja izvora onečišćenja.

U sastavnici tla, zbog prisutnosti mikroplastike i visokih koncentracija metala (npr. Cu do ≈ 9.946 mg/kg uz MDK ≈ 100 mg/kg, Pb do ≈ 1.051 mg/kg uz MDK ≈ 100 mg/kg, Sb do ≈ 317 mg/kg uz prirodne vrijednosti <1 mg/kg), promjene se smatraju djelomično nepovratnim, odnosno moguće ih je ublažiti sanacijskim mjerama, ali ne i potpuno ukloniti bez značajnih intervencija (iskop, zamjena tla).

U sastavnici biološke raznolikosti, vegetacija se može djelomično obnoviti kroz vrijeme, ali u uvjetima kontaminiranog tla oporavak je ograničen i spor, te se dio štete može smatrati dugoročnim, a lokalno i nepovratnim.

U sastavnici podzemnih voda trenutno nisu utvrđena trajna prekoračenja, te se utjecaj može smatrati reverzibilnim uz uklanjanje izvora onečišćenja, iako postoji potencijal budućeg pogoršanja.

U sastavnici zraka utjecaj je privremen i reverzibilan, vezan uz epizode resuspenzije čestica.



5.4 Prekoračenja regulatornih vrijednosti

Na temelju provedenih kemijskih analiza tla i otpada, testova procjeđivanja te određivanja opasnih svojstava otpada, utvrđena su značajna prekoračenja regulatornih vrijednosti u sastavnicama tla i otpada, dok u podzemnim vodama i zraku takva prekoračenja nisu zabilježena. U tlu su izmjerene izrazito povišene koncentracije metala, pri čemu antimon (Sb) doseže vrijednosti do približno 317 mg/kg, dok prirodne geokemijske vrijednosti iznose manje od 1 mg/kg, što predstavlja višestruko povećanje prirodne pozadine. Bakar (Cu) doseže koncentracije do približno 9.946 mg/kg, uz maksimalno dopuštenu koncentraciju (MDK) za poljoprivredno tlo od približno 100 mg/kg, što predstavlja prekoračenje reda veličine približno 100 puta. Olovo (Pb) izmjereno je do približno 1.051 mg/kg u odnosu na MDK od približno 100 mg/kg, odnosno približno 10 puta više, dok cink (Zn) pokazuje povišene koncentracije u zoni odlagališta i u perimetru do približno 50 m, uz prekoračenja u odnosu na maksimalno dopuštenu koncentraciju od približno 300 mg/kg.

U otpadu, kroz testove procjeđivanja (eluate), utvrđeno je da antimon (Sb) prelazi granične vrijednosti za prihvrat otpada na odlagalište neopasnog otpada, dok istodobno udovoljava kriterijima za odlaganje otpada na odlagalište opasnog otpada, čime je potvrđena njegova mobilnost i regulatorna relevantnost. Dodatno, za kompozitne uzorke otpada utvrđeno je opasno svojstvo HP14 (ekotoksičnost), pri čemu izmjerene vrijednosti iznose približno 254,8 za uzorak J, 84,4 za uzorak I te 36,1 za uzorak H, dok granična vrijednost iznosi 25, što znači da je prag prekoračen približno 10 puta u uzorku J, oko 3 puta u uzorku I te oko 1,5 puta u uzorku H.

U podzemnim vodama nisu utvrđena prekoračenja standarda kakvoće vode za piće, iako su zabilježene povišene vrijednosti pojedinih parametara, osobito barija (Ba) i električne vodljivosti, bez dosezanja regulatornih pragova. U zraku također nisu utvrđena prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti za lebdeće čestice (PM10 i PM2,5) niti za ukupne taložne tvari. U biljnim uzorcima utvrđena je prisutnost metala (Sb, Cu, Zn, Pb i Cd), međutim za ovu sastavnicu nisu definirani regulatorni pragovi koji bi omogućili formalno utvrđivanje prekoračenja.

Zaključno, regulatorna prekoračenja nedvojbeno su utvrđena u tlu (Sb, Cu, Pb i Zn) te u otpadu kroz testove procjeđivanja (Sb) i određivanje opasnog svojstva HP14, dok u podzemnim vodama i zraku takva prekoračenja nisu utvrđena.

5.5 Razina opasnosti i vjerojatnost nastanka štete

Na temelju utvrđenog sastava otpada, njegovih fizikalno-kemijskih svojstava, rezultata testova procjeđivanja, određivanja opasnih svojstava te izmjerenih koncentracija kontaminanata u



okolišu, procjenjuje se da je razina opasnosti na predmetnoj lokaciji visoka, uz istodobno utvrđenu značajnu vjerojatnost nastanka štete za okoliš, biološku raznolikost i zdravlje ljudi.

Razina opasnosti proizlazi prvenstveno iz činjenice da je za otpad utvrđeno opasno svojstvo HP14 (ekotoksičnost), pri čemu izmjerene vrijednosti dosežu približno 254,8 (uzorak J), 84,4 (uzorak I) i 36,1 (uzorak H), uz graničnu vrijednost od 25, što znači prekoračenje do približno 10 puta. Navedeno potvrđuje izražen ekotoksični potencijal otpada i njegovu sposobnost štetnog djelovanja na organizme i ekosustav.

Dodatno, u tlu su utvrđene izrazito povišene koncentracije metala, osobito bakra (Cu) do približno 9.946 mg/kg uz maksimalno dopuštenu koncentraciju od 100 mg/kg, olova (Pb) do približno 1.051 mg/kg uz MDK od 100 mg/kg, te antimona (Sb) do približno 317 mg/kg u odnosu na prirodne vrijednosti manje od 1 mg/kg. Ovakve koncentracije višestruko prelaze regulatorne i prirodne vrijednosti te ukazuju na snažno kemijsko opterećenje tla i potencijal toksičnog djelovanja.

Rezultati testova procjeđivanja dodatno potvrđuju mobilnost antimona (Sb), koji prelazi granične vrijednosti za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada, čime je potvrđen potencijal migracije kontaminanata iz otpada u okoliš, osobito u tlo i podzemne vode.

Vjerojatnost nastanka štete procjenjuje se kao visoka u lokalnom prostoru, budući da su već utvrđeni konkretni učinci u okolišu, uključujući:

- kemijsko onečišćenje tla s višestrukim prekoračenjima,
- prijenos metala u biljni materijal (dokazana bioakumulacija),
- degradaciju i gubitak staništa na površini od približno 17.796 m²,
- postojanje puta prijenosa prema podzemnim vodama (dokazana hidrogeološka povezanost kroz piezometar B1).

U prostornom smislu, najveći intenzitet utjecaja utvrđen je na samoj lokaciji i u zoni do približno 50 m od tijela odlagališta, gdje su zabilježene i najviše koncentracije kontaminanata u tlu. U zoni od približno 50–200 m utjecaj se smanjuje, ali je i dalje mjerljiv kroz prisutnost metala u tlu i biljkama te potencijal izloženosti putem prašine i resuspenzije čestica. Izvan tog područja ($\approx$ 200–1000 m) utjecaj se procjenjuje kao nizak i pretežito epizodan, primarno putem zraka, bez dokaza značajnog nakupljanja kontaminanata u okolišu.

Za podzemne vode, zbog krškog i pukotinskog sustava, potencijalni opseg širenja nije strogo ograničen na površinski perimetar, već može obuhvatiti šire područje (red veličine stotine metara i više), ovisno o hidrogeološkim uvjetima, iako trajno onečišćenje u trenutku mjerenja nije utvrđeno.



S obzirom na ukupnu količinu otpada od približno 37.000 t, njegov heterogeni i tehnogeni sastav te prisutnost više istodobnih mehanizama prijenosa (procjeđivanje, resuspenzija, bioakumulacija), utvrđuje se da otpad predstavlja trajni izvor opasnosti i kontinuirani pritisak na okoliš.

Zaključno, razina opasnosti ocjenjuje se kao visoka, dok se vjerojatnost nastanka i daljnjeg razvoja štete procjenjuje kao visoka u zoni do 50 m, umjerena do visoka u zoni 50–200 m, te niska do umjerena izvan 200 m, uz jasno utvrđenu mogućnost progresije i širenja utjecaja u slučaju neuklanjanja otpada.

Iako je utvrđeno da otpad nema zapaljiva svojstva, odnosno vjerojatnost samozapaljenja je niska, obzirom na količinu crne hrpe, visoku ogrjevnu vrijednost, smještaj i dostupnost (na lokaciji nema kontrole pristupa) postoji potencijalna opasnost od namjernog izazivanja požara od strane čovjeka.

5.6 Zaključak

Na predmetnoj lokaciji utvrđeno je postojanje velike količine miješanog tehnogenog otpada (≈ 37.000 t) s potvrđenim opasnim svojstvima (HP14 višestruko iznad granične vrijednosti 25), uz značajna prekoračenja koncentracija metala u tlu (Cu do ≈ 9.946 mg/kg uz MDK ≈ 100 mg/kg, Pb do ≈ 1.051 mg/kg uz MDK ≈ 100 mg/kg, Sb do ≈ 317 mg/kg uz prirodne vrijednosti <1 mg/kg), čime je nedvojbeno potvrđeno kemijsko onečišćenje i degradacija tla.

Utvrđeni su i konkretni učinci u okolišu, uključujući prijenos kontaminanata u biljke, uklanjanje vegetacijskog pokrova na površini od približno 17.796 m² te gubitak i degradaciju staništa, dok je kroz piezometar B1 potvrđena hidrogeološka povezanost s tijelom odlagališta, odnosno postojanje puta prijenosa prema podzemnim vodama.

Utjecaj je prostorno ograničen, ali jasno definiran, s najvećim intenzitetom u zoni do približno 50 m, smanjenim ali i dalje mjerljivim utjecajem do približno 200 m, te mogućim širenjem putem podzemnih voda i izvan tog područja.

S obzirom na količinu otpada, njegova opasna svojstva, utvrđena prekoračenja regulatornih vrijednosti i postojanje aktivnih mehanizama prijenosa, zaključuje se da otpad predstavlja trajni izvor opasnosti i značajan rizik za okoliš i zdravlje ljudi, pri čemu postoji realna i očekivana mogućnost daljnjeg širenja štete u slučaju neprovođenja sanacijskih mjera.

6 Popis literature

Nalaz i mišljenje po nalogima Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta KIS US 12/2025 od 9. svibnja 2025 i 2. srpnja 2025., lokacija Gospić – neinvazivni istražni radovi, GFV, srpanj 2025.

Petrovic, I., Kaniski, N., Hrnčić, N., Bosilj, D.: Variability in the solid particle density and its influence on the corresponding void ratio and dry density: a case study conducted on the MBT reject waste stream from the MBT plant in Marišćina, Croatia. Appl. Sci. 12(12), 6136 (2022a). <https://doi.org/10.3390/app12126136>

Petrovic, I., Kaniski, N., Hrnčić, N., Hip, I.: Correlations between field capacity, porosity, solid particle density and dry density of a mechanically and biologically (biodried) treated reject waste stream // Bioresource technology reports, 17 (2022b). doi: 10.1016/j.biteb.2022.100996

ASTM D 2216 Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

ASTM D 422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

ASTM D 4254 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.

ASTM D 5550 Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer.

Rand, G.M., Wells, P.G. & McCarty, L.S. (1995). Introduction to Aquatic Toxicology. CRC Press. <https://www.routledge.com/Introduction-to-Aquatic-Toxicology/Rand-Wells-McCarty/p/book/9781566700929>

Alloway, B.J. (2013). Heavy Metals in Soils. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4470-7>

Salomons, W. & Förstner, U. (1984). Metals in the Hydrocycle. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-69325-0>

Geodetsko snimanje volumena odloženog otpada na lokaciji Gospić, prosinac 2025.

Bioportal – Informacijski sustav zaštite prirode <https://bioportal.hr/>

Službene internetske stranice Grada Gospića <https://gospic.hr/>



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Informacijski sustav prostornog uređenja <https://ispu.mgipu.hr/>

Prostorni plan uređenja Grada Gospića (Službeni vjesnik Grada Gospića broj 9/05, 1/06-
ispravak, 4/09, 5/12, 3/14, 7/14, 2/15, 3/18, 2/22, 4/22-pročišćeni tekst i 3/23)

Preliminarni izvještaj vještačenja zaštite okoliša za lokaciju industrijskog kompleksa Gospić,
Bilajska 50, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, rujan 2025.

Geoportal Državne geodetske uprave <https://geoportal.dgu.hr/>

Karta zaštićenih područja ekološke mreže <https://bioportal.hr/gis/>

UNESCO - MAB Program „Čovjek i biosfera“ (MAB). Izvor: <https://mzozt.gov.hr/>

GIS slojevi – Speleološki objekti, izvor: <https://haop.hr/hr/baze-i-portali/katastar-speleoloskih-objekata-republike-hrvatske/>

Flora Croatica Database (FCD) <https://hirc.botanic.hr/fcd/>

BioAtlas <https://bioatlas.bioportal.hr/>

Preliminarni izvještaj o ispitivanju kvalitete zraka s mjerne postaje Gospić, Nastavni zavod za
javno zdravstvo Splitsko dalmatinske županije (broj izvještaja 2025/082-3 od 30.12.2025.
godine)

C. A. Velis, P. J. Longhurst, G. H. Drew, R. Smith & S. J. T. Pollard (2010) Production and Quality Assurance of Solid Recovered Fuels Using Mechanical—Biological Treatment (MBT) of Waste: A Comprehensive Assessment, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40:12, 979-1105, DOI: 10.1080/10643380802586980

Elena Cristina Rada, Marco Ragazzi. Selective collection as a pretreatment for indirect solid recovered fuel generation, *Waste Management*, Volume 34, Issue 2, 2014, Pages 291-297, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.11.013>.

C.A. Velis, P.J. Longhurst, G.H. Drew, R. Smith, S.J.T. Pollard. Biodrying for mechanical—biological treatment of wastes: A review of process science and engineering, *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 11, 2009, Pages 2747-2761, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>.

Blight, G. E. (2009). Geotechnical engineering for mine waste storage facilities. CRC Press / Taylor & Francis. ISBN 9780415468282. <https://doi.org/10.1201/9780203859407>



Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano, Jorge Gómez Benavides, Simon Holbrook, Serge Roudier; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration; EUR 29971 EN; doi:10.2760/761437

Komilis D, Evangelou A, Giannakis G, Lymperis C. Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management*, 2012 Mar;32(3):372-81. doi: 10.1016/j.wasman.2011.10.034. Epub 2011 Nov 26. PMID: 22119517.

Pravilnik o odlagalištima otpada (Narodne novine 4/2023)

Violante, A, Cozzolino, V, Perelomov, L, Caporale, A.G, & Pigna, M. MOBILITY AND BIOAVAILABILITY OF HEAVY METALS AND METALLOIDS IN SOIL ENVIRONMENTS. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2010, 10(3), 268-292. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000100005>

Montserrat Filella, Nelson Belzile, Yu-Wei Chen. Antimony in the environment: a review focused on natural waters: I. Occurrence, *Earth-Science Reviews*, 2002, Volume 57, Issues 1–2, Pages 125-176, ISSN 0012-8252, [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00070-8).

Tingqiang Li, Qi Tao, Chengfeng Liang, M.J.I. Shohag, Xiaoe Yang, Donald L. Sparks, Complexation with dissolved organic matter and mobility control of heavy metals in the rhizosphere of hyperaccumulator *Sedum alfredii*, *Environmental Pollution*, Volume 182, 2013, Pages 248-255, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.025>.

Charlotta Tiberg, Carin Sjöstedt, Karin Karlfeldt Fedje. Speciation of Cu and Zn in bottom ash from solid waste incineration studied by XAS, XRD, and geochemical modelling, *Waste Management*, 2021, Volume 119, Pages 389-398, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.023>.

Umberto Arena, Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review, *Waste Management*, Volume 32, Issue 4, 2012, Pages 625-639, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>

Astrup, T., Mosbæk, H. & Christensen, T.H. (2015). Assessment of landfill leaching behaviour of waste residues. *Waste Management*, 45, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.021>

van der Sloot, H.A., Comans, R.N.J. & Hjelmar, O. (2001). Similarities in the leaching behaviour of trace contaminants from waste, soil and sediment. *Waste Management*, 21, 753–765. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(01\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(01)00065-2)



Christensen, T.H. et al. (2001). Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, 16, 659–718. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00082-2](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00082-2)

Hjelmar, O., van der Sloot, H.A., Comans, R.N.J. & Wahlström, M. (2013). Waste Materials in Construction. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13741>

Salminen, R. (Ed.), Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., ... Tarvainen, T. (2005). Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and maps. Geological Survey of Finland. <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/articles.php>

Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. & O'Connor, P. (eds.) (2014). Chemistry of Europe's agricultural soils. *Geologisches Jahrbuch*, Reihe B 102–103. https://gemas.eurogeosurveys.org/Publications_GEMAS.htm

Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (Narodne novine 71/2019)

Josip Halamić i Slobodan Miko (ur.): Geokemijski atlas Republike Hrvatske", Kartografija i geoinformacije, vol.9, br. 14, str. 134-139, 2010. [Online]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/64955>

The Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment's (2000) Dutch Target and Intervention Values, www.esdat.net

European Commission (2014). Progress in the management of contaminated sites. <https://www.eea.europa.eu/publications/progress-in-management-of-contaminated-sites>

European Commission (2023). Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience. https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring_en

Renwei Feng, Chaoyang Wei, Shuxin Tu, Yongzhen Ding, Ruigang Wang, Junkang Guo. The uptake and detoxification of antimony by plants. *Environmental Pollution*, 2013, 172, 239–246. <https://ipp.caas.cn/Upload/Files/NewsAttatches/2647/1-s2.0-S0098847213001214-main-.2013101293639.pdf>

Zeng D, Zhou S, Ren B, Chen T. Bioaccumulation of Antimony and Arsenic in Vegetables and Health Risk Assessment in the Superlarge Antimony-Mining Area, China. *Journal of analytical methods in chemistry*. 2015; 2015:909724. doi: 10.1155/2015/909724. Epub 2015 Sep 9. PMID: 26442167; PMCID: PMC4579318.

Tang H, Meng G, Xiang J, Mahmood A, Xiang G, SanaUllah, Liu Y, Huang G. Toxic effects of antimony in plants: Reasons and remediation possibilities-A review and future prospects.

Frontiers in plant science. 2022 Oct 26;13:1011945. doi: 10.3389/fpls.2022.1011945. PMID: 36388491; PMCID: PMC9643749.

Lamersdorf, N.P., Godbold, D.L. & Knoche, D. Risk assessment of some heavy metals for the growth of Norway spruce. *Water Air Soil Pollut* **57**, 535–543 (1991).
<https://doi.org/10.1007/BF00282917>

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V.R., Le Roux, G., Jiménez, P.D., Simonneau, A., Binet, S. & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12, 339–344.
<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>

Amato, F., Schaap, M., Reche, C., et al. (2014). Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions. *Journal of Hazardous Materials*, 275, 31–36.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.053>

Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M. & Sukumaran, S. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*, 368, 1257–1260.
<https://doi.org/10.1126/science.aaz5819>

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C. & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104, 290–293.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>

Etyemezian, V., Kuhns, H., Gillies, J., Chow, J., Hendrickson, K., McGown, M. & Pitchford, M. (2003). Vehicle-based road dust emission measurement: Part II – effect of precipitation, wintertime road sanding, and street sweepers on inferred PM10 emission potentials from paved and unpaved roads. *Atmospheric Environment*, 37, 4573–4582.
[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00550-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00550-1)

Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C.R., et al. (2004). Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in Spain. *Journal of Aerosol Science*, 35, 1151–1172.
<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.04.002>

Frias, J.P.G.L. and Nash, R. (2019) Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, pp. 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

Gupta, A., Verma, A. and Atri, R.K. (2025) Landfills as a potential source and origin of microplastics: Formation, composition, and environmental risks. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1689154. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1689154>



Loppi S, Roblin B, Paoli L, Aherne J. Accumulation of airborne microplastics in lichens from a landfill dumping site (Italy). *Scientific reports*. 2021 Feb 25;11(1):4564. doi: 10.1038/s41598-021-84251-4. PMID: 33633254; PMCID: PMC7907242.

Manikanda Bharath, K., Natesan, U., Vaikunth, R., Praveen Kumar, R., Ruthra, R. and Srinivasalu. 2021. Spatial distribution of microplastic concentration around landfill sites and its potential risk on groundwater. *Chemosphere* 277. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33770695>

Upadhyay, A. and Bajpai, R. (2021) Microplastics in landfill leachate and surrounding groundwater. *Environmental Pollution*, 291, 118158. doi: 10.46488/NEPT.2021.V20I05.009

Wojnowska-Baryła, I., Bernat, K. and Zaborowska, M. 2022. Plastic Waste Degradation in Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and Indirect Environmental Effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(20), p. 13223. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9602440/>

Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M., Oinas, P. Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste. *Waste Management and Research* 1-9, 2015, doi: 10.1177/0734242X15615697

Cheela, V.R.S., John, M. & Dubey, B. Quantitative determination of energy potential of refuse derived fuel from the waste recovered from Indian landfill. *Sustainable Environment Research* 31, 24 (2021). <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00097-5>

Sundar S, Chakravarty J. Antimony toxicity. *Int J Environ Res Public Health*. 2010 Dec;7(12):4267-77. doi: 10.3390/ijerph7124267. Epub 2010 Dec 20. PMID: 21318007; PMCID: PMC3037053.

WHO (2017a). *Antimony in Drinking Water*. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/antimony.pdf>

Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>

World Health Organization (2011). *Copper in Drinking Water*. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-WSH-03.04-88>

World Health Organization (2017b). *Lead in Drinking Water*. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.7>



World Health Organization (2017c). *Zinc in Drinking Water*.
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-WSH-03.04-97>

World Health Organization (2017d). *Cadmium in Drinking Water*.
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.2>

World Health Organization (2017e). *Arsenic in Drinking Water*.
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.1>

Nechita C, Iordache AM, Roba C, Sandru C, Zgavarogea R, Camarero JJ. Heavy Metal Health Risk Assessment in *Picea abies* L. Forests Along an Altitudinal Gradient in Southern Romania. *Plants* (Basel). 2025 Mar 19;14(6):968. doi: 10.3390/plants14060968. PMID: 40265890; PMCID: PMC11944697.

Murciego AM, Sánchez AG, González MA, Gil EP, Gordillo CT, Fernández JC, Triguero TB. Antimony distribution and mobility in topsoils and plants (*Cytisus striatus*, *Cistus ladanifer* and *Dittrichia viscosa*) from polluted Sb-mining areas in Extremadura (Spain). *Environ Pollut*. 2007 Jan;145(1):15-21. doi: 10.1016/j.envpol.2006.04.004 . Epub 2006 May 24. PMID: 16730108.

J.R. Aboal, J.A. Fernández, T. Boquete, A. Carballeira. Is it possible to estimate atmospheric deposition of heavy metals by analysis of terrestrial mosses?, *Science of The Total Environment*, Volume 408, Issue 24, 2010, Pages 6291-6297, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.013>.

Joso Vukelić (2012) *Šumska vegetacija Hrvatske*, izdavač: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Državni zavod za zaštitu prirode, ISBN: 978-953-292-024-6

Vijeće Europskih zajednica. (1992). Direktiva Vijeća 92/43/EEZ od 21. svibnja 1992. o očuvanju prirodnih staništa i divlje faune i flore.

South DB, Is the recommended pH for growing hardwood seedlings wrong?, *Reforesta*, (2019) 7: 81-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.21750/REFOR.7.07.69>

Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>

Tschan M, Robinson BH, Nodari M, Schulin R. (2009) Antimony uptake by different plant species from nutrient solution, agar and soil. *Environmental Chemistry* 6, 144–152.
<https://doi.org/10.1071/EN08103>



Feng, R., Wei, C., Tu, S., Tang, S., Wu, F. (2011) Detoxification of antimony by selenium and their interaction in paddy rice under hydroponic conditions, *Microchemical Journal*, Volume 97, Issue 1, Pages 57-61, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.06.003>

Stančić, Z., Vuković, G., Đorđević, D., & Antonijević, M. (2022). Assessment of heavy metal deposition on plant leaves and their potential risk in urban environments. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 12345–12358.

Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001) Soils -- Trace element content, Plants -- Effect of trace elements on, Plants -- Composition, Trace elements, Plant-soil relationships, 3rd Edition, Boca Raton, Fla. : CRC Press

Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>

Adriano, D. C. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals* (2nd ed.). New York: Springer. ISBN 978-0-387-98678-4

Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, Article ID 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>

Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. & Sreekanth, T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ Chem Lett* 8, 199–216 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>

Marschner, P. (Ed.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). London: Academic Press. ISBN: 978-0-12-384905-2

7 Popis slika

Slika 1 Lokacija Gospić, Bilajska 50	6
Slika 2 Lokacije piezometara označene crvenom točkom	9
Slika 3 Lokacije uzimanja uzoraka iskopa (I), bušenja (H) te uzoraka crnih hrpa (J)	10
Slika 4 Fotografije jezgre bušotine B-1 (oznaka K)	15
Slika 5 Fotografije jezgre bušotine B-2 (oznaka O)	17
Slika 6 Fotografije jezgre bušotine B3-oznaka N	20
Slika 7 Primjeri nabušenih jezgri H1 do H5, iskopa H1, i iskopa J3	22
Slika 8 Višegodišnja ruža vjetrova za GMP (glavna meteorološka postaja) Gospić (2020.-2023.). Kratice: Rel. čest. - relativna čestina za pojedini smjer vjetra (%), Sr. br. – srednja brzina za pojedini smjer vjetra (m/s). Izvor: Državni hidrometeorološki zavod, podaci dobiveni na zahtjev.	24
Slika 9 Lokacije uzimanja uzoraka tla (1)	25
Slika 10 Lokacije uzimanja uzoraka tla (2)	26
Slika 11 Lokacije uzimanja uzoraka tla (3)	26
Slika 12 Lokacije uzimanja uzoraka biljaka (1)	27
Slika 13 Lokacije uzimanja uzoraka biljaka (2)	27
Slika 14 Iskop J1	31
Slika 15 Iskop J2	31
Slika 16 Iskop J3	31
Slika 17 Iskop J4	31
Slika 18 Iskop I1	35
Slika 19 Iskop I2	35
Slika 20 Iskop I3	35
Slika 21 Iskop I4	36
Slika 22 Iskop I5	36
Slika 23 Iskop I6 i M uzorka	36
Slika 24 Bušotine H1, H2 i H3	36
Slika 25 Bušotine H4 i H5	37
Slika 26 Korelacijski odnos između PI , CF , e i k . (Tavenas i sur., 1983)	38
Slika 27 Učrtano na izvodu iz Prostornog plana uređenja Grada Gospića – kartografski prikaz 1. Korištenje i namjena prostora	50
Slika 28 Učrtano EP na izvodu iz Prostornog plana uređenja Grada Gospića – kartografski prikaz 2.3. Vodnogospodarski sustavi, obrada, skladištenje i zbrinjavanje otpada	51
Slika 29 Učrtano EP na izvodu iz Prostornog plana uređenja Grada Gospića – kartografski prikaz 3. Uvjeti korištenja i zaštite prostora	52
Slika 30 Granulometrijska krivulja uzorka J1.1	59



Slika 31 Granulometrijska krivulja uzorka J1.2	59
Slika 32 Granulometrijska krivulja uzorka J3.1	59
Slika 33 Granulometrijska krivulja uzorka J4.1	60
Slika 34 Uzorak J1.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	60
Slika 35 Uzorak J1.2 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	61
Slika 36 Uzorak J3.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	61
Slika 37 Uzorak J4.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	61
Slika 38 Oblak točaka s prikazanim područjima obračuna volumena (crveno).....	65
Slika 39 Granulometrijska krivulja uzorka I1.1	75
Slika 40 Granulometrijska krivulja uzorka I1.2	75
Slika 41 Granulometrijska krivulja uzorka I2.1	76
Slika 42 Granulometrijska krivulja uzorka I4.1	76
Slika 43 Granulometrijska krivulja uzorka I5.1	76
Slika 44 Granulometrijska krivulja uzorka I6.1	77
Slika 45 Granulometrijska krivulja uzorka H2.1	77
Slika 46 Granulometrijska krivulja uzorka H2.5	77
Slika 47 Granulometrijska krivulja uzorka H2.7	78
Slika 48 Granulometrijska krivulja uzorka H3.1	78
Slika 49 Granulometrijska krivulja uzorka H4.2	78
Slika 50 Granulometrijska krivulja uzorka H5.4	79
Slika 51 Granulometrijska krivulja uzorka H5.6	79
Slika 52 Granulometrijska krivulja uzorka H5.10	79
Slika 53 Uzorci H1.1, H1.2, H1.3, H2.2, H2.3, H2.4, H2.6, H4.1, H5.1, H5.2, H5.3, H5.5 i I3.3 - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	91
Slika 54 H2.1, H2.5, H2.7, H3.1, H4.2, H5.4, H5.6, H5.8, H5.9 i H5.10, I1.1, I1.2, I1.3, I2.1, I2.2, I2.3, I2.4, I3.1, I3.2, I4.1, I5.1, I6.1 - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	93
Slika 55 Prikaz dubina procijenjenih geofizičkim istražnim radovima	96
Slika 56 Procjena površine obuhvaćene tijelom odlagališta	97
Slika 57 Vrijednosti parametara testa procjeđivanja koji odstupaju od zahtjeva za neopasan otpad (bušenje, iskop i crna hrpa).....	100
Slika 58 Vrijednosti parametara testa procjeđivanja koji odstupaju od zahtjeva za neopasan otpad (inspekcijski nalaz)	101
Slika 59 Vrijednosti parametara testa procjeđivanja koji odstupaju od zahtjeva za neopasan otpad kumulativni prikaz	102
Slika 60 Piezometri sa dobivenim vrijednostima mjerenja	105
Slika 61 Vodljivost, temperatura i salinitet na B-1 (19.12-24.2.2025).....	106
Slika 62 Vodljivost, temperatura i salinitet na B-2 (19.12-24.2.2025).....	107
Slika 63 Vodljivost, temperatura i salinitet na B-3 (19.12-24.2.2025).....	108



Slika 64 Stanje 2017/18	117
Slika 65 Uklonjena površina 2019/20	117
Slika 66 Uklonjena površina 2021/22	118
Slika 67 Uklonjena površina 2022/23	118
Slika 68 Uklonjena površina 2023/24	119
Slika 69 Središnji ravni dio odlagališta otpada u Gospiću bez ili sa vrlo malo biljnog pokrova	121
Slika 70 Rubni dio odlagališta otpada u Gospiću, površina na kojoj dominira vrsta <i>Polygonum aviculare</i>	121
Slika 71 Rubni dio odlagališta otpada u Gospiću na površini kojeg su zastupljene zeljaste jednogodišnje i višegodišnje biljne vrste	122
Slika 72 Prikaz posušenih stabala, uglavnom smreke, uz sjeverni rub odlagališta u Gospiću	122
Slika 73 Prikaz posušenih stabala smreke uz zapadni dio odlagališta u Gospiću	123
Slika 74 Posušena stabla smreke uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine	123
Slika 75 Posušena stabla smreke uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine	124
Slika 76 Posušena stabla smreke i dijelom nagnuta uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine	124
Slika 77 Djelomično posušeno stablo trešnje na odlagalištu otpada u Gospiću	125
Slika 78 Nagnuta i porušena stabla smreke uz rub odlagališta u Gospiću, prikaz iz blizine. ...	125
Slika 79 Prikaz zaštićenih područja kategoriziranih prema hrvatskim propisima. Izvor: MZOZT (2025).	127
Slika 80 Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o pticama pod nazivom „Lička krška polja“ označeno je na karti blijedo žutom bojom. Izvor podataka: MZOZT (2025). Područje odlagališta otpada u Gospiću označeno je crvenim linijama.	128
Slika 81 Zaštićeno područje ekološke mreže prema Direktivi o staništima pod nazivom „Ličko polje“ označeno je na karti blijedo zelenom bojom. Izvor podataka: MZOZT (2025). Područje odlagališta otpada u Gospiću označeno je crvenim linijama.	129
Slika 82 Zaštićeno područje rezervata biosfere „Velebit“ koji je dio UNESCO Programa „Čovjek i biosfera“ (MaB). Izvor podataka: MZOZT (2025). Područje odlagališta otpada u Gospiću označeno je crvenom točkom. Područje rezervata biosfere podijeljeno je u tri zone zaštite: smeđa područja – područja jezgre, područja najstrože zaštite; ljubičasta područja - područja utjecaja, svjetlo ljubičasto označeno je prijelazno područje.	130
Slika 83 Karta kopnenih ne-šumskih staništa iz 2016. na području odlagališta i u okolici. Izvor: MZOZT (2025). Oznake: J (sivo) - Izgrađena i industrijska staništa, E (zeleno) – elementi šuma, C (žuto) – travnjaci, C232 - mezofilne livade košanice (NKS kod: C.2.3.2.), C3434 - bujadnice (NKS kod: C.3.4.3.4.), C353 - travnjaci vlasastog zmijska (NKS kod: C.3.5.3.), I (narančasto) – zapuštene poljoprivredne površine. Izvor podataka: MZOZT (2025).	133
Slika 84 Lokacije mjerenja kvalitete zraka u Gospiću	138



Slika 85 Uzorak J1.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	150
Slika 86 Uzorak J1.2 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	151
Slika 87 Uzorak J3.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	152
Slika 88 Uzorak J4.1 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	153
Slika 89 Uzorak H1.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	163
Slika 90 Uzorak H1.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	164
Slika 91 Uzorak H1.3 – a) makroskopska slika bušotine; b) - slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	165
Slika 92 Uzorak H2.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	166
Slika 93 Uzorak H2.3 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	167
Slika 94 Uzorak H2.4 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	168
Slika 95 Uzorak H2.6 - a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	169
Slika 96 Uzorak H4.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	170
Slika 97 Uzorak H5.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	171
Slika 98 Uzorak H5.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	172
Slika 99 Uzorak H5.3 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	173
Slika 100 Uzorak H5.5 – a) makroskopska slika bušotine; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	174
Slika 101 Uzorak I3.3 – slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	175
Slika 102 Uzorak H2.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	176
Slika 103 Uzorak H2.5 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	177
Slika 104 Uzorak H2.7 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	178
Slika 105 Uzorak H3.1 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	179



Slika 106 Uzorak H4.2 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	180
Slika 107 Uzorak H5.4 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	181
Slika 108 Uzorak H5.6 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	182
Slika 109 Uzorak H5.8 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	183
Slika 110 Uzorak H5.9 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	184
Slika 111 Uzorak H5.10 – a) makroskopska slika bušotine; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	185
Slika 112 Uzorak I1.1 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	186
Slika 113 Uzorak I1.2 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	186
Slika 114 Uzorak I1.3 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	187
Slika 115 Uzorak I2.1 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	188
Slika 116 Uzorak I2.2 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	189
Slika 117 Uzorak I2.3 – a) makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	190
Slika 118 Uzorak I2.4 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	191
Slika 119 Uzorak I3.1 – makroskopska slika uzorka; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	192
Slika 120 Uzorak I3.2 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	193
Slika 121 Uzorak I4.1 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	194
Slika 122 Uzorak I5.1 – makroskopska slika uzorka; b) slika dobivena mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	195
Slika 123 Uzorak I6.1 – makroskopska slika uzorka; b) i c) - slike dobivene mikroskopiranjem u mjerilu 500 μm	196
Slika 124 pH vrijednosti izmjerene u tlu (1) – tijelo odlagališta, dijagonale u smjeru čestina vjetrova, paralelno uz željezničku prugu i okomito na željeznički kolodvor	203



Slika 125 pH vrijednosti izmjerene u tlu (2) – paralelno uz željezničku prugu i u vrtovima ...	204
Slika 126 pH vrijednosti izmjerene u tlu (3) – kontrolne lokacije	205
Slika 127 Bakar (Cu) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK - 120 mg kg ⁻¹ s.t.	209
Slika 128 Antimon sve izmjerene vrijednosti u tlu	211
Slika 129 Olovo (Pb) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 150 mg kg ⁻¹	213
Slika 130 Cink (Zn) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 200 mg kg ⁻¹	215
Slika 131 Kadmij (Cd) iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 2 mg kg ⁻¹	217
Slika 132 Kadmij - lokaliteta uz željezničku prugu - iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 2 mg kg ⁻¹	218
Slika 133 Kadmij – kontrolni lokalitet - iznad Pravilnikom (NN 71/2019) propisanih MDK od 2 mg kg ⁻¹	219
Slika 134 Nedostatna debljina glinenog sloja na bušotini B2	249

8 Popis tablica

Tablica 1.	Determinacija jezgre bušotine za B-1 (oznaka K)	12
Tablica 2.	RQD za B-1 (oznaka K)	12
Tablica 3.	Ugradnja piezometarske bušotine B-1 (K)	13
Tablica 4.	Determinacija jezgre za B-2 (oznaka O)	15
Tablica 5.	RQD za B-2 (oznaka O)	15
Tablica 6.	Ugradnja piezometarske bušotine B-2 (oznaka O)	16
Tablica 7.	Determinacija jezgre bušotine B-3 (oznaka N)	18
Tablica 8.	RQD za B-3 (oznaka N)	18
Tablica 9.	Ugradnja piezometarske bušotine B-3 (oznaka N)	19
Tablica 10.	Popis naloga i vrste vještačenja, oznaka vrsta za uzete uzorke	28
Tablica 11.	Popis prevedenih analiza za pojedine uzorke	29
Tablica 12.	Opasna svojstva otpada (H1–H15 / HP1–HP15) s primjerima spojeva i aktivnosti 39	
Tablica 13.	Usporedni prikaz ekotoksikološkog biotesta i kemijskog izračuna za definiranje ekotoksičnosti 41	
Tablica 14.	Pojavni oblici Cu, Zn i Pb i njihova svojstva	44
Tablica 15.	Rezultati analiza testa procjeđivanja za crnu hrpu – uzorkovano tijekom očevida 55	
Tablica 16.	Rezultati analiza testa procjeđivanja za crnu hrpu (DIRH)	56
Tablica 17.	Rezultati analize crne hrpe (kvantitativna) - inspekcija	57
Tablica 18.	Rezultati kvantitativne analize i ogrjevne vrijednosti crne hrpe	57
Tablica 19.	Vlažnost, gustoća čvrstih čestica, pepeo, udio metala	58
Tablica 20.	Gustoće suhih J uzoraka u rahlom i zbijenom stanju	58
Tablica 21.	Rezultati ispitivanja sastava krute faze (metali)	62
Tablica 22.	Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)	63
Tablica 23.	Pesticidi i ostali organski parametri	63
Tablica 24.	Fizikalna svojstva, ekotoksičnost i mikrobiologija	64
Tablica 25.	Rezultati testa procjeđivanja za bušotine H	67
Tablica 26.	Rezultati testa procjeđivanja za iskope I	69



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Tablica 27.	Test procjeđivanja, inspekcijski nalaz DIRH	70
Tablica 28.	Rezultati analize iskop (kvantitativna) - DIRH	71
Tablica 29.	Rezultati kvantitativne analize i ogrjevne vrijednosti iskop I.....	72
Tablica 30.	Vlažnost, gustoća čvrstih čestica, pepeo i udio metala na uzorcima iz iskopa .	73
Tablica 31.	Vlažnost, gustoća čvrstih čestica, pepeo, udio metala i vodopropusnost na uzorcima iz bušotina.....	74
Tablica 32.	Raspodjela sastavnica u zakopanom otpadu.....	80
Tablica 33.	Rezultati sortiranja zakopanog otpada	81
Tablica 34.	Rezultati ispitivanja sastava krute faze (metali) - bušotine i iskopi	93
Tablica 35.	Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)	94
Tablica 36.	Pesticidi i ostali organski parametri.....	94
Tablica 37.	Tablica 1 Fizikalna svojstva, Ekotoksičnost i Mikrobiologija	95
Tablica 38.	Rezultati mikrobiološke analize otpada.....	99
Tablica 39.	Oznaka uzorka, lokacija i GPS koordinate.....	103
Tablica 40.	Rezultati mjerenja kvalitete vode iz piezometara (uzorkovano 19.12.2025. i 24.2.2026.)	108
Tablica 41.	Fizikalno-kemijski i mikrobiološki rezultati (uzorkovano 26.02.2026.).....	109
Tablica 42.	Rezultati analize tla.....	111
Tablica 43.	Rezultati analize biljaka	114
Tablica 44.	Prikaz površina kroz godine	116
Tablica 45.	Popis strogo zaštićenih (SZ) i ugroženih biljnih vrsta (CR - kritično ugrožena, EN – ugrožena, VU - osjetljiva) u okolini odlagališta (radijus 5 km) u Gospiću.	134
Tablica 46.	Popis strogo zaštićenih (SZ) i ugroženih životinjskih vrsta (CR - kritično ugrožena, EN – ugrožena, VU – osjetljiva) u okolini odlagališta (radijus 5 km) u Gospiću	135
Tablica 47.	Sumarni prikaz rezultata karakterizacija uzoraka iskopa (I) i bušotina (H)	200
Tablica 48.	Utjecaj otpada na tlo	224
Tablica 49.	Sumarni prikaz HP14 i testa <i>Daphnia magna</i>	233
Tablica 50.	Utjecaj na floru	234
Tablica 51.	Utjecaj na faunu	237
Tablica 52.	Utjecaj na Natura područja i staništa	240



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Tablica 53.	Utjecaj na zrak	246
Tablica 54.	Utjecaj na podzemne vode	253
Tablica 55.	Opis kumulativnog utjecaja	261
Tablica 56.	Utjecaj na zdravlje ljudi	267
Tablica 57.	Sažeti prikaz utjecaja otpada na okoliš i zdravlje ljudi	275



Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekane@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



9 Prilozi

Prilog 1
prosinac 2025.

Geodetsko snimanje volumena odloženog otpada na lokaciji Gospić,



„Geodetsko snimanje volumena odloženog otpada na lokaciji Gospić“

Naručitelj:
Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

prosinac, 2025. god.

Opći podaci Ugovora

Naručitelj	Geotehnički fakultet Hallerova aleja 7 42 000 Varaždin OIB: 16146181375
Izvršitelj	
Naziv usluga	Geodetsko snimanje bespilotnom letjelicom odloženog otpada na lokaciji Gospić. Rezultat izmjere će biti volumen odloženog otpada
Broj ugovora o nabavi usluga	Ponuda br. 1-1-25, 03.07.2025.
Verzija dokumenta	1.0.

Sadržaj:

1	Uvod	4
2	Svrha snimanja i kontekst naloga.....	4
3	Metodologija prikupljanja, obrade i analize podataka	4
4	Rezultati analize volumena i interpretacija deformacija terena.....	8
5	Zaključak.....	10
6	Popis kratica	11

1 Uvod

Na zahtjev Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, koji za potrebe Državnog odvjetništva — Ureda za suzbijanje korupcije i organiziranog kriminaliteta — provodi stručnu studiju vezanu uz sumnju na nezakonito odlaganje otpada, provedeno je detaljno neinvazivno istraživanje terena primjenom LiDAR snimanja. Cilj istraživanja bio je utvrditi stvarnu morfologiju terena, volumen potencijalno nasutog materijala, prostorne granice deformacija te opisati stanje koje bi moglo imati forenzički značaj u daljnjem postupku.

Ovakav pristup odabran je jer omogućuje brzo i izrazito precizno mapiranje velikih površina bez fizičkog zadiranja u tlo, što je posebno važno pri inicijalnim istragama gdje se nastoji očuvati izvorno stanje lokacije.

2 Svrha snimanja i kontekst naloga

Geotehnički fakultet, u sklopu izrade stručne studije o stanju okoliša i tlu, naručio je provedbu LiDAR snimanja kao podloge za procjenu potencijalnih nasipavanja i volumena nepoznatog materijala. Studija se izrađuje za Državno odvjetništvo, stoga su svi podaci prikupljeni i strukturirani na način koji omogućava kasniju ekspertizu, dokaznu analizu i geotehničku interpretaciju. Neinvazivno snimanje također omogućava usporedbu sadašnjeg i budućeg stanja, ali i kasniju integraciju s geofizičkim metodama i geotehničkim metodama.

3 Metodologija prikupljanja, obrade i analize podataka

Dana 29. rujna 2025. godine obavljeno je neinvazivno prikupljanje podataka na lokaciji katastarskih čestica 591/3, 599/4, 59112, 599118, 599117, 599/5, 599/6, 599/3, 599/2, 599/19, 602, 591/22, 591/15, 591/20, 591/27, 591/23, 596, 597, 598, 599/1 u Katastarskoj općini Divoselo MB 310662 (Slika 1).



Slika 1 - Katastarske čestice lokacije snimanja (preuzeto s portala Uređena zemlja)

Prikupljanje podataka provedeno je LiDAR snimanjem pomoću bespilotne letjelice DJI Matrice 350 RTK, opremljene senzorom Zenmuse L2. Ovaj sustav omogućava generiranje iznimno gustog oblaka točaka, pri čemu se georeferenciranje provodi integracijom GNSS i IMU podataka u stvarnom vremenu. Kako bi se osigurala maksimalna horizontalna i vertikalna preciznost, za kontrolu položaja i provjeru točnosti modela korišten je GNSS sustav Emlid Reach RS2+, povezan na mrežu stalnih GNSS postaja CROPOS u RTK načinu rada. Time su dobivene referentne točke visoke točnosti, nužne za provjeru kvalitete obrade i izračun odstupanja u DEM-u.

Snimanje je izvedeno na prosječnoj visini od 122 m i brzinom od 7.56 m/s, uz trajanje prikupljanja LiDAR podataka od 2 minute i 32 sekunde. Ostvarena gustoća oblaka točaka od 334 pts/m² omogućila je preciznu rekonstrukciju mikoreljefa, identifikaciju finih morfoloških promjena te kasnije proračune volumena. Obrada podataka izvršena je u softveru DJI Terra v4.4.6 te je uključila optimizaciju oblaka točaka, integraciju IMU i POS podataka radi poboljšanja točnosti, smoothing algoritme, klasifikaciju tla i generiranje digitalnog modela terena (DEM) u mjerilu 1:500. Uz to su izrađeni TDOM (Ground Sample Distance 2.33 cm/px), DSM i drugi izvedeni modeli koji omogućuju detaljan uvid u

morfološke karakteristike terena. Slika 2 prikazuje digitalni ortofoto područja, dok slika 3 prikazuje digitalni model terena (DEM).



Slika 2 - Digitalni ortofoto područja

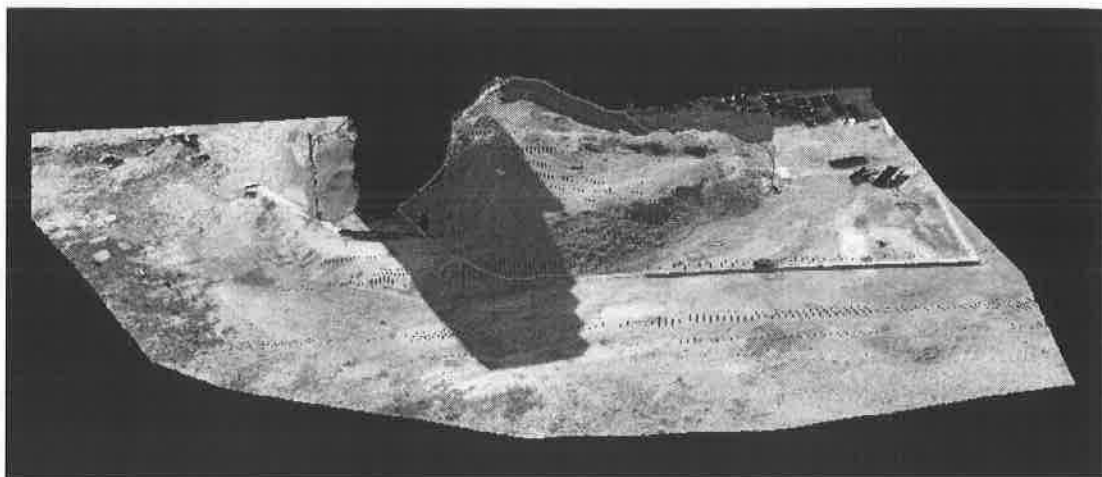


Slika 3 - Digitalni model terena

Kvaliteta obrade provjerena je usporedbom DEM-a s devet GNSS RTK kontrolnih točaka mjerenih sustavom RS2+ uz CROPOS vezu. Uočen raspon visinskih odstupanja kretao se od -0.022 m do $+0.027$ m, pri čemu se prosječna apsolutna razlika kretala oko 1–3 cm — što je u skladu s profesionalnim standardima LiDAR sustava visoke rezolucije. Ova razina preciznosti ključna je za analizu volumena jer pruža povjerenje da identificirane deformacije terena proizlaze iz stvarnih terenskih promjena, a ne iz mjernih pogrešaka.

Nakon završene klasifikacije oblaka točaka izrađen je DEM na rasteru od 0.5 m, pri čemu su vegetacija, objekti i drugi nadzemni elementi uklonjeni kako bi se prikazala stvarna topografija tla. Ovaj „očišćeni“ model predstavlja pouzdanu osnovu za analizu antropogenih promjena. Analiza provedena je metodom Cut/Fill u softveru LiDAR360, gdje se postojeća visinska konfiguracija terena uspoređuje s referentnom ravninskom površinom. Time je omogućena identifikacija dviju jasno definiranih volumenskih zona — glavnog nasipa i manjeg, sporednog volumena — što je poslužilo za daljnju interpretaciju mogućeg odlaganja materijala na promatranom području. Na slici 3 prikazan je teren (oblak

točaka) s uklonjenim svim zgradama i vegetacijom kako bi izračun volumena bio što precizniji. Na slici 4 su prikazana dva područja čiji volumeni su izračunati.



Slika 4 - Oblak točaka s prikazanim područjima obračuna volumena

Preciznost izračuna volumena na temelju LiDAR podataka najviše ovisi o vertikalnoj točnosti DEM-a, gustoći oblaka točaka te kvaliteti georeferenciranja (IMU + GNSS). Za sustave poput DJI Zenmuse L2, u kombinaciji s RTK GNSS kontrolnim točkama (Emlid RS2+ + CROPOS), tipična i u praksi potvrđena preciznost proračuna volumena kreće se u rasponu od $\pm 2\%$ do $\pm 5\%$ ukupnog volumena uz uvjet visoke gustoće skeniranja i kvalitetne klasifikacije tla, što je u ovoj studiji zadovoljeno.

4 Rezultati analize volumena i interpretacija deformacija terena

Analiza volumena provedena nad digitalnim modelom terena pokazala je postojanje dvaju jasno izraženih antropogenih nasipa unutar promatranog područja, pri čemu je glavna zona deformacije istaknuta i površinom i volumenom. Na temelju LiDAR podataka i kasnije Cut/Fill analize utvrđeno je da najveći nasip obuhvaća površinu od približno 1855 m^2 , s izrazito značajnim pozitivnim volumenom. Prema službenim rezultatima, izračunati volumen povišenja iznosi 9103.21 m^3 u Cut komponenti, dok je Fill komponenta gotovo zanemariva i iznosi svega 1.43 m^3 , što daje neto volumen od **9101.78 m^3** (Slika 3, područje desno).

Ovakav odnos između Cut i Fill vrijednosti izrazito je indikativan. Vrlo mali Fill volumen pokazuje da se na lokaciji nije radilo o iskopavanju postojeće mase, već gotovo isključivo o nasipavanju materijala na već postojeću površinu. Drugim riječima, teren nije „niveliran“, preoblikovan ili prekopavan, nego se sustavno povisivao dodavanjem novih slojeva. Ovakva geometrija deformacije posebno je karakteristična za postupke odlaganja otpada, građevinskog materijala ili zemlje u velikim količinama. Volumen od preko 9.000 m³ predstavlja značajno povećanje mase, koje ne može biti rezultat prirodnih geomorfoloških procesa poput erozije, taloženja ili klizanja. Takva količina materijala mogla je nastati jedino kroz dugačko razdoblje sustavnog odlaganja materijala mehanizacijom.

Nebitno manji, ali geometrijski prepoznatljiv nasip uočen je i na sekundarnoj mikrolokaciji unutar istog područja. Ovaj sporedni volumen prostire se na površini od oko 166 m², te je prema rezultatima utvrđeno da sadrži 313.05 m³ Cut volumena, uz gotovo nulti Fill volumen od 0.03 m³, što rezultira neto volumenom od **313.02 m³** (Slika 3, područje lijevo).

I u ovom slučaju geometrija jasno pokazuje da se i ovdje radi o nasipu, a ne o iskopu. Sekundarna zona volumena oblikom i dimenzijama upućuje na mogućnost da je služila kao dopunsko mjesto odlaganja, bilo kao početna faza nasipavanja, bilo kao odvojena naknadna aktivnost. Često se u praksi, kod nezakonitog odlaganja, ovakvi manji volumeni pojavljuju na rubnim lokacijama gdje je pristup jednostavniji ili gdje je privremeno odlaganje bilo logistički pogodno.

Promatrane zajedno, obje deformacije ukazuju na široko područje antropogene izmjene reljefa. Ukupni zbrojeni neto volumen nasutog materijala iznosi **9414.80 m³**, što predstavlja vrlo značajnu količinu i ukazuje da se radi o dugoročnom i obimnom odlaganju.

Analiza LiDAR podataka dodatno potvrđuje da su deformacije oštarih rubova i naglih prijelaza u visinama — nešto što prirodna erozija ne bi mogla proizvesti na ovakav način. Nagibi, morfologija obronaka i struktura površine upućuju na višefazno nanošenje materijala, pri čemu se uočava izrazita homogenost završne površine, no heterogenost visinskih razlika, što je karakteristično za intenzivne radove bagera i kamiona. DEM model jasno definira ostru granicu između originalnog terena i novog nasipa, što omogućuje preciznu rekonstrukciju obujma i prostornog rasporeda materijala.

Sve u svemu, rezultati analize volumena jasno i nedvojbeno potvrđuju da su na predmetnoj lokaciji u znatnoj količini odlagani materijali nepoznatog porijekla, pri čemu je glavni nasip pokazatelj vrlo velikog povišenja reljefa, dok sekundarna zona ukazuje na dodatno odlaganje u manjem opsegu. Zajedno, ove deformacije tvore cjelovitu sliku dugotrajnog antropogenog djelovanja, što je važno za daljnju geotehničku i forenzičku interpretaciju te za izradu stručne studije za Državno odvjetništvo.

5 Zaključak

Provedeno LiDAR snimanje i naknadna analiza volumena omogućili su detaljan, precizan i neinvazivan uvid u stanje terena na predmetnoj lokaciji. Korištenjem bespilotnog sustava DJI Matrice 350 RTK sa senzorom Zenmuse L2, uz GNSS referenciranje pomoću Emlid Reach RS2+ prijamnika povezanog na CROPOS mrežu, dobiveni su visokotočni podaci koji su poslužili kao čvrsta tehnička osnova Geotehničkom fakultetu i Državnom odvjetništvu u postupku procjene mogućeg nezakonitog odlaganja otpada.

Analiza je nedvojbeno pokazala postojanje dvaju izraženih nasipa — jednog vrlo velikog i jednog manjeg — čiji ukupni volumeni prelaze 9.4 tisuće kubičnih metara. Geometrija terena, odnos Cut/Fill vrijednosti i morfologija nasipa upućuju na to da je teren tijekom dužeg razdoblja nasipavan značajnim količinama materijala, pri čemu nije bilo značajnih iskopnih radova. Ovakav volumen i raspodjela materijala upućuju na dugotrajno i sustavno odlaganje, što se ne može pripisati prirodnim procesima niti slučajnim radovima.

LiDAR tehnologija omogućila je preciznu identifikaciju visinskih razlika, definiranje kontura nasipa i kvantifikaciju volumena s centimetarskom točnošću. Dobiveni DEM i modeli volumena pružaju pouzdanu osnovu za daljnje geotehničke analize, izradu presjeka, planiranje eventualnih terenskih iskopnih radova i procjenu potencijalnog utjecaja na okoliš i podzemne vode.

Sveukupno, rezultati predstavljaju važan tehnički i forenzički dokazni materijal te doprinose jasnom razumijevanju razmjera antropogenih promjena na lokaciji. Ovi podaci mogu služiti

kao temelj za izradu stručne studije, dokumentiranje stanja za potrebe Državnog odvjetništva te daljnju korelaciju s geofizičkim i geotehničkim istraživanjima.

6 Popis kratica

Kratica	Značenje
DEM	Digitalni model visina (Digital Elevation Model)
DSM	Digitalni model površine (Digital Surface Model)
TDOM	True Digital Ortho Map (ortofoto izveden iz LiDAR podataka)
LiDAR	Light Detection and Ranging
RTK	Real-Time Kinematic (GNSS metoda za visoku točnost)
GNSS	Global Navigation Satellite System
CROPOS	Croatian Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
POS	Position and Orientation System
RMSE	Root Mean Square Error
Cut/Fill	Metoda izračuna volumena usporedbom s referentnom površinom
GSD	Ground Sample Distance
pts/m ²	Točaka po kvadratnom metru (gustoća oblaka točaka)
DJI M350 RTK	DJI Matrice 350 RTK bespilotna letjelica
Zenmuse L2	DJI LiDAR senzor korišten u snimanju
RS2+	Emlid Reach RS2+ GNSS prijamnik



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



Prilog 2 Popis biljnih vrsta s površine odlagališta i uz sjeveroistočni, sjeverni i sjeverozapadni rub odlagališta u Gospiću.

Broj	Latinsko ime	Površina odlagališta	Drveće i grmlje SI, S i SZ od odlagališta
1	<i>Abies alba</i> Mill.		+
2	<i>Achillea millefolium</i> aggr.	+	
3	<i>Acer campestre</i> L.		+
4	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.		+
5	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	+	
6	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	+	
7	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	+	
8	<i>Anagallis arvensis</i> L.	+	
9	<i>Arctium</i> sp.	+	
10	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	+	
11	<i>Asparagus officinalis</i> L.	+	
12	<i>Bidens</i> sp.	+	
13	<i>Carex hirta</i> L.	+	
14	<i>Centaurea jacea</i> L.	+	
15	<i>Cichorium intybus</i> L.	+	
16	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	+	
17	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	+	
18	<i>Clematis vitalba</i> L.	+	
19	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	+	
20	<i>Cornus</i> sp.		+
21	<i>Corylus avellana</i> L.		+
22	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	+	
23	<i>Crataegus</i> sp.	+	+
24	<i>Dactylis glomerata</i> L.	+	
25	<i>Daucus carota</i> L.	+	
26	<i>Digitaria</i> sp.	+	
27	<i>Dipsacus fullonum</i> L.	+	
28	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	+	
29	<i>Echium vulgare</i> L.	+	
30	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	+	
31	<i>Eragrostis</i> sp.	+	
32	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf.	+	
33	<i>Erigeron canadensis</i> L.	+	
34	<i>Euonymus europaeus</i> L.		+
35	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	+	



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr



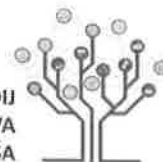
36	<i>Galium mollugo</i> L.	+	
37	<i>Hypericum humifusum</i> L.	+	
38	<i>Hypericum</i> sp.	+	
39	<i>Juncus tenuis</i> Willd.	+	
40	<i>Lactuca serriola</i> L.	+	
41	<i>Larix decidua</i> Mill.		+
42	<i>Ligustrum vulgare</i> L.		+
43	<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	+	
44	<i>Lolium perenne</i> L.	+	
45	<i>Lotus corniculatus</i> L.	+	
46	<i>Malus</i> sp.		+
47	<i>Malva sylvestris</i> L.	+	
48	<i>Medicago lupulina</i> L.	+	
49	<i>Melilotus albus</i> Medik.	+	
50	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.	+	
51	<i>Mentha</i> sp.	+	
52	<i>Papaver rhoeas</i> L.	+	
53	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.		+
54	<i>Picris hieracioides</i> L.	+	
55	<i>Pinus</i> sp.		+
56	<i>Plantago lanceolata</i> L.	+	
57	<i>Plantago major</i> L.	+	
58	<i>Polygonum aviculare</i> L.	+	
59	<i>Polygonum</i> sp.	+	
60	<i>Portulaca oleracea</i> L.	+	
61	<i>Potentilla reptans</i> L.	+	
62	<i>Prunella vulgaris</i> L.	+	
63	<i>Prunus avium</i> (L.) L.		+
64	<i>Prunus spinosa</i> L.		+
65	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn		+
66	<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	+	
67	<i>Rosa</i> sp.	+	
68	<i>Rubus fruticosus</i> agg.	+	+
69	<i>Rumex crispus</i> L.	+	
70	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	+	
71	<i>Salix cinerea</i> L.	+	
72	<i>Sambucus nigra</i> L.	+	+
73	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	+	
74	<i>Senecio vulgaris</i> L.	+	
75	<i>Setaria</i> sp.	+	
76	<i>Silene latifolia</i> Poir. ssp. <i>alba</i> (Mill.) Greuter et Bourdet	+	



Sveučilište u Zagrebu GEOTEHNIČKI FAKULTET

Hallerova aleja 7 | HR - 42000 Varaždin
telefon: +385 (0)42 408 900 | e-pošta: ured.dekana@gfv.unizg.hr
OIB: 16146181375 | mrežna stranica: www.gfv.unizg.hr

STUDIJ
INŽENJERSTVA
OKOLIŠA



77	<i>Solanum nigrum</i> L.	+	
78	<i>Solidago gigantea</i> Aiton	+	
79	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	+	
80	<i>Sorbus aucuparia</i> L.		+
81	<i>Symphotrichum novi-belgii</i> (L.) G. L. Nesom	+	
82	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	+	
83	<i>Taraxacum</i> sect. <i>Taraxacum</i> F. H. Wigg.	+	
84	<i>Tragopogon pratensis</i> L.	+	
85	<i>Trifolium pratense</i> L.	+	
86	<i>Trifolium repens</i> L.	+	
87	<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch. Bip.	+	
88	<i>Tussilago farfara</i> L.	+	
89	<i>Urtica dioica</i> L.	+	
90	<i>Verbascum pulverulentum</i> Vill.	+	
91	<i>Verbena officinalis</i> L.	+	

