

Karakteristike geomaterijala i procjena utjecaja na okoliš Županijskog centra za gospodarenje otpadom Marišćina

Deotto, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:885213>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Ivan Deotto

**Karakteristike geomaterijala i procjena utjecaja na
okoliš Županijskog centra za gospodarenje
otpadom Marišćina**

Diplomski rad

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Ivan Deotto

**Karakteristike geomaterijala i procjena utjecaja na
okoliš Županijskog centra za gospodarenje
otpadom Mariščina**

Diplomski rad
predložen Geološkom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog stupnja
magistar geologije

Mentor:
doc. dr. sc. Igor Felja

Zagreb, 2023.

Zahvale

Na početku, zahvaljujem se mom mentoru, dr. sc. Igoru Felji na razumijevanju i pomoći u odabiru teme i trudu koji je uložio u čitanje nekoliko verzija mog rada.

Posebno zahvaljujem profesoru dr.sc. Darku Tibljašu i izv. prof. dr. sc. Kristini Pikelje na trudu koji su uložili u čitanje rada te na nadasve korisnim komentarima i razmišljanjima koja su pridonijela cjelovitosti rada.

Htio bih se zahvaliti osoblju svih institucija čiju sam građu koristio u diplomskom radu. Emanuelu i Viti iz GP Krk-a na pomoći oko prikupljanja uzoraka. Cijeloj ekipi UPOV-a Berislavu, Predragu, Sanjinu na pruženim informacijama koje su dio ovog rada. Veliko hvala Darku Klasičeku, Tomislavu Zrakiću i cijelom timu Aqua Kem-a na pruženoj mogućnosti za rad uz studij te velikoj potpori prilikom samog studiranja.

Zahvaljujem dipl. ing. Štefci Kampić na pomoći prilikom laboratorijskih analiza te dipl. Ing. Željku Ištoku na pomoći prilikom izrade preparata.

Zahvalu želim uputiti i svojoj obitelji na pomoći, bezuvjetnoj podršci i razumijevanju tijekom studiranja. Na kraju najveću zahvalu želim uputiti Tei na ukazanoj podršci, strpljenju i pomoći prilikom pisanja ovog rada te malom Enzu koji mi je bio najveća motivacija za završetak ovog studija.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

Karakteristike geomaterijala i procjena utjecaja na okoliš Županijskog centra za gospodarenje otpadom Marišćina

Ivan Deotto

Rad je izrađen u: Geološko-paleontološki zavod, Geološki odsjek, PMF, Zagreb, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska u sklopu diplomskog studija Geologija zaštite okoliša

Sažetak: Županijski centar za gospodarenje otpadom „Marišćina“ ključan je dio integralnog sustava gospodarenja otpadom u Primorsko-goranskoj županiji. Temeljni brtveni sustav na odlagališnim plohama izgrađen je po Pravilniku, a sastoji se od temeljnog tla, mineralnog brtvenog sloja, bentonitnog tepiha, HDPE folije te drenažnog sloja. Cilj rada bio je odrediti karakteristike mineralnog brtvenog i drenažnog sloja te u odnosu na okolnu geologiju procijeniti mogući utjecaj na okoliš samog odlagališta. U radu je također opisana obrada procjednih i svih otpadnih voda iz samog centra. Za utvrđivanje granulometrijskih karakteristika geomaterijala korištena je metoda mokrog sijanja i izravnog mjerenja, dok je mineralni sastav brtvenog sloja određen rendgenskom difrakcijskom analizom. U okolici odlagališta prikupljeno je 14 uzoraka kako bi se ustvrdile geološke značajke stijena.

Ključne riječi: Brtveni sustavi, drenažni sloj, procjedne vode, moderno odlagalište, tretman otpadnih voda

Rad sadrži: 47+VII stranica, 26 slika, 4 tablica, 39 literaturni navod

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor(i): doc. dr. sc. Igor Felja, PMF, Zagreb

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Igor Felja, PMF, Zagreb

prof. dr. sc. Darko Tibljaš, PMF, Zagreb

izv. prof. dr. sc. Kristina Pikelj, PMF, Zagreb

Datum završnog ispita: 22.09.2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduate Thesis

Characteristics of geomaterials and environmental impact assessment of the Marišćina County Waste Management Center

Ivan Deotto

Thesis completed in: Division of Geology and Paleontology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Croatia

Abstract: Marišćina County Waste Management Center is a vital component of the integrated waste management system in Primorje-Gorski Kotar County. The fundamental sealing liner designed of the landfill is constructed according to regulations and consists of the base soil, mineral sealing liner, Geosynthetic Clay Liner (bentonite), HDPE liner, and drainage layer. The study aimed to determine the characteristics of the mineral sealing liner and drainage layer and, about the surrounding geology, assess the potential environmental impact of the landfill itself. The study also describes the wastewater treatment of leachate from the centre. Wet sieving and direct measurement methods were used to determine the granulometric characteristics of the geomaterial, while mineral composition of compacted clay liner was investigated using X-ray diffraction. Around the landfill, 14 samples were collected to ascertain the geological features of the rocks.

Keywords: composite liner system, drainage layer, leachate, modern landfill, wastewater treatment

Thesis contains 47+VII pages, 26 figures, 4 tables, 39 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science

Supervisor: doc. dr. sc. Igor Felja, PMF, Zagreb

Reviewers: Assistant Professor Igor Felja, PMF, Zagreb
Full Professor Darko Tibljaš, PMF, Zagreb
Associate Professor Kristina Pikelj, PMF, Zagreb

Date of the final exam: 22.09.2023.

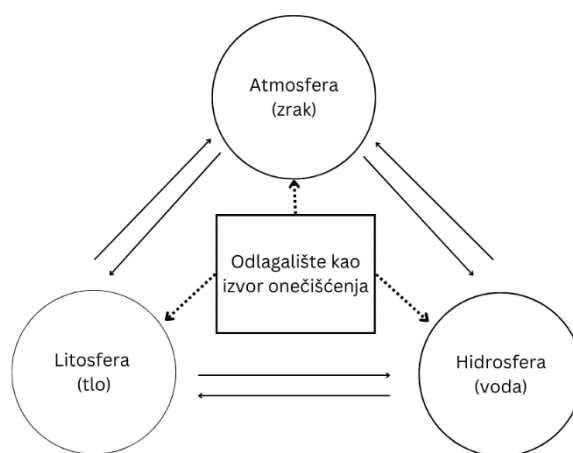
Sadržaj:

1. Uvod	1
2. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	3
2.1. Brtveni slojevi	3
2.2. Drenažni sustavi	5
2.3. Procjedne vode	6
2.4. Sustavi obrade procjednih voda.....	8
2.5. ŽCGO Mariščina	9
2.5.1. Tokovi otpada	10
2.5.2. Tokovi i karakteristike otpadnih voda koje dolaze na uređaj za pročišćavanje	11
2.5.3. Obrada procjednih voda.....	13
2.5.3.1. Predobrada i crpljenje.....	13
2.5.3.2. Biološka obrada.....	14
2.5.3.3. Ultrafiltracija	14
2.5.3.4. Reverzna osmoza.....	15
2.5.3.5. Obrada aktivnog mulja	16
3. Geološke značajke okolnog terena	17
3.1. Geologija terena.....	17
3.2. Hidrogeološke značajke terena	20
4. Metode istraživanja.....	22
4.1. Terensko istraživanje	22
4.2. Laboratorijska analiza.....	24
4.2.1. Mikroskopska analiza	24
4.2.2. Granulometrijske metode	24
4.2.3. Granulometrijski parametri	26
4.2.4. Rendgenska difrakcija	26
5. Rezultati.....	29
5.1. Terenski rezultati	29
5.2. Granulometrijski podaci	30
5.3. Rezultati Rendgenske difrakcije.....	34
6. Rasprava	38
7. Zaključak	43
8. Literatura	44
9. Popis slika u tekstu	V
10. Popis tablica u tekstu	VII

1. Uvod

Gospodarenje otpadom u razvijenim zemljama, uslijed porasta urbanizacije i kulture potrošačkog društva postaje jedan od važnih izazova, poglavito u pogledu zaštite okoliša. Primarna svrha odlagališta otpada je organizirano i dugoročno zbrinjavanje otpada, uz istovremenu zaštitu okoliša od potencijalno štetnih utjecaja. Drugi, ali ne manje važnji cilj gospodarenja otpadom je ponovna upotreba otpada u energetske ili druge svrhe.

Moderna odlagališta otpada zahtjevni su inženjerski zahvati, dizajnirani kako bi minimalizirali utjecaj odlaganog otpada na okoliš i ljudsko zdravlje. Ona zahtijevaju adekvatan sustav za procjeđivanje i prikupljanje procjednih voda te slojeviti brtveni sustav u podini. Tijekom procesa degradacije otpada, na odlagalištu nastaje otpadni produkt u 3 faze: kruta, tekuća i plinovita. Takav otpadni produkt može onečistiti i potencijalno zagaditi tri glavna okolišna medija: litosferu, hidrosferu i atmosferu (slika 1). Onečišćenje preneseno kroz ove tri faze može imati hazardne posljedice na okoliš zbog čega je potrebno adekvatno upravljati odlagalištem prema studijama utjecaja na okoliš (BUTT i sur., 2006).



Slika 1. Tri glavna okolišna medija (litosfera, hidrosfera i atmosfera) i tokovi onečišćenja između njih i odlagališta otpada kao izvora onečišćenja (BUTT i sur., 2008)

Najveću prijetnju zagađenju okoliša predstavljaju procjedne vode, kontaminirana tekućina nastala procjeđivanjem vode kroz odlagalište prilikom čega se u njoj akumuliraju zagađivala koja se procjeđuju u dublje dijelove. U stvaranju procjednih voda važnu ulogu ima i udio vlage u odlaganom otpadu (CHEREMISINOFF, 1997). Jedna od glavnih svrha slojevitih brtvenih sustava slaganja je spriječiti migraciju potencijalnog onečišćivala u atmosferu, tlo i kasnije u podzemne vode. Uz vodo-nepropusne sposobnosti stranica

odlagališta, važnu ulogu u kontekstu upravljanja odlagalištima otpada ima i tretman procjednih voda, koji je povezan s raznim karakteristikama otpada i samog odlagališta (MORELLO i sur, 2016).

Na području Primorsko – goranske županije, prije izgradnje Županijskog centra za gospodarenje otpadom (ŽCGO) Marišćina, sakupljanje otpada bilo je organizirano s razinom pokrivenosti od 95% subjekata. Nesortirani otpad prikupljao se u posebnim spremnicima, dok je građanima na ekološkim otocima omogućeno razdvajanje komponenti komunalnog otpada. Svakodnevno je generirano preko 300 tona komunalnog otpada. Odlaganje otpada provodilo se na deset legalnih odlagališta, no većina ih je bila blizu potpunosti i nisu zadovoljavala osnovne tehničke standarde. Tijekom tog razdoblja, evidentirano je više od 200 divljih odlagališta na tom području.

Zbog svega gore navedenoga te sukladno odredbama Strategije gospodarenja otpadom Republike Hrvatske i u skladu s važećim propisima EU krenulo se u izgradnju ŽCGO Marišćina. Ovaj centar za gospodarenje otpadom je ključan dio integralnog sustava gospodarenja otpadom u Primorsko-goranskoj županiji.

U ovom radu će detaljnije biti opisani tehnički procesi obrade procjednih voda te je jedan od ciljeva ovog rada prikazati kako se otpadna voda može ponovno koristiti u tehnološke svrhe. Također će biti prikazani dizajn samog linearnog sustava slaganja slojeva donjeg dijela odlagališne plohe. Analizirani su uzorci drenažnog sloja, mineralnog brtvenog sloja i temeljnog uređenog tla te je jedan od ciljeva ovog rada odrediti karakteristike geomaterijala korištenog prilikom izgradnje same odlagališne plohe 1B. Također analizirana je geološka građa okolnog terena. Na temelju prikupljenih i analiziranih geoloških podataka, napravljena je procijena utjecaja na okoliš ŽCGO Marišćina.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

2.1. Brtveni slojevi

Teren na kojem se odlaže otpad trebao bi imati što manji nagib kako bi se smanjila erozija i nekontrolirano otjecanje procjednih voda, a geološka podloga bi trebala sadržavati slabo propusne stijene poput glina ili škriljavaca. Geološka barijera, odnosno temeljno tlo, ispod odlagališta otpada trebala bi biti konstruirana koristeći geotehnički stabilno tlo, otporno na slijeganje te bi konačna smjesa, granulometrijski, trebala sadržavati barem 20% - 30% sitnih čestica i ne više od 30 % šljunka (DATTA i JUNEJA, 1997; OJURI i OLUWATUYI 2017). Ovakve geološke barijere, odnosno temeljna tla moraju podržavati masu otpada te biti gotovo nepropusne za procjedne vode. Prema Pravilniku o odlagalištima otpada RH (NN 4/2023), geološka barijera i bočne strane odlagališta trebaju zadovoljavati parametre hidrauličke vodljivosti k :

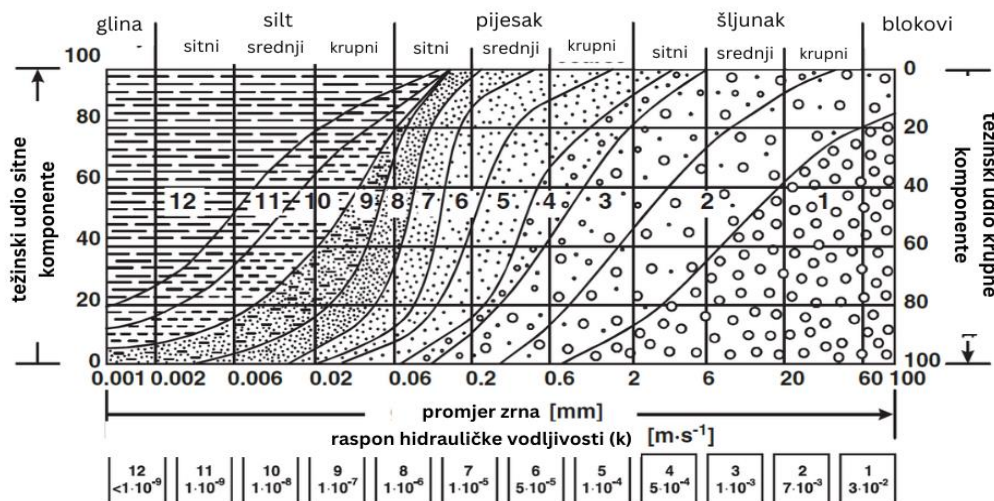
- odlagalište za opasni otpad: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s (metar/sekunda) u debljini tla ≥ 5 metara
- odlagalište za neopasni otpad: $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s u debljini tla ≥ 1 metra
- odlagalište za inertni otpad: $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s u debljini tla ≥ 1 metra

U slučaju da geološka barijera na prirodan način ne udovoljava gore navedene uvjete, vodo-nepropusnost se može osigurati i dopuniti nanošenjem umjetnih brtvenih slojeva kako bi se ispunili navedeni uvjeti. Glina ima ključnu ulogu u projektiranju nepropusnih slojeva odlagališta otpada zbog svojih svojstava od kojih su najvažnija hidraulička vodljivost, plastičnost i kapacitet kationske izmjene. Minerali glina pružaju praktično i ekonomično rješenje za sprječavanje prolaska teških metala u okolinu. Primjena u ove svrhe započeta je prije nekoliko desetljeća. Dovoljno istraživanja provedeno je na raznim metodama modificiranja s ciljem poboljšanja sposobnosti apsorpcije teških metala. Ta istraživanja sugeriraju da modificiranje pomoću organskih kationa, poli(hidroksometalnih) kationa i „pillaring“ mogu poboljšati kapacitet apsorpcije glinenih minerala za metalne katione (CHURCHMAN i sur., 2006).

Materijali koji se najčešće koriste kao brtveni slojevi na odlagalištima otpada su zbijena glinena barijera (CCL), geosintetička glinena barijera (GCL) ili geomembrane (GM), zbog svojih niskih vrijednosti hidrauličke vodljivosti, koje limitiraju i gotovo onemogućuju migraciju procjednih voda i plinova u okoliš (SHANKAR i MUTHUKUMAR, 2017).

Geosintetička glinena barijera (GCL) se obično sastoji od tanjih slojeva Ca – bentonita i Na – bentonita. Ove mineralne komponente nalaze se između sintetičkog materijala koji je najčešće geotekstil (GTX) ili eventualno geomembrana (GM). Zbijena glinena barijera (CCL) se formira nanošenjem i zbijanjem prirodnog glinenog tla ili posebno pripremljenog bentonita na odgovarajuću debljinu i gustoću. Geomembrane (GM) su barijere konstruirane od raznih plastičnih materijala s vrlo niskim koeficijentom propusnosti (tipično 10^{-11} cm/s do 10^{-13} cm/s). Na odlagalištima otpada u sklopu brtvenih temeljnih i pokrovnih sustava najčešće se koriste HDPE membrane (polietilen visoke gustoće) ili PVC (polivinil klorid) membrane (ROWE, 2012).

Glinene barijere se u praksi dizajniraju prema granulometrijskoj raspodjeli koja zadovoljava potrebnu hidrauličku vodljivost (slika 2). Hidraulička vodljivost usko je povezana s raspodjelom veličine zrna, budući da raspored i proporcije različitih veličina čestica utječu na strukturu pora pa se granulometrijska raspodjela se može smatrati dobrom aproksimacijom za izračun hidrauličke vodljivosti (AL-SALEM i sur. 2020). Tla s većim udjelom praha i gline obično pokazuju niži koeficijent propusnosti te nižu hidrauličku vodljivost zbog čvršćeg pakiranja čestica i smanjenih praznina, odnosno pora. Osim toga, niska propusnost glinenih minerala poput bentonita, dodatno ograničava hidrauličku vodljivost (NATH i sur. 2023).

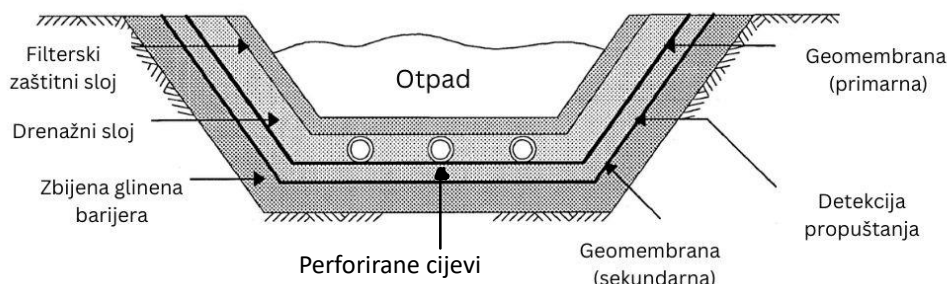


Slika 2. Praktična nepropusnost za pojedina područja granulometrijske raspodjele prema udjelu čestica manjih od 0,065 mm (CZURDA, 2006)

2.2. Drenažni sustavi

Oborine koje padaju na odlagalište otpada, mogu se nakupljati te kao površinske vode otjecati u okolinu ili se procjeđivati kroz odlagalište i u kontaktu s otpadom onečistiti. Zbog toga se na odlagalištima otpada iznad brtvenih slojeva, a ispod samog odlaganog otpada, rade drenažni sustavi. Glavna svrha ovih sustava je prikupiti i uputiti procjedne vode kroz perforirane cijevi do kolektora. Ovime se uklanjaju procjedne vode s dna odlagališta i tako minimizira glavni pokretač istjecanja zagađivala u okolni okoliš uslijed mogućih defekata u brtvenom sloju (FLEMING i ROWE 2004).

Temeljni drenažni sustav se sastoji od drenažnih slojeva za prikupljanje procjedne vode, perforiranih cijevi koje se postavljaju na dno i filterskog zaštitnog sloja (slika 3).



Slika 3. Primjer profila donjeg djela odlagališne plohe: Iznad brtvenog sloja (glinena barijera i geomembrana) nalaze se detekcija propuštanja drenažni sloj s perforiranim cijevima na dnu i filterski zaštitni sloj iznad (BOUAZZA i VAN IMPE 1998)

Ovakvi slojevi moraju imati dovoljnu propusnost i biti otporni na agresivna djelovanja tekućina zbog čega karbonatne stijene nisu poželjne u izgradnji drenažnih slojeva. Također, drenažni materijal mora imati dostatnu tlačnu čvrstoću kako bi se smanjila mogućnost degradacije granulometrijskog sastava uslijed opterećenja otpada koji se taloži na njemu. Veliki problem ovakvih drenažnih sustava je začepljenje pora koje nastaje uslijed stvaranja biofilma, raznih kemijskih precipitata i sitnijih čestica. Ovakva začepjenja smanjuju hidrauličku vodljivost sloja i time procjeđivanje procjednih voda do kolektora (slika 4). Značajnu ulogu u smanjenju začepljenja drenažnih sustava ima veličina čestica pa tako prema (MC ISAAC & ROWE 2007; ROWE i sur 2007; BRUNE i sur. 1991) vijek trajanja drenažnih sustava se može produžiti korištenjem zrna veće granulacije.

Opseg začepjenja se smanjuje povećanjem udjela većih zrna te je najmanja prilikom distribucije veličine zrna od 16 – 32 mm.



Slika 4 Drenažni šljunak (38 mm) nakon 20 mjeseci izlaganja procjednim vodama (FLEMING i ROWE 2004)

2.3. Procjedne vode

Otpad koji se odlaže na odlagalištima se razgrađuje se u fazama te se uz prisustvo infiltrirane kišnice stvaraju procjedne vode, otopine koje sadrže brojne nusprodukte nastale uslijed fizičkih, kemijskih i bioloških procesa. Procjedne vode nastale na odlagalištu otpada sadrže četiri skupine onečišćivala (KJELDSEN i sur, 2002):

- **Otopljena organska tvar**, kvantificirana kao kemijska potrošnja kisika (KPK) ili ukupni organski ugljik (TOC), hlapljive masne kiseline (koje se nakupljaju tijekom kiselne faze stabilizacije otpada) te spojevi slični humusu
- **Anorganske makro komponente**: kalcij (Ca^{2+}), magnezij (Mg^{2+}), natrij (Na^+), kalij (K^+), amonij (NH_4^+), željezo (Fe^{2+}), mangan (Mn^{2+}), klorid (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}) i hidrogen karbonat (HCO_3^-)
- **Teški metali**: kadmij (Cd^{2+}), krom (Cr^{3+}), bakar (Cu^{2+}), olovo (Pb^{2+}), nikal (Ni^{2+}) i cink (Zn^{2+})
- **Ksenobiotički organski spojevi (XOC)** koji potječu iz kućanskih ili industrijskih kemikalija i prisutni su u relativno niskim koncentracijama (obično manje od 1 mg/l pojedinačnih spojeva). Ovi spojevi uključuju različite aromatske ugljikovodike, fenole, klorirani alifate, pesticide i plastifikatore

Procjena rizika procjednih voda tradicionalno se temelji na kemijskim analizama specifičnih spojeva prisutnih u procjednoj vodi. Parametri koji se najčešće promatraju u

procjednim vodama su: kemijska potrošnja kisika (KPK), biološka potrošnja kisika (BPK), omjer BPK/KPK, pH - vrijednost, nitrati ($\text{NO}_3\text{-N}$) ukupno suspendirana tvar (TTS), amonijak, odnosno dušik kao $\text{NH}_3\text{-N}$ i ukupni dušik (TN) (RENOU i sur., 2008). Vrijednosti navedenih parametara ovise prvenstveno o starosti odlagališta, odnosno fazi razgradnje u kojoj se otpad nalazi. Varijacije se mogu javiti i s obzirom na sastav otpada te klimatske uvjete lokacije odlagališta.

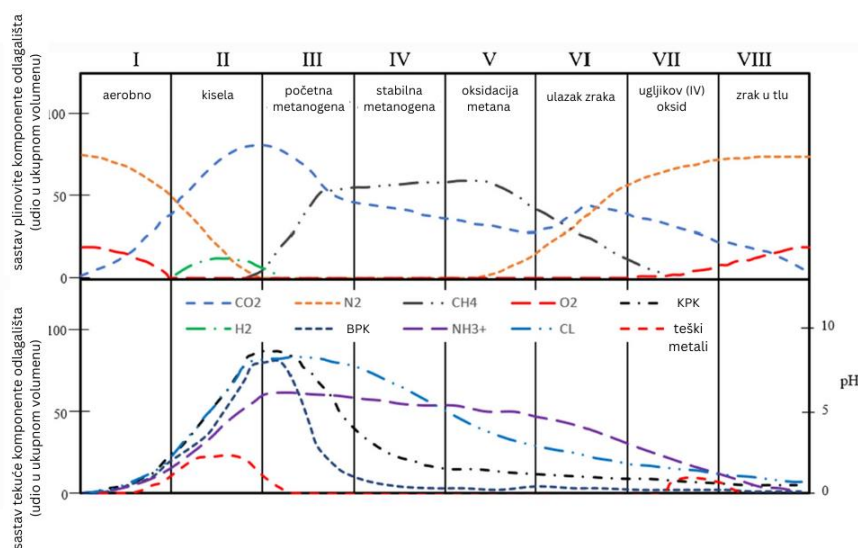
Faze u kojim se otpad razgrađuje su: kratka početna aerobna faza, faza anaerobne kiseline, početna metanogena faza i stabilna metanogena faza.

Početna aerobna faza odvija se u gornjim dijelovima odlagališta gdje se odlaže svježi otpad. Vremenski je kratka i odvija se u svega nekoliko dana te ovisi o prisustvu kisika. Prilikom ove faze stvara se ugljikov dioksid te potencijalno raste temperatura. (BARLAZ i HAM, 1993). Koncentracija kisika s vremenom se smanjuje te procesi razgradnje otpada ulaze u anaerobnu fazu, u kojoj dominiraju hidrolitička, fermentativna i acetogena aktivnost bakterija. Ovi procesi vode do stvaranja karboksilnih kiselina i time snižavanja pH vrijednosti. Procjedne vode nastale u ovoj fazi karakterizirane su visokim koncentracijama BPK i KPK vrijednostima te porastom topivosti brojnih spojeva (BARLAZ i HAM, 1993).

Početak sljedeće, metanogene faze, karakteriziran je pojavom metana te promjenom pH vrijednosti iz nižih, odnosno kiselih prema neutralnim. Metanogene bakterije prevode kiseline nastale u prethodnoj fazi u metan i ugljikov dioksid. Ovu fazu karakteriziraju stare procjedne vode s niskom koncentracijom KPK i visokom koncentracijom amonijevog dušika i metana (KJELDSEN i sur, 2002).

Proizvodnja metana dostiže svoj maksimum u stabilnoj metanogenoj fazi, gdje se i dalje nastavlja trend smanjivanja koncentracije karboksilnih kiselina i time povećanje vrijednosti pH. Ovakve procjedne vode sadrže male koncentracije KPK te postaju sve manje biorazgradive. Sadrže humidnu i fluvidnu kiselinu (BARLAZ i HAM, 1993).

Tijekom dugog vremenskog razdoblja, odlagališta prolaze kroz faze u kojima kisik prodire dublje u otpad. To može rezultirati smanjenjem pH vrijednosti i povećanim oslobađanjem teških metala. Međutim, proračuni i eksperimenti sugeriraju da se te promjene možda neće dogoditi tijekom tisuća godina. (KJELDSEN i sur, 2002). Promjene najčešćih parametara procjednih voda i plinova, ovisno o fazama prikazane su na slici 5.



Slika 5. Promjene parametara plinova i procjednih voda po fazama prema (KJELDSEN i sur, 2002). Aerobna (I), kisela (II) i metanogena faza (III i IV) su potkrijepljene podacima dok za kasnije faze nema dosta podataka jer se odvijaju s većim vremenskim odmakom

2.4. Sustavi obrade procjednih voda

Sakupljanje i pročišćavanje procjednih voda koje nastaju na odlagalištu otpada su obvezni prema EU Direktivi o odlaganju otpada. Cilj je ukloniti ili smanjiti koncentraciju štetnih tvari na prihvatljivu razinu za zaštitu okoliša. Procjedne vode predstavljaju vrlo složeni medij koji se mijenja kroz vrijeme (Tablica 1). Ovakav složeni sastav predstavlja veliki izazov za odabir metoda kojima će se obraditi procjedne vode. Da bi se zadovoljila zakonom propisana kvaliteta izlaznog efluenta, potrebno je primijeniti kombinaciju različitih metoda obrade. Postoje konvencionalne i nove metode pročišćavanja procjednih voda koje se koriste u tu svrhu. Konvencionalne metode tretmana procjednih voda na odlagalištima otpada uključuju biološku i fizikalno-kemijsku obradu, adsorpciju i stripiranje. Učinkovitost ovih metoda značajna je prilikom obrade procjednih voda s mlađeg odlagališta otpada. Kod voda sa starijih odlagališta, gdje je omjer BPK/KPK manji, konvencionalne metode nisu dovoljno djelotvorne. Za ovakve slučajeve membranski procesi su osobito učinkoviti pa se danas koriste u kombinaciji s konvencionalnim metodama kao predobradom (RENOU i sur 2008). Odabir odgovarajuće metode za obradu otpadnih voda ovisi o mnogim čimbenicima stoga se često koristi kombinacija različitih metoda i procesa kako bi se postigla optimalna učinkovitost obrade uz što manje kapitalne i operativne troškove. U praksi se često

kombiniraju procesi ekstenzivnog biološkog pročišćavanja za uklanjanje otopljene biorazgradive organske tvari i dušika, nakon kojeg slijedi membranski separacijski proces za uklanjanje otpornih organskih tvari i otopljenih anorganskih spojeva i iona.

Tablica 1. Karakteristike procjednih voda prema starosti odlagališta izraženoj u godinama od početka odlaganja (RENOU i sur 2008)

	mlado	srednje	staro
starost odlagališta (god.)	< 5	5 - 10	> 10
pH	6,5	6,5 - 7,5	> 7,5
KPK (mg/L)	> 10000	4000 - 10000	< 4000
BPK/KPK	> 0,3	0,1 - 0,3	< 0,1
organske tvari	80% hlapljivih masnih kiselina (VFA)	5 - 30% VFA + humusne i fluvinske kiseline	humusne i fluvinske kiseline
teški metali (koncentracija)	srednja - niska	niska	niska
biorazgradivost	velika	srednja	niska

2.5. ŽCGO Marišćina

ŽCGO Marišćina smješten je u sjevernom dijelu općine Viškovo, otprilike 14 km udaljeno od grada Rijeke. Lokacija se nalazi na nadmorskoj visini između 463 i 515 mnm, u blizini ceste Ž 5017 Marčelji – Klana i Ž 5023 Marčelji – Studena (slika 6). Projekt izgradnje ŽCGO Marišćina obuhvatio je i izgradnju i pretovarnih stanica u Delnicama, Novom Vinodolskom, Krku, Rabu, Cresu i Malom Lošinj. ŽCGO Marišćina služi za gospodarenje otpadom 300.000 stanovnika Primorsko-goranske županije. Ukupna površina centra iznosi oko 42,5 hektara (ha) od čega 5,5 ha otpada na radnu zonu, 21 ha na zonu za odlaganje otpada, 2,1 ha na vatrozaštitni pojas, dok 11,5 ha čine zaštitne zone i prometnice. Kapacitet odlagališta zadovoljava potrebe za odlaganjem otpada u županiji do 2040. godine (URL 1).

Važan aspekt ovog centra je obrada otpadnih voda čime se značajno smanjuje negativan utjecaj na okoliš i osigurava da se pridržavaju graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom o graničnim vrijednostima opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama (NN 87/10). ŽCGO Marišćina prihvaća komunalni otpad, neopasan proizvodni otpad i reciklažni otpadni materijal.



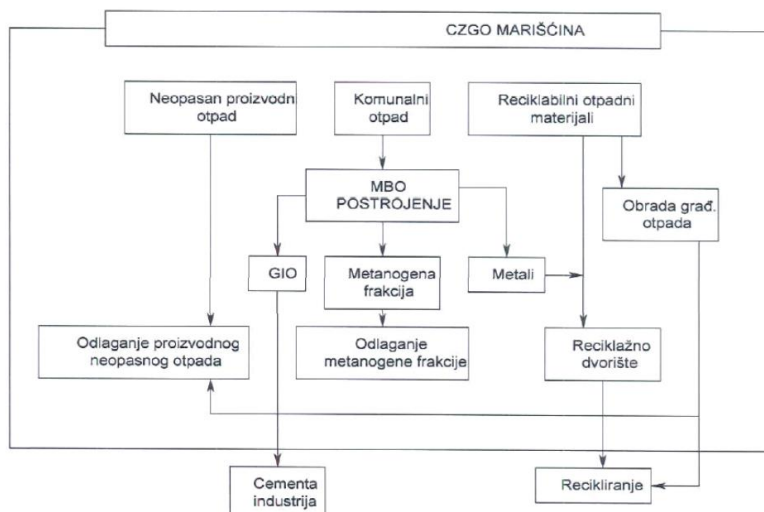
Slika 6. Lokacija ŽCGO Marišćina i pravci dovoza otpada s pretovarnih stanica (URL 1)

2.5.1. Tokovi otpada

Prema sažetom izvještaju o provedenom postupku procjene utjecaja na okoliš (2010.) u ovom centru za gospodarenje otpadom postoji strukturirani sustav za upravljanje različitim vrstama otpada (slika 7). Otpad koji dolazi u centar se pregledava, važe, nakon čega se vrši registracija. Otpad se zatim transportira u postrojenje za mehaničko-biološku obradu (MBO). U postrojenju za MBO otpad prolazi kroz nekoliko faza. Nakon istovarivanja vrši se mehanička predobrada otpada, što uključuje prosijavanje i trganje vrećica. Nakon toga, otpad se prevozi do prostora za biološku obradu (biosušenje), gdje se provodi biostabilizacija i sušenje otpada. Tijekom ovog procesa, otpad se postupno suši uz korištenje toplinske energije oslobođene biološkom razgradnjom organske tvari.

Sljedeći korak je mehaničko rafiniranje u kojem se odvajaju različite frakcije otpada, kao što su gorivo iz otpada (GIO), metali, plastika i teška frakcija. Metanogena frakcija, koja se koristi za proizvodnju bioplina, također se odvaja u ovom procesu. Odlaganje i daljnja obrada metanogene frakcije odvija se na biorektorskoj odlagališnoj plohi. Tehnologija biorektorskog odlagališta ubrzava anaerobnu razgradnju metanogene frakcije, čime se mineralizira otpad. Ovdje se kontrolirano dodaje pročišćena voda kako bi se potaknula proizvodnja metana. Proizvedeni metan može se koristiti za dobivanje električne energije (Sažeti izvještaj o provedenom postupku procjene utjecaja na okoliš, 2010).

Sve navedene faze osiguravaju učinkovito upravljanje i obradu različitih vrsta otpada kako bi se osiguralo sigurno i ekološki prihvatljivo rukovanje otpadom.



Slika 7. Tokovi otpada na ŽCGO Mariščina, MBO (mehaničko-biološka obrada), GIO (gorivo iz otpada) (Elaborat zaštite okoliša, 2019.)

2.5.2. Tokovi i karakteristike otpadnih voda koje dolaze na uređaj za pročišćavanje

Postrojenje za obradu otpadnih voda služi za obradu tri toka otpadne vode (SA, HELECTOR 2016) kako bi se zadovoljili zahtjevi propisani Uredbom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 87/10) (u daljnjem tekstu Uredba):

- Tehnološke otpadne vode s MBO postrojenja (prijemna procjedna voda, otpadna voda iz čistača, otpadna rashladna voda, otpadna voda od pranja, otpadna voda iz procesa biosušenja)
- Procjedne vode s odlagališta
- Sanitarno – tehnološka otpadna voda

Prijemna procjedna voda uglavnom nastaje u prijamnom bunkeru, gdje se sakuplja i usmjerava prema postrojenju za tretman otpadnih voda (UPOV). Količina prijemne procjedne vode varira ovisno o količini vlage i vrsti otpada koji dolazi na odlagalište. Što se tiče kvalitativnih karakteristika, prijemna procjedna voda obično će sadržavati visoku razinu organskih tvari, što se očituje kroz visoku biokemijsku potražnju kisika (BPK) i kemijsku potražnju kisika (KPK) zbog početnog procesa razgradnje organskih sastojaka otpada. Za tretman takvih vrsta otpadnih voda, tradicionalni aktivirani mulj često nije dovoljan za ispunjavanje uvjeta za efluent, zbog visokog udjela KPK koji nije moguće biološki razgraditi. Doprinos prijamne vode na UPOV nije velik, ali je značajan (SA HELECTOR 2016).

Proces biosušenja je ujedno i glavni izvor otpadne vode koja dolazi na UPOV. U ovom procesu, otpad se aerira kako bi se pokrenule aerobne egzotermne biološke reakcije prilikom čega se toplina raspršuje uslijed isparavanja. Otpadna voda proizvodi se kondenzacijom vlage sadržane u struji zraka koji izlazi iz reaktora za biosušenje, prilikom hlađenja izmjenjivačem topline. Vodotopive hlapljive organske tvari i amonijak se otapaju u kondenziranoj vlazi i tvore otpadnu vodu s umjerenim do visokim BPK i KPK. Količina otpadne vode koja se proizvede iznosi 25-30% težine ulaznog otpada. Karakteristika ove otpadne vode iznimno je visoka biorazgradivost koja se pokazuje u visokom omjeru BPK / KPK koji približno iznosi 0,7. Ovakav omjer BPK/KPK zajedno s povoljnim omjerom C/N predstavlja idealnu opciju za biološki tretman otpadne vode (SA HELECTOR 2016).

Otpadna rashladna voda iz tornjeva za hlađenje proizvodi se tijekom odsoljavanja sustava za hlađenje. Količine ove otpadne vode ovise o karakteristikama vode za nadopunu samog tornja te kemikalijama kojima se tretira rashladna voda. Ove kemikalije sadrže razna biocidna sredstva koja kasnije mogu utjecati na smanjene mikrobiologije u procesu biološke obrade. Kao voda za nadopunu, koristi se efluent iz UPOV-a pa opterećenje organskim tvarima i dušikom nije veliko.

Procjedne vode s odlagališta, karakterizirane su visokim omjerom biokemijske i kemijske potrošnje kisika (BPK/KPK). Kako otpad „stari“ i uspostavlja se uvjeti biometanacije, pa se omjer biološke i kemijske potrošnje kisika (BPK/KPK) smanjuje. „Zrele“ ili metanogene procjedne vode karakterizirane su niskim omjerom (BPK/KPK) i niskim omjerom biorazgradivog ugljika i dušika (C/N). Zbog ovih karakteristike procjednih voda, uz očekivano visoku koncentraciju amonijaka i moguću prisutnost teških metala, potrebno je nakon biološke obrade napraviti finalnu mehaničko – kemijsku obradu reverznom osmozom (RO).

Također, važno je naglasiti da je očekivano organsko opterećenje procjednih voda s ploha gdje se odlažu ostaci iz postrojenja za mehaničko-biološku obradu visoko. To je rezultat velike količine organske tvari u tim ostacima. Organsko opterećenje procjednih voda iz odlagališnih ploha koje zaprimaju samo neopasni industrijski otpad trebalo bi biti nisko zbog ograničenog biološkog razlaganja.

Uz gore navedene tokove otpadnih voda, na uređaj još dolaze otpadne vode iz zračnih čistača i biofiltera, sanitarne otpadne vode te otpadne vode nastale prilikom pranja

postrojenja. Ove vode u pogledu opterećenja zagađivačima su karakterizirane kao niske jačine te su njihove količine relativno male.

Svaki tok otpadnih voda ima različite karakteristike koje zahtijevaju specijalizirani stupanj obrade prije mogućeg puštanja u okoliš. Razina obrade za MBO tehnološke i sanitarne otpadne vode bila bi dovoljna da zadovolji standarde otpadnih voda, ali priroda procjednih voda koju karakterizira visoka razina amonijaka i teških metala zahtijeva naprednu razinu obrade za zadovoljavanje standarda otpadnih voda.

2.5.3. Obrada procjednih voda

Kratak popis metoda tretmana korištenih u Postrojenju za tretman otpadne vode (UPOV) prema Priručniku za rukovanje i održavanje Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (2016.) u ŽCGO „Mariščina“ slijedi:

- Izjednačavanje protoka
- Fino prosijavanje
- Anoksični biološki tretman
- Aerobni biološki tretman
- Membranska separacija biomase
- Membranska separacija reverznom osmozom
- Adsorpcija aktivnim ugljenom
- Zgušnjavanje biološkog mulja
- Odvodnjavanje mulja
- Isparavanje koncentrata proizvedenog reverznom osmozom

U postrojenju za obradu otpadnih voda ŽCGO Mariščina odabir odgovarajuće metode pročišćavanja otpadnih voda temelji se na strogo definiranim kriterijima, uključujući ograničenja volumena otpadne vode, kontrolu neugodnih mirisa, prostorne i estetske aspekte te operativne troškove po m³ otpadne vode. Važno je napomenuti da zadani standardi za efluent propisani Uredbom (NN 87/10) postavljaju ograničenja koja se ne mogu zadovoljiti samo korištenjem biološkog pročišćavanja.

2.5.3.1. Predobrada i crpljenje

Sve otpadne vode koje su sakupljene u sabirnom oknu prvo prolaze fazu finog filtriranja, kako bi se uklonile suspendirane tvari i zaštitili daljnji procesi obade. Ovi filteri imaju otvore od 1 mm kako bi se uklonile krutine i veći vlaknasti materijali, koji su štetni za membrane (uzrokuju abraziju i začepljenje membranskih vlakana), iz miješanog toka otpadnih voda

prije nego što uđe u bioreaktor. Nakon ove faze efluent gravitacijski ulazi u egalizacijski spremnik. Ovaj spremnik je zatvoren kako bi se spriječilo isparavanje i nošenje raznih čestica i plinova vjetrom. Tu se kontroliraju protoci svih triju različitih tokova otpadnih voda kako bi se održala kontinuirana i stalna kvaliteta otpadnih voda koja se usmjerava do UPOV-a i time minimalizirala udarna opterećenja koja mogu dovesti do poremećaja prilikom biološke obrade.

2.5.3.2. Biološka obrada

Prethodno navedene otpadne vode iz egalizacijskog spremnika su usmjerene na biološku obradu (MBR-tip). Voda iz egalizacijskog spremnika dolazi do biološke denitrifikacije (predanoksični spremnik) gdje je reciklirani nitrificirani dušik reduciran do plinovitog dušika, uz konzumiranje biorazgradivih organskih tvari influentnog toka. Budući da je omjer biorazgradivog ugljika i nitrificiranog dušika nizak, u ovom postupku potrebno je doziranje metanola čime se pospješuje dostatan udio organskog materijala. Uz uravnoteženu pH vrijednost, za rast mikroorganizama unutar bioreaktora također je potreban fosfor. Zbog ovoga se u ulazni tok otpadnih voda dodaje fosforna kiselina kao izvor fosfora za razvoj mikrobiologije.

Otpadne vode koje izlaze iz denitrifikacijske faze se usmjeravaju do aeracijske faze u kojima je ostvarena ugljična oksidacija manje biorazgradivih organskih tvari, a amonijev dušik se pretvara u nitrate i nitrite kroz nitrifikacijski proces. U ovom procesu se u odvojenom spremniku difuzorima upuhuje zrak koji je potreban mikroorganizmima, gdje je količina potrebne aeracije ovisna o temperaturi i koncentraciji kisika u bioreaktoru. Nitrificirani aeracijski efluent se zatim usmjerava na membranski bioreaktor gdje se postiže odvajanje bioloških krutih tvari iz obrađene otpadne vode.

2.5.3.3. Ultrafiltracija

Membranski bioreaktori su uronjenog tipa gdje se obrađena voda izvlači kroz membrane s primjenom blagog vakuuma. Aktivni mulj zadržan membranama pretječe iz membranskog spremnika i vraća se do bioreaktorskog distribucijskog/recirkulacijskog kanala, zajedno s unutarnjim reciklirajućim tokom. Obrađena otpadna voda (permeat) se ispušta do stražnjeg spremnika povratnog ispiranja.

Ultrafiltracija (UF) je proces pomoću kojeg se filtriraju čestice na osnovu veličine. U membranskom odvajanju, UF se općenito koristi da odvoji ili ukloni relativno krupne čestice kao što su mikrobi, bakterije i makromolekule s molekularnim masama većim od približno

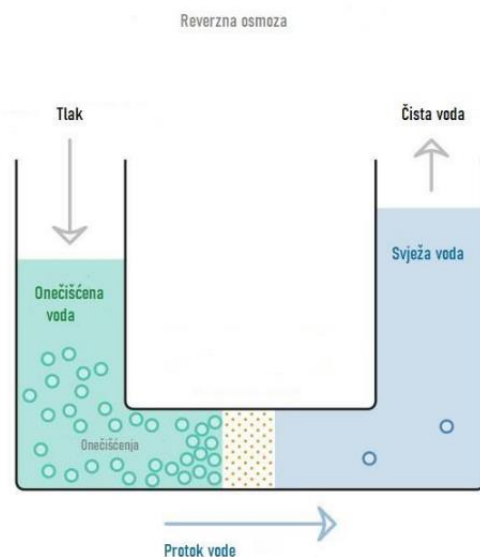
300.000 Daltona. UF koristi "široke" membrane, što znači one koje imaju relativno velike pore.

2.5.3.4. Reverzna osmoza

Prethodno navedena, biološki obrađena otpadna voda se usmjerava do završne faze obrade reverznom osmozom (RO) s ciljem uklanjanja otopljenih nečistoća, odnosno teških metala i drugih anorganskih iona poput nitrata do razine propisane Uredbom (NN 87/10). Obrada reverznom osmozom sastoji se od dvije faze kako bi se zadovoljile zadane vrijednosti za efluent čak i u slučajevima manjih prekida u biološkoj obradi.

Svaki element membrane sastoji se od više slojeva polupropusnih membranskih listova s međuslojevima razdjelnika. Ulazne onečišćena voda pod tlakom dolazi na polupropusnu membranu koja propušta samo molekule vode. Ona je ujedno i prepreka za sva onečišćenja te separira čistu vodu odnosno permeat od onečišćene vode odnosno koncentrata (slika 8).

Permeat reverzne osmoze se privremeno pohranjuju u spremniku obrađene efluentne vode i tamo se ponovno koriste u postrojenju (navodnjavanje, voda za pranje, voda za hlađenje i sl.) ili se usmjeravaju do konačnog zbrinjavanja. Koncentrat dobiven u procesu RO, uglavnom se vraća do odlagališta i dijelom usmjeruje do jedinice za isparavanje za daljnje smanjenje volumena.



Slika 8. Shematski prikaz reverzne osmoze (URL 2)

2.5.3.5. Obrada aktivnog mulja

Obrada viška mulja, njegovo zgušćivanje i uklanjanje vode iz mulja, vrši se centrifugom. Višak biološkog mulja koji je proizveden tijekom biološkog postupka se uklanja u pravilnim razmacima da bi se održala konstantna koncentracija bioloških krutih tvari u bioreaktoru. U ovom procesu dodaje se polimerna otopina kako bi pospješila ugušćivanje mulja i time povećala količinu vode koja se uklanja iz mulja centrifugom. Razvodnjeni mulj koji nastaje u postrojenju za obradu otpadnih voda može se odlagati ili na bioreaktorsko odlagalište ili biti poslan na proces biosušenja. Razvodnjeni mulj može se odlagati i na plohe odlagališta, no to može zahtijevati dodavanje vapna kako bi se dostigle više vrijednosti suhe tvari.

3. Geološke značajke okolnog terena

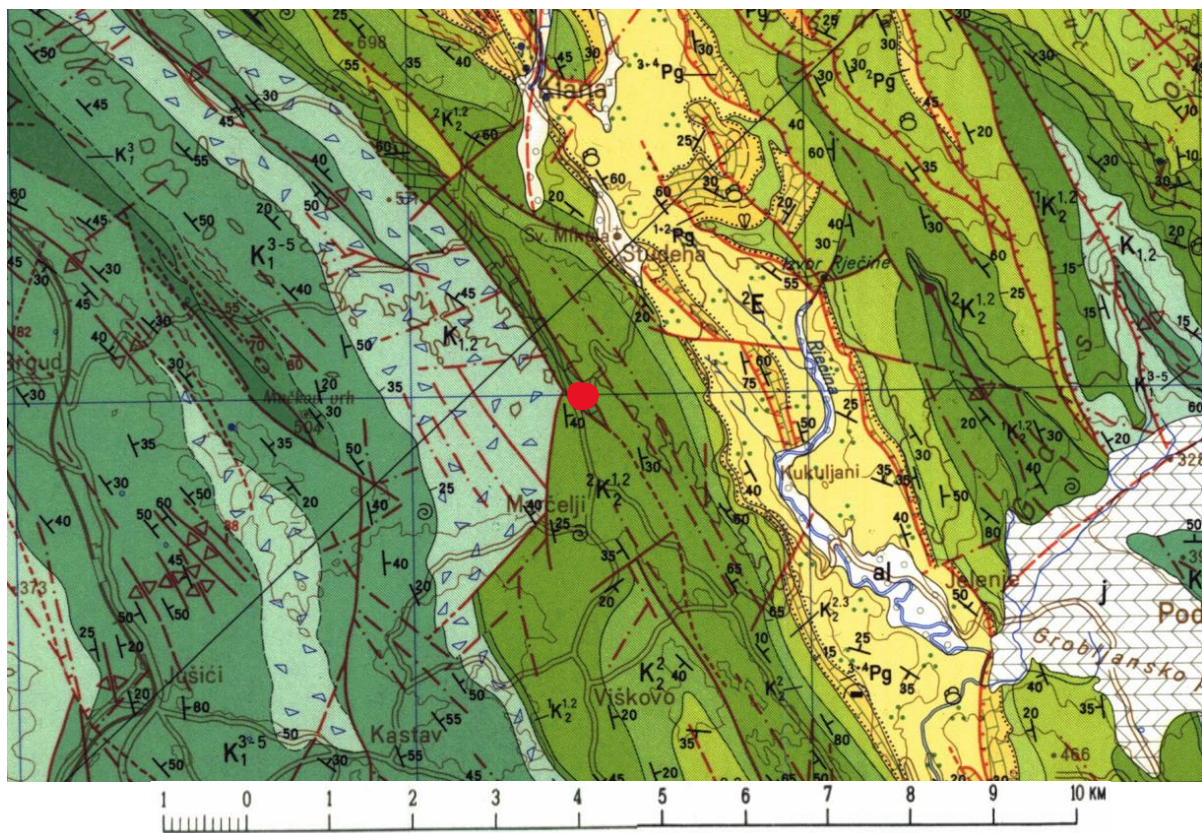
3.1. Geologija terena

Istraživanja geologije na području sjevernog Kvarnera počela su u 19. stoljeću, ali prvi sveobuhvatni prikaz, uključujući Osnovnu geološku kartu list Ilirska Bistrica (slika 9 i 10) i detaljniji opis naslaga, izradili su ŠIKIĆ i sur (1972) te ŠIKIĆ i PLENIČAR (1975). Prema njima samo odlagalište je izgrađeno na gornjokrednim naslagama ($^{1+2}K_2^{1-2}$) (slika 9 i 11). Zajednički naziv za ove naslage su vapnenci s prvim rudistima te vapnenci i dolomiti u izmjeni. Najznačajniji litološki element su sivi vapnenci bogati radiolitidima koji su teško određivi. Među vapnencima se nalaze i debeli prosljoci sivih i tamnosivih, krupnozrnastih dolomita. Ovi prosljoci su debljine 1 – 2 m te su u njima nađeni ostaci hondrodonta i giropleura (ŠIKIĆ i PLENIČAR, 1975). U neposrednoj blizini odlagališta s istočne strane, nalaze se gornjokredne naslage ($^2K_2^{1,2}$). Te naslage su vapnenci koji se vertikalno izmjenjuju s dolomitima. U donjem djelu je to uglavnom biokalkarenit i litokalkarenit koji je debelo uslojen. Srednji dio se sastoji više od dolomita i dolomitiziranih litokalkarenita, a manje kalcilutita. Najčešći fosili su *Chonodrodonta joanne*, *Caprina carinata*, *Caprinulla mašuni* i *Caprinula sharpei*. Debljina ovih naslaga iznosi 400 – 600 m te pripadaju cenomanu i turonu.

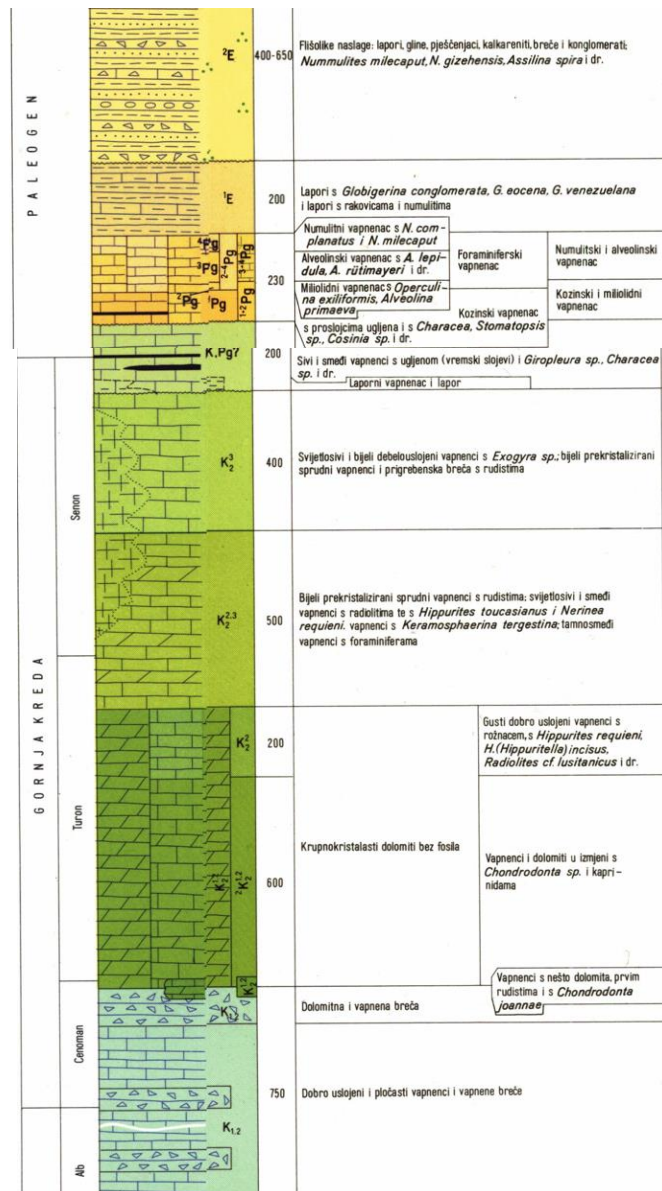
Prema OKG list Ilirska Bistrica, jugozapadno od istraživanog područja, nalaze se još kredne naslage ($K_{1,2}$). Ovo je prijelazni član između donje i gornje krede, litološki okarakteriziran kao vapnenci te vapnene i dolomitne breče. Također nalaze se još i gornjokredne naslage ($^1K_2^{1,2}$), odnosno vapnenci s prvim rudistima.

S druge strane sjeveroistočno od odlagališta nalaze se gornjo kredne naslage (K_2^2). Od Studene prema Rijeci javljaju se slojevi sivih do smeđih vapnenaca, često s velikom količinom bitumena. Na njih se nastavljaju naslage ($K_2^{2,3}$), bijeli prekrizalizirani vapnenci u izmjeni s dolomitima. Većina slojeva na tom području su biokalkareniti, koje sadrže veliku količinu mikro i makrofosilnog materijala, s visokim postotkom kalcijevog karbonata. Također, prisutni su kalkareniti i dijelom kalcilutiti. Dolomiti se pojavljuju kao tanji slojevi, a neki vapnenci postupno prelaze u dolomite. Neki od važnijih fosila su *Accordiella conica* i *Orbitoides media* (ŠIKIĆ i PLENIČAR 1975). Treba spomenuti da su na području Riječke sinklinale prisutne paleogenske naslage (^{3+4}Pg); Alveolinski i numulitni sivi do svijetlosivi sitnokristalasti vapnenci.

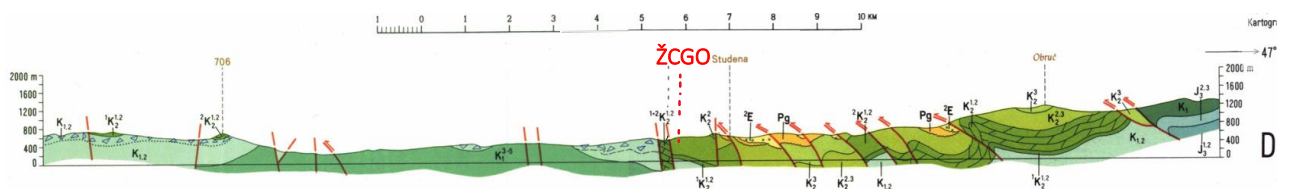
Prema ŠIKIĆ i PLENIČAR (1975), područje na kojem se nalazi ŽCGO Marišćina nalazi se u tektonskoj jedinici Ćićarije, kredno paleogenske građe, i to u njenom jugoistočnom djelu koji graniči s Riječkim paleogenskim bazenom. Točnije pripada boranom području kastavske zaravni koji je odvojen morfološki i poprečnim rasjedom od sjeverozapadnog djela. Na ovom području nalazimo pločaste vapnence s nizom sekundarnih bora. Od posebne važnosti su one sa starijim donjokrednim naslagama u jezgri antiklinale i krednim brečama u jezgri sinklinale kod Kastava. Na sjeveroistočnoj strani, između Viškova i Rijeke, prisutno je sinklinalno područje koje je ispresijecano rasjedima. To područje predstavlja prijelaz prema vrlo deformiranoj sinklinali u dolini rijeke Rječine. Između Klane i Studene, prema gradu Rijeci, prostire se relativno uski dio Riječkog paleogenskog bazena, koji je obilježen brojnim rasjedima. Unutar tog sinklinalnog područja doline rijeke Rječine probijaju paleogenske naslage vapnenaca, a kod Klane i naslage krednih vapnenaca. Ove naslage su navučene prema jugozapadu. Cijeli jugozapadni dio pokriven je fliškim slojevima koji leže transgresivno – diskordantno na paleogenskim slojeve. Nema prijelaznih lapora, no na numulitnim i nekim alveolinskim i miliolidnim slojevima česte su breče i konglomerati, posebice u dolini rijeke Rječine (ŠIKIĆ i PLENIČAR 1975).



Slika 9. Dio OGK list Ilirska Bistrica prema ŠIKIĆ i sur. 1972. (crvenom točkom označena lokacija ŽCGO Marišćina)



Slika 10. Prikaz naslaga po pojedinim geološkim dobima bitnim za područje ŽCGO Marišćina u sklopu geološkog stupa i opis naslaga prema OGK list Ilirska Bistrica ŠIKIĆ i sur. (1972).



Slika 11 Profil iz OGK list Ilirska Bistrica (Šikić i sur. 1972.) koji prolazi pokraj samog odlagališta (crveno označena lokacija ŽCGO Marišćina)

3.2. Hidrogeološke značajke terena

Na širem području Rijeke, uključujući teritorij općine Viškovo, možemo prepoznati dva različita hidrogeološka kompleksa s posebnim karakteristikama u vezi s propusnošću vode i kretanjem površinske i podzemne vode. Prvi kompleks je sastavljen od vodopropusnih karbonatnih stijena, u kojem dolomiti, vapnenci i vapnenci s lećama dolomita igraju ključnu ulogu. Ti slojevi karbonatnih stijena karakteriziraju se pukotinsko-kavernoznom poroznošću koja omogućuje veliku upojnost terena, dok su tokovi površinskih voda rijetki zbog velike brzine otjecanja. Unutar ovog kompleksa, postoje slabije propusne formacije poput eocensko-oligocenskih breča ili Jelar-naslaga, koje unatoč tome pokazuju izrazitu površinsku okršenost i značajnu upojnost. Drugi kompleks je vodonepropusni fliški stijenski kompleks. Ovo područje je također obilježeno intenzivnom tektonskom aktivnošću koja traje od alpske orogenetske faze i najjača je tijekom liburnijskih pokreta od kraja eocena do danas (MIHOVILOVIĆ, 2020).

Kako navode ŠIKIĆ i PLENIČAR (1975.) na ovom području nepropusne barijere za slivove sa Snežnika i Čićarije predstavljaju fliški bazeni. Rezultat toga su izvori Pivke, Reke i Rječine. Naslage dolomita gornje krede i vapnenodolomitne breče na prijelazu između donje i gornje krede predstavljaju djelomično nepropusnu barijeru za vode u kršu Čićarije i Snežnika. Prema litološkom sastavu, stupnju tektonskih deformacija i okršenosti stijena MIHOVILOVIĆ i sur (2020.), na širem području oko Grobničkog polja izdvajaju šest osnovnih grupa stijena prema hidrogeološkim karakteristikama:

- vrlo dobro vodopropusne naslage u koje spadaju kvartarni nasipi, breče i sipari koji se javljaju uz obronke uzvišenih brda građenih od mezozojskih vapnenaca i dolomita. Radi se o obronačkim naslagama nastalih na padinama uzvišenih gora
- dobro vodopropusnih okršene karbonatne stijene u koje spadaju rudistni vapnenci ($K_2^{1,2}$). Poroznost ove grupe stijena je sekundarna, pukotinska, kavernozna. Litološka svojstva, intenzitet tektonskih deformacija i stupanj okršenosti generalno uvjetuju veliku vodopropusnost
- srednje vodopropusnim karbonatnim stijenama pripadaju donjokredni vapnenci (K_1^{1-4}) i paleogenski foraminiferski vapnenci ($E^{1,2}$), odnosno vapnenci sekundarne pukotinsko kavernozne poroznosti. Stijene su uz rasjedne pravce zahvaćene jakim tektonskim deformacijama, a u dubljim dijelovima

ispod površine dobra uslojenost smanjuje propusnost odnosno usmjerava procjeđivanje meteorske vode.

- srednje do slabo propusnim stijenama pripadaju kvartarne klastične taložine slabo vezanih konglomerata i pijesaka Grobničkog polja
- slabo vodopropusnim karbonatnim stijena pripadaju dolomiti s rijetkim lećama vapnenca albske starosti (K_{1,2}). To su također stijene sekundarne, pukotinske poroznosti. Stijene su zajedno s vapnenačkim kompleksom zahvaćene tektonskim deformacijama, ali su slabije okršene, a pukotine ispunjene glinom i dolomitnim pijeskom.
- vodonepropusne klastične stijene čine uslojeni sedimenti fliške serije koji se javljaju se od područja Klane, Studene, Kukuljana. Lapori, kalkareniti i kvarcni pješčenjaci ritmički se izmjenjuju a u kompleksu čine nepropusni paket sedimenata.

4. Metode istraživanja

4.1. Terensko istraživanje

Terensko uzorkovanje provedeno je u dva navrata, 25. listopada 2022. te 3. travnja 2023. U prvom navratu uzeti su uzorci uređenog temeljnog tla, brtvenog mineralnog te drenažnog sloja. Točnije uzorci, temeljnog tla (MAR 1, MAR 2, MAR 3 i MAR 4) prikupljeni su iz iskopanog sidrenog jarka na dnu odlagališne plohe 1B (Slika 12) te tlo (MAR 6 i MAR 7) iza sidrenog jarka bočne plohe 1B. (slika 13). Četiri uzorka temeljnog tla uzeti su svaki na vertikalnom razmaku od 20 cm, počevši od najbližeg pa prema najdubljem djelu uređenog tla. Uzorci tla iza bočne plohe uzeti su isto u razmaku od 20 cm, no zbog ukupne dubine iskopa od svega 40 cm uzeta su samo dva uzorka. Također, u ovom iskopu uzet je uzorak stijene (T14) na kojoj leži uređeno tlo. Uzorak brtvenog, odnosno zemljanog mineralnog sloja (BRT) uzet je s više lokacija nasipavanja, zatim je promiješan kako bi bio što reprezentativniji. Uzorak drenažnog sloja uzet je prilikom nasipavanja istog na brtveni sloj (slika 14).



Slika 12. Sidreni jarak plohe 1B (a: mjesto uzimanja uzoraka temeljnog tla fotografirano izbliza, b: sidreni jarak u kojem su uzorci fotografiran s udaljenosti) (foto: Ivan Deotto)

U drugom navratu cilj je bio prikupiti uzorke okolnih stijena kako bi se proučila geologija područja oko odlagališta. Preko puta odlagališta uz jugozapadnu cestu počinje makadamski put gdje je uzet prvi uzorak (slika 15). Iduće točke su odabirane u skladu s OGK kako bi se uzorkovalo različite litostratigrafske članove, tako da profil uzorkovanja bude što više okomit na pružanje slojeva.



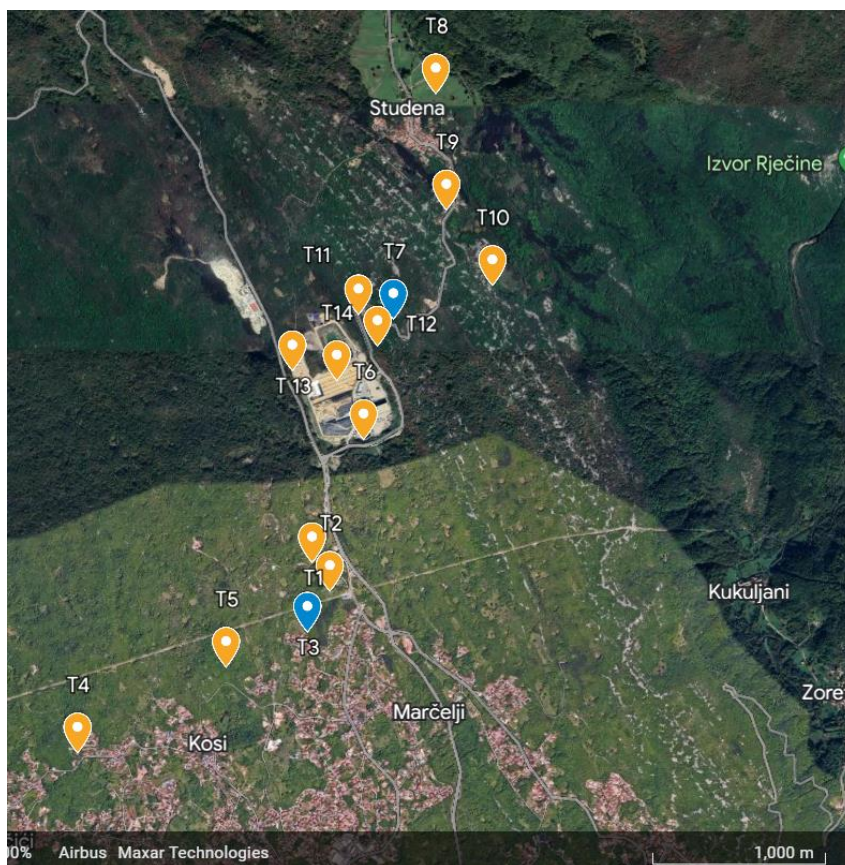
Slika 13. Sidreni jarak iza bočne plohe 1B (**a**: izbliza fotografiran sidreni jarak bočne plohe, **b**: sidreni jarak bočne plohe fotografiran s udaljenosti) gdje su uzeti uzorci temeljnog tla (foto: Ivan Deotto)

Većina uzoraka uzeta je uz ceste gdje su se izdanci jako dobro vidjeli i gdje je određivanje slojevitosti bilo jednostavnije za uočiti. Ukupno je odrađeno 14 uzoraka.

Pri terenskom istraživanju korišteni su standardni geološki alati poput lupe, kompasa, osnovna geološka karata, HCl kiseline u omjeru 1:1, geološki čekić, vrećica i markera za uzorkovanje, te je vođen dnevnik uzorkovanja.



Slika 14. **a**: Uzorkovanje drenažnog materijala prilikom nasipavanja **b**: drenažni materijal prilikom granulometrijske analize (desno) (foto: Ivan Deotto)



Slika 15. Satelitska snimka terena s točkama uzorkovanja preuzeto s <https://earth.google.com/> (URL 3)

4.2. Laboratorijska analiza

4.2.1. Mikroskopska analiza

Nakon provedenog terenskog istraživanja, devet uzoraka (T1, T2, T4, T5, T6, T7, T9, T11 i T13) odabrano je za daljnju laboratorijsku obradu. Odabir uzoraka temeljio se na njihovim makroskopskim karakteristikama, kao što su trošnost, poroznost i veličina, te na sličnosti između pojedinih točaka uzorkovanja koje su bile gotovo identične na prvi pogled.

Mikroskopski preparati svih odabranih uzoraka pripremljeni su na Geološko-paleontološkom zavodu PMF-a te su mikroskopirani na polarizacijskom mikroskopu „Carl Zeiss – Axiolab“.

4.2.2. Granulometrijske metode

Metode korištene pri izradi ovog diplomskog rada u svrhu određivanja granulometrijskog sastava sedimenta iz prikupljenih uzoraka su: metoda mokrog sijanja (za čestice < 4 mm) i izravno mjerenje (za čestice > 4 mm). Ove metode odabrane su prema TIŠLJAR (2004).

Određivanje granulometrijskog sastava prethodno navedenim metodama obavljeno je u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda.

Za uzorak drenažnog sloja primijenjena je metoda izravnog mjerenja. Zrna su bila veća od raspoloživih rupičastih sita, stoga je korišteno pomično mjerilo ("šubler") za mjerenje. Izmjereno je 300 zrna, nasumično odabranih iz uzorka kako bi se izbjegao subjektivni odabir. Svakom zrnu mjerene su tri dimenzije po osima: najkraćoj, najdužoj i trećoj okomitoj na prethodne dvije. Vrijednosti dužina po najdužoj osi svih 300 zrna podijeljene su u određene raspone veličina, tj. frakcije. Odabir frakcija temeljio se na rasponu granulometrijskog sastava kako bi se dobila ravnomjerna raspodjela. Očekuje se da mjereni uzorci pripadaju krupnom šljunku (eng. Coarse gravel). Korištena je podjela prema BLOTT i PYE (2012.) koja uključuje zrna veličine jako krupnog šljunka, krupnog šljunka, srednjeg šljunka i sitnog šljunka. Odabrane su 4 frakcije: prva je manja od 8,0 mm (sitni šljunak); druga je veličine 8,0 – 16,0 mm (srednji šljunak); treća je veličine 16,0 – 32,0 mm (krupni šljunak); i četvrta je veća od 32 mm (vrlo krupni šljunak).

U ovom istraživanju korištena je metoda mokrog sijanja za određivanje veličine zrna u uzorcima temeljnog tla (MAR 1, MAR 2, MAR 3, MAR 4), tla (MAR 6 i MAR 7) te uzorku brtvenog sloja (BRT). Ova metoda je izuzetno važna za analizu granulometrijskog sastava, odnosno distribucije veličina zrna. Uzorci su prosijani kroz različita sita kako bi se izdvojile različite frakcije. Frakcija je dio uzorka koji ostaje na nekom situ i sadrži zrna određene veličine koja su ograničena dimenzijama otvora na dva susjedna sitima (TIŠLJAR, 2004).

Proces sijanja započeo je vaganjem svakog uzorka. Izvagani uzorci prebačeni su u staklene zdjelice te je dodana destilirana voda kako bi se uzorci razmočili i razdvojili slijepljeni sediment. Svi uzorci su prosijani kroz standardna Retsch® ASTM sita od nehrđajućeg čelika. Ukupno je korišteno 7 sita s otvorima promjera od 4 mm do 0,063 mm, prema WENTWORTH klasifikaciji (1922). Kako bi se prosijao sediment sa sita, korištena je destilirana voda tijekom sijanja.

Nakon sijanja, frakcije koje su ostale na određenim sitima su stavljene u odvojene posudice i sušene nekoliko dana. Zatim su pojedinačno izvagane osušene frakcije na tehničkoj vagi. Svaki izvagani sediment je pažljivo označen, uzimajući u obzir lokaciju uzorka i veličinu frakcija te njihovu masu. Nakon vaganja uzorci su pohranjeni u papirnate vrećice.

4.2.3. Granulometrijski parametri

Podaci koji su dobiveni metodom mokrog sijanja uneseni su u Microsoft Excel tablice te su obrađeni u programima: Particle size distribution classification (BLOTT I PYE, 2012) i GRADSTAT ver 9.1 (BLOTT I PYE, 2001). Na taj način su dobiveni podatci o količini pojedine frakcije u uzorku, sortiranosti uzorka te srednje veličine čestica. Tip sedimenta određen je prema BLOTT I PYE (2012.) klasifikaciji te su analizirani uzorci prikazani su pomoću trokomponentnog dijagrama.

Iz kumulativne krivulje u programu GRADSTAT ver. 9.1, očitavanjem vrijednosti veličine zrna u Φ izračunati su sljedeći granulometrijski parametri prema metodi koju je definirao FOLK (1954):

Srednja veličina zrna (medijan) predstavlja vrijednost od kod koje je 50% čestica veće, a 50% čestica manje.

$$Md = \Phi 50$$

Koeficijent sortiranosti (sorting) pokazuje jednoličnost distribucije:

$$So = (\Phi 84 - \Phi 16)/4 + (\Phi 95 - \Phi 5)/6.6$$

Kategorije sortiranosti sedimenta:

- < 0,35 - vrlo dobro sortirano
- 0,35-0,50 - dobro sortirano
- 0,5-0,70 – umjereno dobro sortirano
- 0,70 – 1,00 – umjereno sortirano
- 1,00 – 2,00 – loše sortirano
- 2,00 – 4,00 – vrlo loše sortirano
- 4,00 – izrazito loše sortirano

4.2.4. Rendgenska difrakcija

U istraživanju glina u uzorku brtvenog sloja korištena je metoda identifikacije glina prema MOORE i REYNOLDS (1997.). Postupak je uključivao nekoliko koraka kako bi se izdvojila frakcija manja od 2 mikrometra za detaljnu analizu sastava uzorka.

Prvo, uzorak brtvenog sloja BRT je osušen, a zatim izvagan kako bi se pripremio za daljnje analize. Izvagano je 30 grama prosijanog materijala koji je stavljen u čašu od 600 ml.

Destilirana voda je dodana materijalu u čaši do razine od 300 ml, te je uzorak pažljivo pomiješan štapićem kako bi se osigurala homogena smjesa (slika 16). Magnetna miješalica

je zatim korištena da bi se uzorak još bolje razmuljio. Cilj je bio osigurati ravnomjerno raspoređene čestice u uzorku kako bi se kasnije uspješno odvojila frakcija manja od 2 mikrometra (μm).

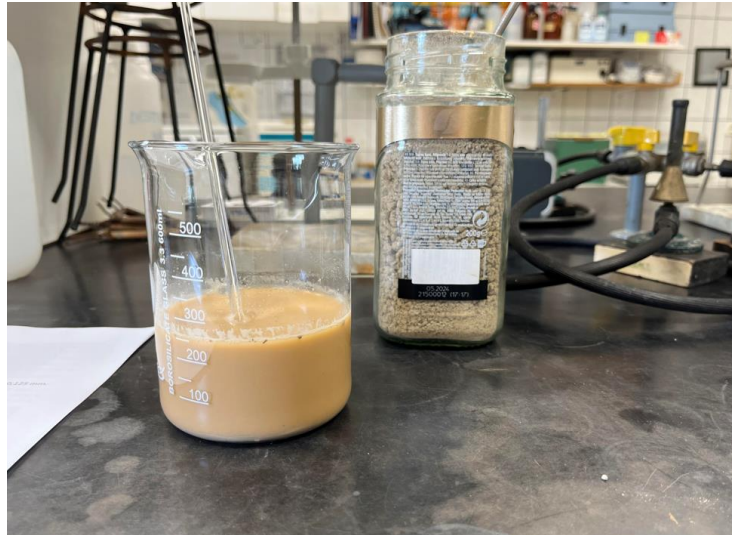
Nakon toga, četiri plastične kivete su pripravljene za centrifugiranje. Na svakoj kiveti je označena visina od 6 cm i 10 cm od dna. U kivete je dodan razmuljeni uzorak do polovine prve oznake (6 cm), a zatim je dodana destilirana voda do gornje oznake (10 cm). Sadržaj u kivetama je dobro promiješane i stavljene u centrifugu. Uzorci u kivetama su centrifugirani na brzini od 1000 rpm (okretaja u minuti) tijekom 2 minute i 45 sekundi. Ovo je vrijeme potrebno da se čestice od 2 μm potonu kroz stupac od 4 cm.

Po završetku centrifugiranja, u što kraćem vremenu, suspenzija zaostala između oznaka 10 i 6 cm odpipetirana je i prenesena u novu čašu od 600 ml. Ovaj postupak je ponovljen 7 puta kako bi izdvojili dovoljno glinene frakcije. Također, preostali materijal nakon izdvajanja glinene frakcije je korišten za pripremu uzoraka srednje i krupne veličine čestica u uzorku, kako bi se detaljnije analizirale njihove karakteristike. Kao krupna frakcija izdvojene su veličine čestica šljunka, dok su čestice veličine mulja izdvojene kao srednja frakcija. Završetkom postupka centrifugiranja i dekantacije, laboratorijska čaša sa suspenzijom je ostavljena nekoliko dana kako bi se glinena frakcija istaložila. Nakon taloženja, bistra tekućina je dekantirana, a iz ostatka su pripravljene orijentirane preparate glina. Osušeni materijal iskorišten je za izradu neorijentiranog preparata glinene frakcije

Dodatno, pripravljene su i uzorke za analizu cjelovitog uzorka (WR) kako bi se utvrdio ukupni sastav materijala. Ovaj uzorak je pripravljen mrvljenjem uzorka u ahatnom tarioniku (slika 17). Tako su dobiveni sveobuhvatni podaci o mineralnom sastavu, uključivo identifikaciju minerala glina, različitih veličinskih frakcija u istraženom uzorku brtvenog sloja.

Fazna analiza uzoraka provedena je metodom difrakcije rendgenskih zraka na praškastim uzorcima na Philipsovom vertikalnom rendgenskom goniometru (tip X-Pert), uz upotrebu Cu-cijevi (40 kV, 40 mA) čije je zračenje monokromatizirano Ni filterom. Za registraciju zračenja korišten je brojač PIXcel^{1D}. Pukotine na instrumentu bile su kako slijedi: maska 10 mm, divergentna pukotina $1/8^\circ$ te pukotina od $1/4^\circ$ za sprječavanje raspršenja na strani cijevi. Pri snimanju korišten je aluminijski nosač za neorijentirane preparate. U slučaju orijentiranih pripravaka, suspendirana glinovita frakcija se nakapava na površinu predmetnog stakalca. Stakalce je prethodno lagano brušeno kako bi se stvorila

površina koja bolje prihvaća glinovite čestice. Nakon nakapavanja preparati se suše. Radi razlikovanja minerala glina u uzorcima, nakon snimanja pripravaka sušenog na zraku, uzorci se ostavljaju preko noći u eksikatoru s etilen-glikolom nakon čega se vrši ponovno snimanje. Dalje, pripravci su podvrgnuti zagrijavanju na temperaturama od 400°C i 550°C. Nakon svakog zagrijavanja, ponovno su snimljeni u rasponu od 2-20°2θ kako bi se uočili pomaci bazalnih maksimuma, što omogućuje identifikaciju minerala glina (STARKEY i sur. 1984).



Slika 16. Priprema uzorka tj. izdvajanje glinene frakcije za rendgensku difrakcijsku analizu. Na slici je razmuljeni uzorak (foto:Ivan Deotto)



Slika 17. Priprema uzorka za analizu cjelovitog uzorka (WR) u ahatnom tarioniku

5. Rezultati

5.1. Terenski rezultati

Istraživanje terena započeto je na jugozapadnom dijelu ŽCGO Marišćina, na cesti Viškovo – Rupa. Stijene na promatranom terenu se jasno izdanjuju te je većina uzoraka uzeta sa zasjeka uz cestu. Slojevitosti i pukotinski sustavi mjereni su kompasom gdje je to bilo moguće. Slojevitost u točki T1 je bilo teško odrediti, no izmjerena je 90/30. Ovaj uzorak je dosta smrdio na organsku tvar prilikom udaranja. Mikroskopski uzorak pokazao je da u uzorku postoje *Chondrodonta* školjke. Gotovo identičan mikroskopski presjek pokazuje i uzorak T2 i T3, gdje je izmjerena slojevitost 108/22, odnosno 110/32. Uzorci T1, T2 i T3 pripadaju gornjokrednim naslagama ($^2K_2^{1,2}$). U nastavku cestom prema Matuljima uzeti su uzorci T4 i T5, gdje je uzorak T4 dosta uočljiva breča, a izmjerena je slojevitost 83/23. Na točki T5 izmjerena je slojevitost 80/38. Obje točke su dio jedinice dolomitnih i vapnenih breča $K_{1,2}$.

Uzorak T6 uzet je na izdanku kod ulaska u ŽCGO Marišćina, T13 na istočnom vanjskom dijelu odlagališta, dok je uzorak T14 uzet prilikom iskopa bočnog jarka na zapadnom dijelu odlagališne plohe 1B. Prethodno navedeni uzorci, zapravo predstavljaju geološku jedinicu na kojoj je izgrađen ŽCGO Marišćina. Slojevitost je bilo dosta teško izmjeriti te je u točki T6 izmjerena 122/27, dok je u točki T13 izmjerena 120/27. Također potrebno je naglasiti da uočen pukotinski sustav u sve tri točke 90/29. Sva tri uzorka su makroskopski izgledali prekrizalizirano te su šumili prilikom kapanja HCl-a. Uzorci su mikroskopski determinirani kao mikriti.

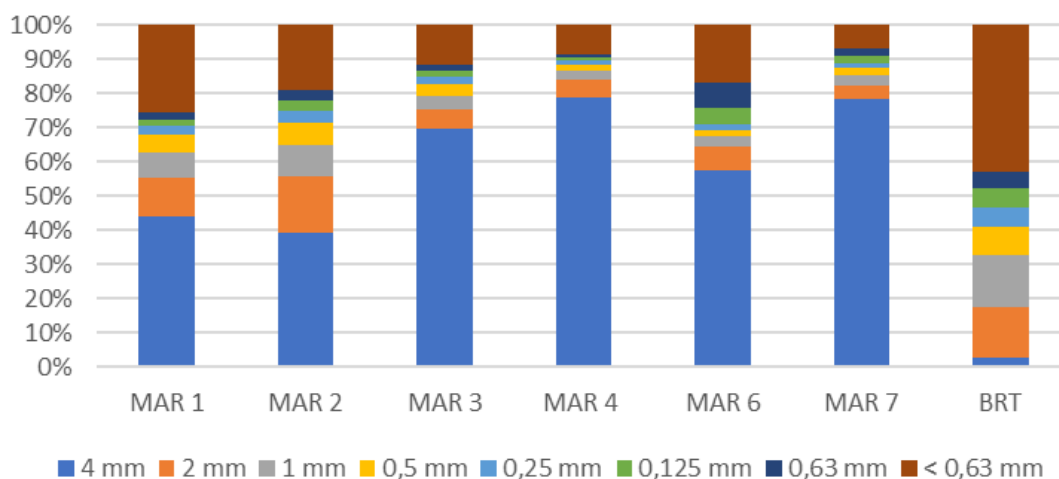
U nastavku ceste koja vodi prema Studenoj, iznad samog odlagališta, uzeti su uzorci T11, T12 i T7. Nagib slojeva u ovim točkama izmjeren je 95/17 te je iz uzoraka vidljiva promjena litologije u odnosu na stijene kod samog odlagališta. Također, bitno je naglasiti da su u točkama T11 i T12 jasno uočljivi pukotinski sustavi. Izmjerena su dva pukotinska sustava, prvi 10/57; 10/44 i drugi 162/48; 158/38. Mikroskopski je utvrđeno da uzorci sadrže dosta fosila (*Chondrodonta sp.*), otprilike laminarno slaganih.

Nastavljeno je promatranje geološke građe cestom prema Studenoj, gdje je i određena točka T8. Ovdje su uočene kvartarne naslage gline i pijeska.

Uzorci T8 i T9 uzete su na ulasku u samo mjesto kod „špilje“ i 200 m JI, gdje je izmjerena slojevitost 310/22, odnosno 302/16. Stijene sadrže dosta foraminifera te su mikroskopski determinirani kao Miliolidni vapnenci (biomikrit, vekston).

5.2. Granulometrijski podaci

Udjeli pojedine veličinske frakcije u uzorcima MAR1, MAR2, MAR3, MAR4, MAR6, MAR7 i BRT dobivene mokrim sijanjem kroz 7 sita s otvorima promjera od 4 mm do 0,063 mm prikazani su na slici 18. S porastom dubine od MAR 1 do MAR 4 smanjuje se udio muljevite frakcije (< 0,063 mm). Ova frakcija je daleko najzastupljenija u uzorku BRT (43 %), dok je u uzorcima MAR 6 i MAR 7 u rasponu od 6,6 – 16,6%.



Slika 18. Udjeli frakcija dobivenih mokrim sijanjem

Uzorak MAR 1 predstavlja površinski sloj pripremljenog tla plohe 1B. MAR 2 je uzorak na dubini od 20 - 40 cm, MAR 3 na dubini od 40 – 60 cm i MAR 4 na dubini od 60 - 80 cm. Udio mulja, odnosno frakcije manje od 0,063 mm u uzorku MAR 1 iznosi 25,5 % (tablica 2). Ovaj uzorak ima daleko najveći udio sitne frakcije u odnosu na sve dublje uzorke temeljnog tla, u kojem se s dubinom smanjuje frakcija mulja i povećava frakcija pijeska i šljunka.

Udio muljevite frakcije u uzorcima MAR 1 – MAR 4 iznosi 8,5 % - 25,5 % (tablica 2). Udio pjeskovite frakcije (2 mm – 0,063 mm) u istima iznosi 41,7 % - 12,6 %, dok udio šljunčane frakcije (>2 mm) iznosi 78,9 % - 39,1 %. Prema BLOTT I PYE (2012) uzorak MAR 1 klasificira se kao pjeskovito - muljeviti šljunak („sandy muddy gravel“). Uzorak MAR 2 klasificira se kao slabo muljevito - šljunčani pijesak („eng. slightly muddy gravelly

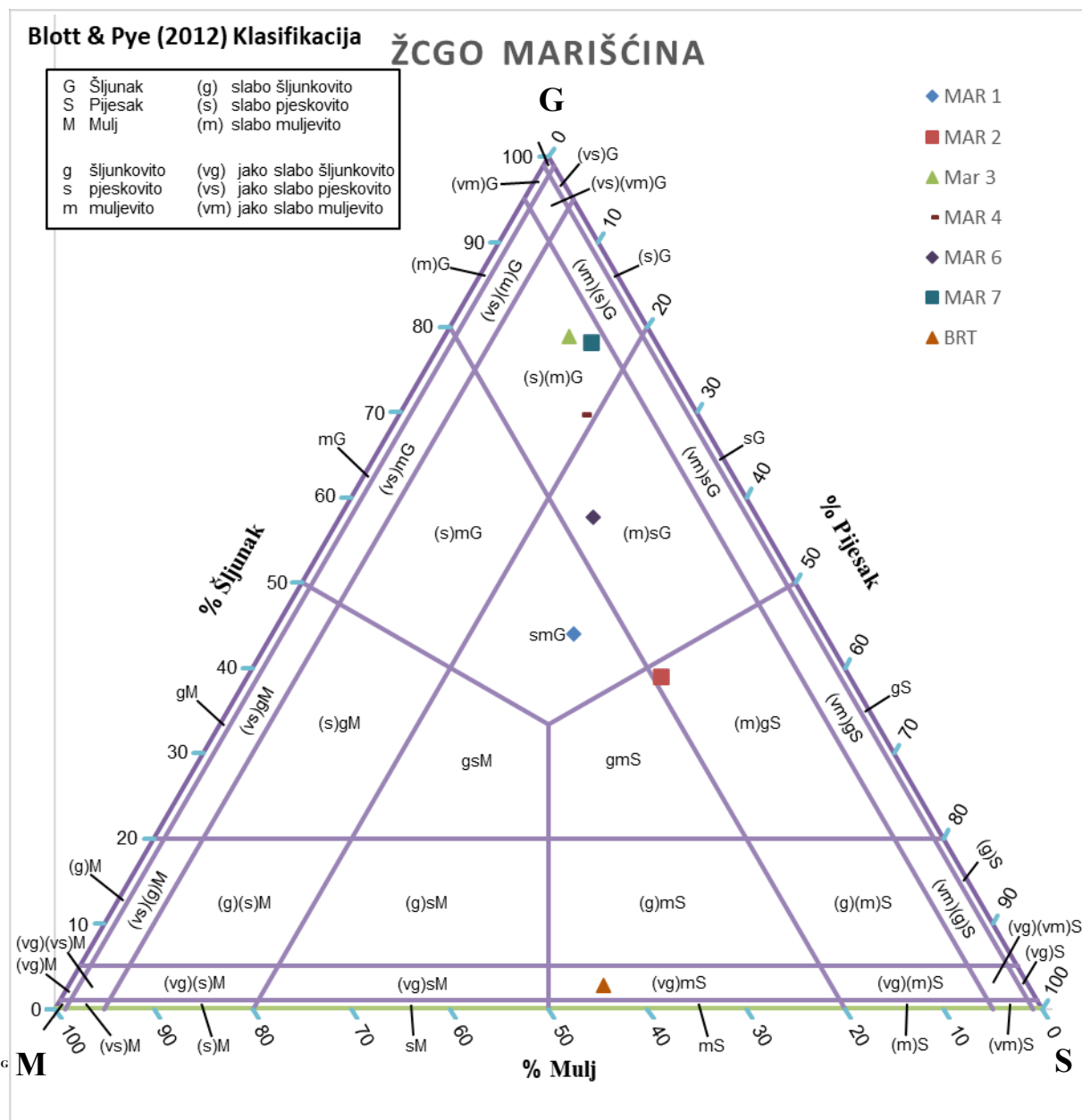
sand“), dok su uzorci MAR 3 i MAR 4 slabo pjeskovito i muljeviti šljunak („slightly sandy slightly muddy gravel“) Uzorci MAR 1 – MAR 4 prikazani su na trokomponentnom dijagramu za klasifikaciju šljunak-pijesak-mulj prema BLOTT i PYE (2012) (slika 19).

Na temeljnom pripremljenom tlu, koje je uređeno kako bi osiguralo stabilnost odlagališta i izvedbu brtvenih i drenažnih slojeva postavljen je mineralni brtveni sloj (uzorak BRT). Udio šljunka u ovom sloju iznosi 2,7 %, dok udio pjeskovite frakcije iznosi 54,2 %. Frakcije sitnije od pijeska dobivene metodom mokrog prosijavanja iznosi 43,1 % (tablica 2). Uzorak BRT klasificira se kao vrlo slabo šljunkovito - muljeviti pijesak („very slightly gravelly muddy sand“) (slika 19).

MAR 6 i MAR 7 predstavljaju okolno tlo plohe 1B. Uzorak MAR 6 je površinski sloj tla, dok je MAR 7 uzet na dubini od 20 do 40 cm. Šljunkovita komponenta u ovim uzorcima iznosi 78,3 % -57,7 %, dok frakcije pijeska ima 15,1 % - 25,7 % (tablica 2). Uzorak MAR 6 klasificiran je kao slabo muljevito – pjeskoviti šljunak („slightly muddy sandy gravel“), dok je uzorak MAR 7 klasificiran kao slabo pjeskovito i muljeviti šljunak („slightly sandy slightly muddy gravel“). Uzorci su prikazani na trokomponentnom dijagramu (slika 19).

Tablica 2 Udio frakcija sedimenta po uzorcima i njihova klasifikacija prema BLOTT i PYE (2012)

Uzorci	Šljunak %	Pijesak %	Mulj %	Klasifikacija
MAR 1	43,98	30,49	25,54	Pjeskovito - muljeviti šljunak
MAR 2	39,10	41,73	19,17	slabo muljevito - šljunčani pijesak
MAR 3	69,78	18,59	11,63	slabo pjeskovito i muljeviti šljunak
MAR 4	78,91	12,62	8,47	slabo pjeskovito i muljeviti šljunak
MAR 6	57,70	25,68	16,62	slabo muljevito – pjeskoviti šljunak
MAR 7	78,31	15,08	6,61	slabo pjeskovito i muljeviti šljunak
BRT	2,73	54,21	43,05	vrlo slabo šljunkovito - muljeviti pijesak



Slika 19. Trokomponentni dijagram šljunak (G) – pijesak (S) – Mulj (M) (BLOTT i PYE 2012)

Srednju veličinu čestica ima uzorak brtvenog sloja (0,16 mm), dok najveću imaju uzorci MAR 4 i MAR 7 (1,83 i 1,62 mm). U uzorcima gornjeg dijela uređenog tla MAR 1 i MAR 2 srednja veličina čestica je nešto manja nego u MAR 3 i MAR 4 i iznosi 0,56 mm i 1,08 mm (tablica 3). Uzorci MAR 1 i MAR 2, MAR 6 i BRT su vrlo loše sortirani, dok MAR 4 i MAR7 umjereno sortirani. Uzorak MAR 3 je loše sortirani (tablica 3).

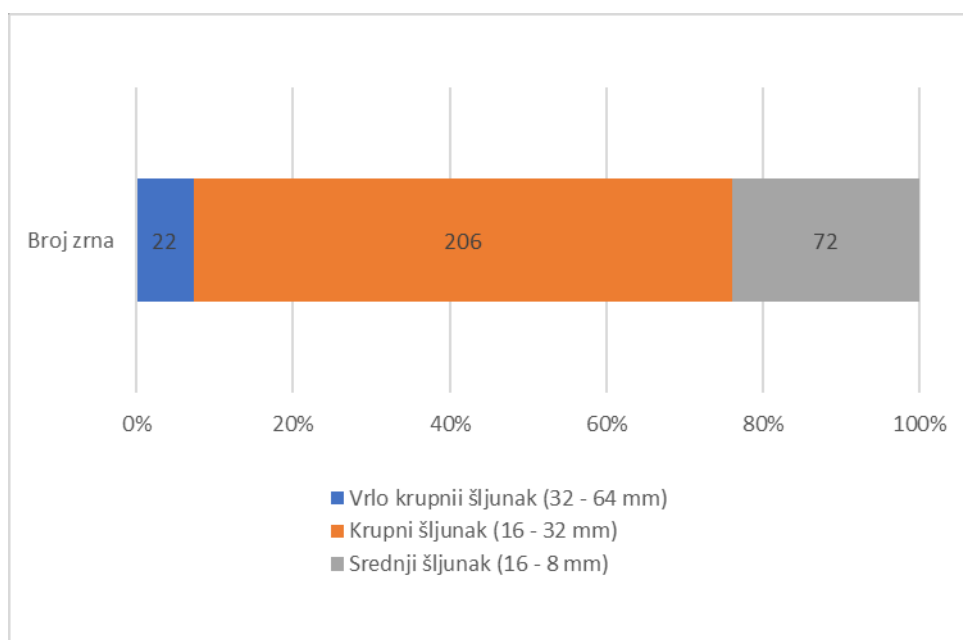
Tablica 3 Granulometrijski parametri uzoraka

Uzorak	MAR 1	MAR 2	MAR 3	MAR 4	MAR 6	MAR 7	BRT
Medijan (mm)	0,47	0,56	1,08	1,83	0,65	1,62	0,16
Koeficijent sortiranosti	2,31	2,454	1,471	0,735	2,225	0,749	3,314
Sortiranost	vrlo loše	vrlo loše	loše	umjereno	vrlo loše	umjereno	vrlo loše

Tri vrijednosti mjerene su na svakoj od čestica drenažnog sloja (najdulja, srednja i najkraća os uzorka). Dužine najdulje osi uzorka iznose 10,0 – 44,0 mm, srednje duljine 5,0 – 31,5 mm, dok najkraće iznose 2,0 – 24,0 mm. Srednja vrijednost veličine čestica drenažnog sloja iznosi 22 mm, dok je prvi kvartil 17 mm, a treći kvartil 26 mm (tablica 4). Prema raspodjeli veličine 7,3% pripada vrlo krupnom šljunku, 68,7 % krupnom šljunku, 24,0 % pripada srednjem šljunku (slika 20). Frakcija sitnog šljuka nije izmjerena u uzorku. Prema FOLK (1954) uzorak je dobro sortiran (koeficijent sortiranosti: 0,484) te se klasificira kao krupni šljunak.

Tablica 4 Statistički podaci za drenažni sloj

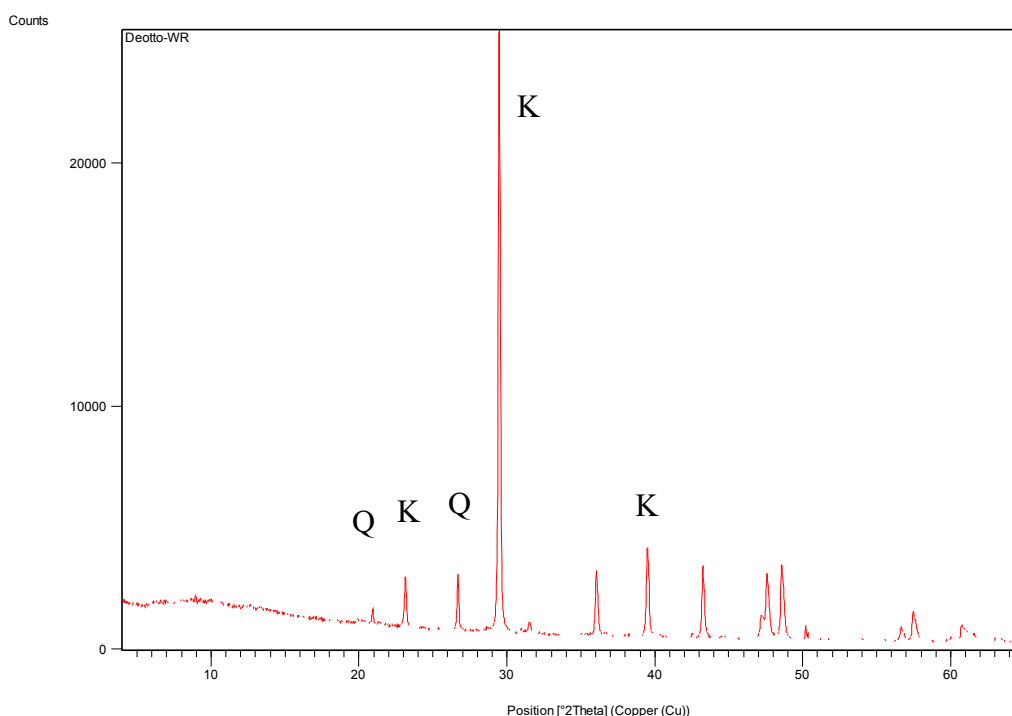
Drenažni sloj	Najveća os	Srednja os	Najmanja os
Srednja vrijednost	22,0	14,9	9,2
Medijan	20,0	13,0	8,5
Q1	17,0	11,0	6,0
Q3	26,0	18,0	11,3



Slika 20. Raspodjela veličine zrna u uzorku drenažnog sloja

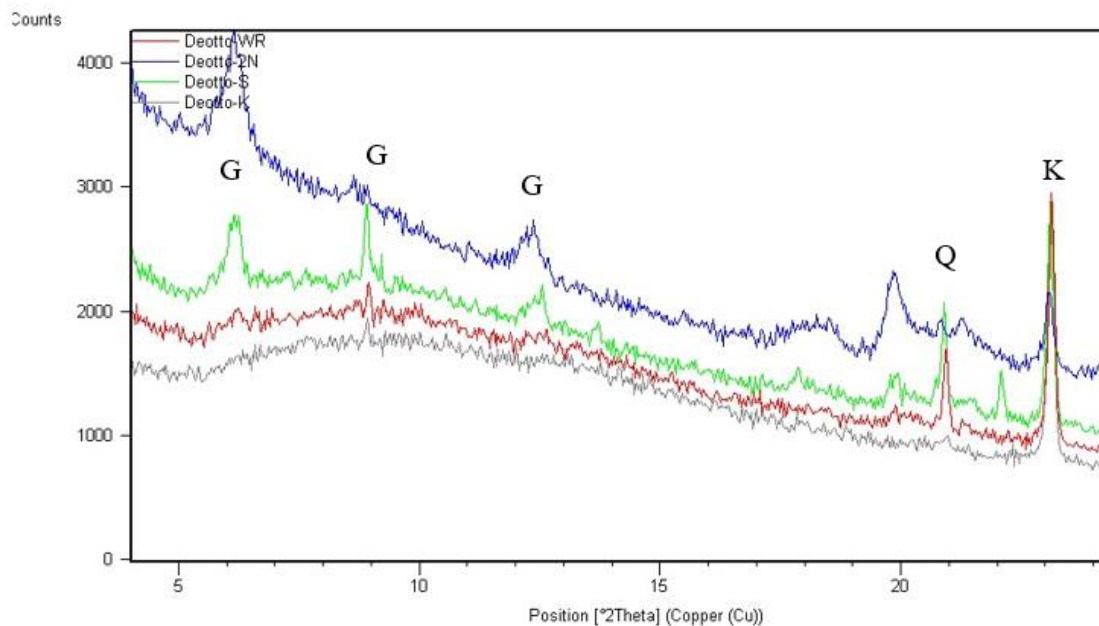
5.3. Rezultati Rendgenske difrakcije

Rendgenogram cjelokupnog uzorka (WR) brtvenog sloja prikazan je na slici 21, dok je rendgenogram na kojem su uspoređene izdvojene frakcije: krupna frakcija koja je ostala nakon dekantiranja, srednja frakcija veličine siltozne komponente i neorijentirani uzorak glinovite frakcije manje od 2 mm prikazani na slici 22. Mineralni sastav krupne frakcije, odnosno frakcije veličine šljunka, sačinjen je ponajviše od kalcita. U sastavu sitnije frakcije povećava se udio kvarca, no isti nije pronađen u uzorcima glinene frakcije, što ukazuje da kvarc nije vezan na glinenu frakciju.

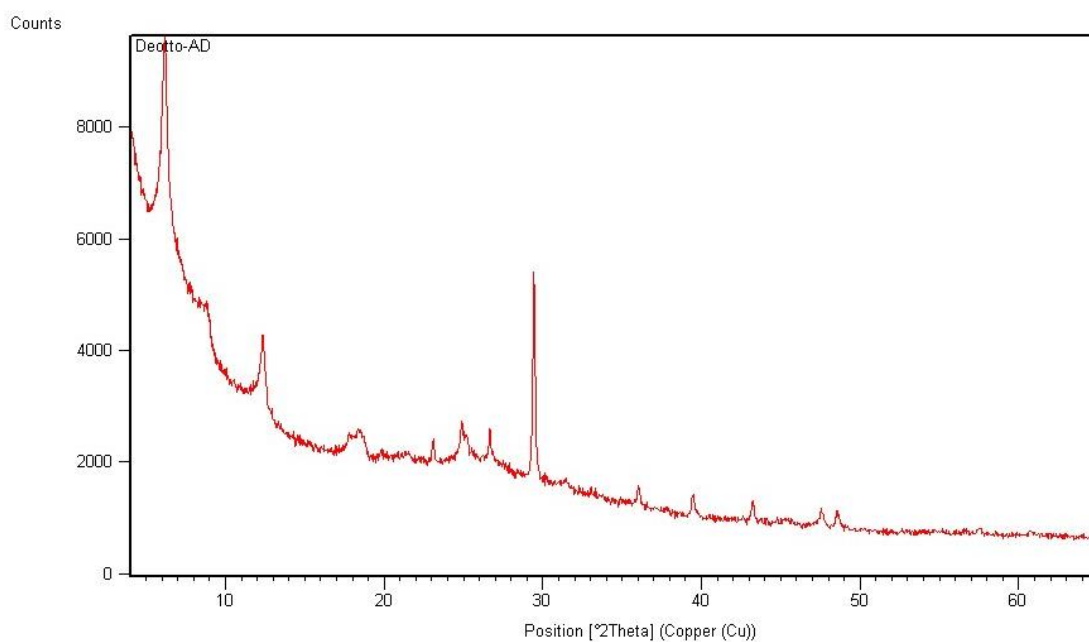


Slika 21. Rendgenogram cjelovitog uzorka brtvenog sloja (K= kalcit, Q=kvarc)

Rendgenogram orijentirane glinovite frakcije sušene na zraku prikazan je na slici 23, dok su rendgenografski podaci prikazani u tablici 5. Slika 24 prikazuje rendgenogram orijentiranih preparata sitne frakcije manje od 2 mm sušene na zraku, zasićene etilen glikolom (EG) te grijane, prvo na 400°C, a zatim na 550°C.



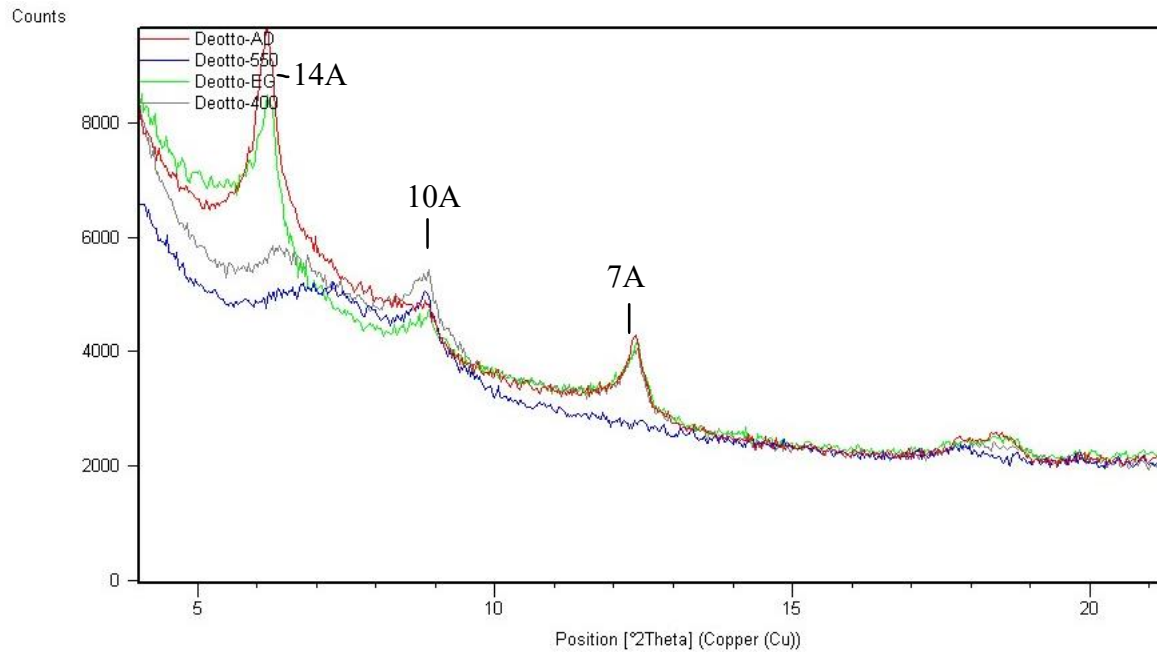
Slika 22 Rendgenogram uspoređenih uzoraka sitne frakcije (zeleno), krupne frakcije (sivo), neorijentiranog uzorka (plavo) i cjelokupnog uzorka (crveno). Glina – G, Kvarc – Q, kalcit – K.



Slika 23 Rendgenogram orijentirane sitne frakcije sušene na zraku

Difrakcijski maksimum na otprilike 14 Å nakon tretmana s etilen glikola se gotovo nije promijenio tj. Uzorak ne pokazuje bubrenje, dok je nakon grijanja na 400, značajno oslabio i neznatno se pomaknuo prema manjim d vrijednostima. Na 550 °C dodatno kolabira isto kao i u neorijentiranom uzorku. Maksimum na 10 Å nakon grijanja na 400 i 550 raste po intenzitetu, što također ukazuje na gubitak međuslojne vode 14 Å minerala. Prema navedenom, iako je ponašanje materijala netipično, najvjerojatnije je brtveni sloj sastavljen

od minerala iz skupine vermiculita ili minerala čija struktura je prijelazna između vermiculita i klorita, tj. vermiculitu kojem je međusloj djelomično ispunjen hidroksilnim skupinama odnosno $Al_6(OH)_5^{3+}$ polikationima tzv. HIV-u (eng. „hydroxy interlayered vermiculite“). Također u uzorku ima i kaolinita, što se može zaključiti na temelju nestanka maksimuma na 7A nakon grijanja na 550°C.



Slika 24. Usporedba rengenograma sitne frakcije sušene na zraku (crveno), zasićene etilen glikolom (zeleno), zagrijane na 400°C (sivo) te na 550°C (plavo)

Tablica 5. Rendgenografski podaci lake mineralne frakcije uzorka BRT

Položaj difrakcijskog maksimuma (2θ)	d-međumrežni razmak [Å]	Relativni intenzitet (%)	Mineral
6,16	14,3370	100	Vermikulit
12,35	7,1600	21	Kaolinit; Vermikulit; Montmorilonit
18,55	4,7806	6	Vermikulit
19,89	4,4605	2	Vermikulit; Kaolinit
21,49	4,1321	2	Vermikulit; Kaolinit
23,11	3,8452	6	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
24,94	3,5674	11	Vermikulit; Kaolinit
25,21	3,5296	8	Vermikulit
26,66	3,3406	11	Vermikulit; Kaolinit
29,44	3,0312	56	Kalcit, Vermikulit
31,43	2,8436	2	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
35,99	2,4930	5	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
39,48	2,2808	6	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
43,20	2,0923	5	Kalcit; Vermikulit
45,29	2,0008	1	Vermikulit
47,54	1,9110	5	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
48,54	1,8739	4	Kalcit; Vermikulit
56,63	1,6241	1	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
57,57	1,5998	1	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit
60,82	1,5218	1	Kalcit; Vermikulit; Kaolinit

6. Rasprava

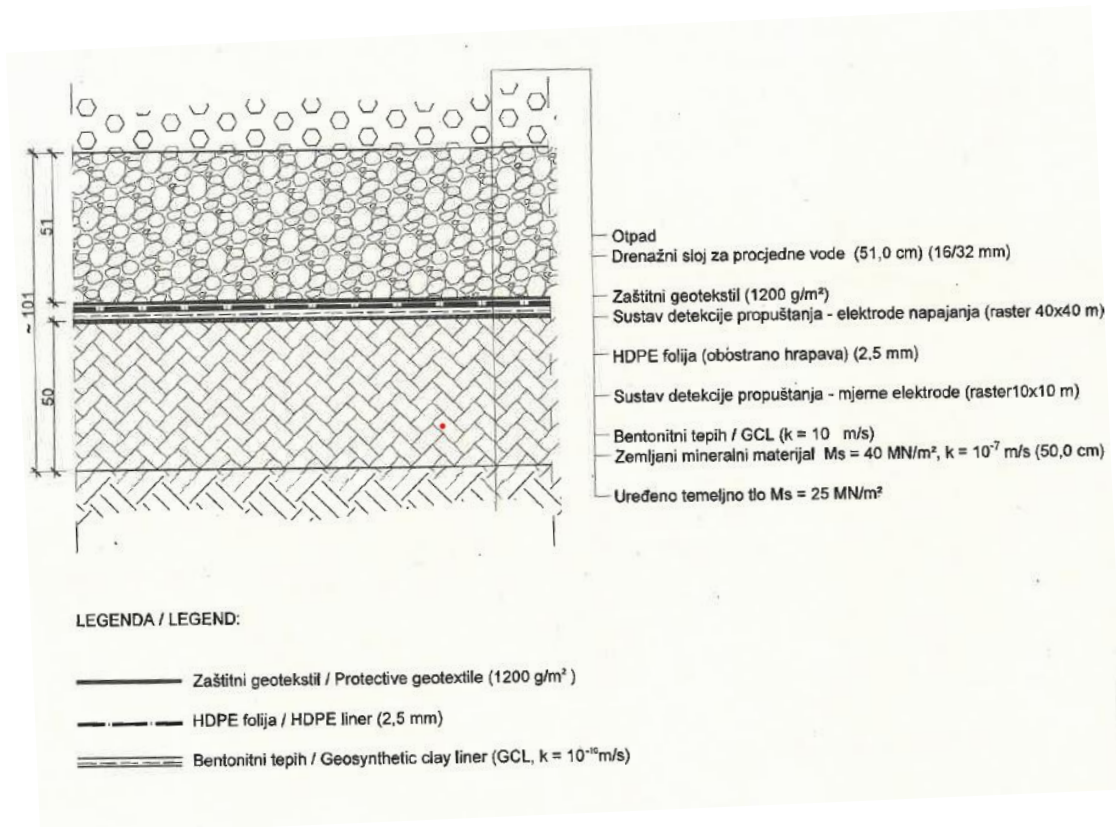
Odlagališta otpada mogu imati značajan utjecaj na okoliš. Kako bi se minimalizirali mogući utjecaji na okoliš, potrebno je te provesti adekvatne inženjerske zahvate. Kako je već navedeno jedan od najznačajnijih aspekata na okoliš je utjecaj samog odlagališta na okolni hidrološki sustav.

Prema ŠIKIĆ i sur (1972.), sama lokacija na kojoj je izgrađen ŽCGO Marišćina nalazi se na stijenama sedimentnog tipa koje po starosti pripadaju gornjoj kredi i to jedinici cenomanu i turonu ($^{1+2}K_2^{1,2}$). Litološki, prema (ŠIKIĆ i PLENIČAR, 1975) ovu jedinicu čine vapnenci s prvim rudistima i vapnenci i dolomiti u izmjeni. Uzorci prikupljeni na točkama T6, T13 i T14 potvrđuju da se radi o vapnencima koji su dosta iskristalizirani te je potrebno naglasiti da je na ovim točkama uočen i pukotinski sustav 90/29. Jugozapadno od samog kompleksa, točnije u točkama T1, T2, T3 nalaze se gornjokredne vapnenačke naslage. Prema (ŠIKIĆ i PLENIČAR, 1975) ovu jedinicu čineje vapnenci i dolomiti u izmjeni s *Chondrodonta sp.* i kaprinidima turonske starosti ($^2K_2^{1,2}$). U ovim točkama se jasno vide pukotinski sustavi, a na terenu su i izmjerena dva pukotinska sustava, prvi 10/57, odnosno 10/44 i drugi 162/48, odnosno 158/38. Prema (ŠIKIĆ i PLENIČAR, 1975) prethodno navedene stijene se nalaze na naslagama starosti alb – cenoman ($K_{1,2}$) koje su litološki gledano vapneno i dolomitne breče. Na njima se nalaze cenomanske naslage, odnosno dolomitne i vapnene breče. Dolomitne i vapnene breče su pronađene na točkama T4 i T5.

Krš, koji izgrađuje praktično cjelokupno područje općine Viškovo, odlikuje se pukotinsko-kavernoznom poroznošću. MIHOVILOVIĆ i sur. (2020.) izdvaja dobro vodopropusne okršene karbonatne stijene u koje spadaju rudistni vapnenci ($K_2^{1,2}$) i slabo vodopropusne karbonatne stijene, odnosno dolomiti s rijetkim lećama vapnenca albske starosti ($K_{1,2}$). Unutar karbonatnih stijena dinamika vode vrlo je složena i događa se u dubokom krškom podzemlju. Kako bi se osigurale karakteristike vodonepropusnosti prema pravilniku o odlagalištima otpada RH (NN 4/2023), gore navedenu geološku podlogu potrebno je osigurati i dopuniti nanošenjem umjetnih brtvenih slojeva.

Karakteristike temeljnog brtvenog sustava utvrđene su iz analize globalne stabilnosti provedene u Glavnom geotehničkom projektu ŽCGO Marišćina – FAZA 3, oznake TD 09/2012, mapa GP03-GP (Elaborat Gospodarenja Otpadom 2019.) Temeljni brtveni sustav (slika 25), kojim se osiguravaju svi uvjeti nepropusnosti se sastoji od sljedećih slojeva (odozdo prema gore):

- Uređeno temeljno tlo, $M_s = 25 \text{ MN/m}^2$
- Zemljani mineralni sloj, $M_s = 40 \text{ MN/m}^2$, $k = 10^{-7} \text{ m/s}$ (50,0 cm)
- Sustav za detekciju propuštanja
- Bentonitni tepih ($k = 10^{-10} \text{ m/s}$)
- HDPE folija (2,5 mm) (obostrano hrapava)
- Zaštitni geotekstil (1200 g/m²)
- Drenažni sloj za procjedne vode (51,0 cm) (16/32 mm)



Slika 25. Profil temeljnog brtvenog sustava iz Izvedbenog projekta

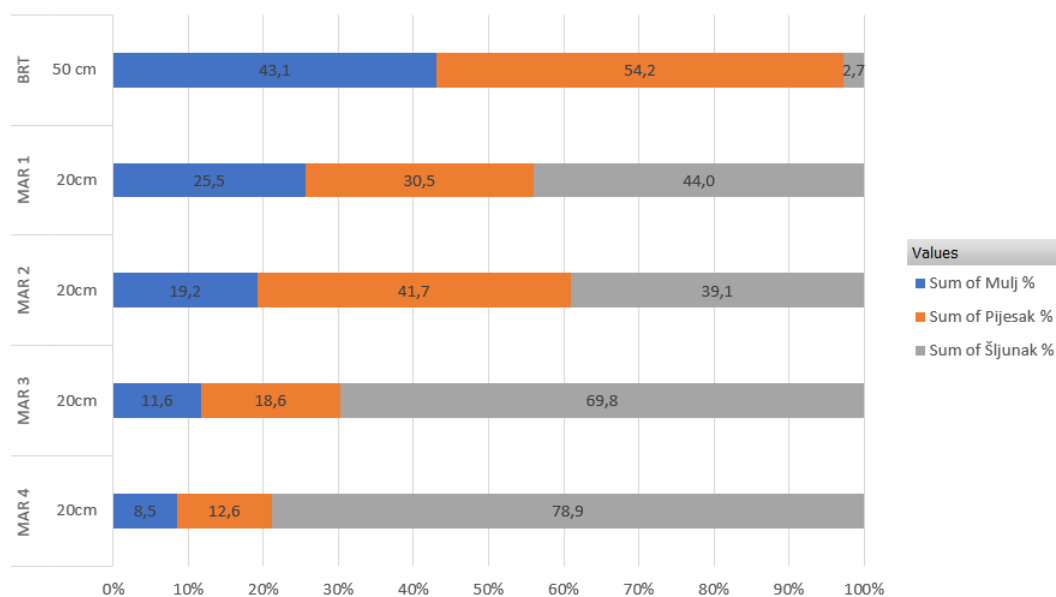
Geosintetička glinovita barijera (GCL), odnosno bentonitni tepih, ima vrlo nisku hidrauličku vodljivost $k < 10^{-11} \text{ m/s}$. Ovu nisku hidrauličku vodljivost osigurava okomito na ravninu barijere, a očekivani fluid kojem treba ograničiti prolaz je voda ili otopina onečišćenja u vodi niskih do srednjih koncentracija (RICHARDSON, 2009). HDPE folija (polietilenske membrane visoke gustoće), odnosno geomembrana, ima jako nisku hidrauličku vodljivost. Veoma je otporna te ako se propisno projektira može imati potencijal trajanja stotinama godina (ROWE i SABGMAN 2002). Ove membrane su dosta osjetljive pa je kao zaštita od mehaničkih oštećenja stavljen zaštitni geotekstil. HDPE folija nalazi se

između sustava za detekciju propuštanja, čime se poboljšava praćenje mogućeg propuštanja procjednih voda u dublje dijelove brtvenog sustava.

Kako bi sve procjedne vode s odlagališnih ploha završile na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV), odnosno kako bi se izbjegao mogući kontakt procjednih voda s podzemnim i površinskim vodama potrebna je adekvatna izvedba kako drenažnog sloja tako i brtvenog sloja.

Podaci dobiveni analizom drenažnog sloja pokazuju da srednja vrijednost veličine čestica iznosi 22 mm te je ovaj uzorak klasificira kao krupni šljunak (16 – 32 mm). Uzorak je također karakteriziran kao dobro sortirani. Ovakva distribucija veličine zrna može značajno smanjiti začepljenje drenažnog sustava. Prema BRUNE i sur. (1991.) ovakva granulometrijska raspodjela je ima najmanju stopu začepjenja drenažnih sustava.

Uzorci Uzorci MAR 1 – MAR 4 uzeti su u samoj podlozi ispod brtvenog sloja te predstavljaju uređeno tlo. Granulometrijski podaci dobiveni mokrim sijanjem pokazuju da je udio šljunčane frakcije u omjeru od 39,1 - 43,9% dok se u dubljim dijelovima MAR 3 i MAR 4 udio šljunčane frakcije povećava (69,8 – 78,9%). Jednako tako s porastom dubine, udio muljevite frakcije manje od 0,063 mm, se smanjuje pa u uzorku MAR 1 iznosi 25,5% dok u MAR 4 iznosi 8,5%. Uzorak brtvenog sloja BRT sadrži 43,05% muljevite frakcije te znatno manje šljunčane frakcije od svih uzoraka (2,7%). Ovaj uzorak je klasificiran kao slabo šljunčani muljeviti pijesak. Uzorak brtvenog sloja BRT trebao bi imati hidrauličku vodljivost 10^{-7} , no potrebno je naglasiti da je ovaj podatak preračunat preko granulometrijske raspodjele. DATTA i JUNEJA, 1997 te OJURI i OLUWATUYI 2017 navode da bi geološka barijera, odnosno temeljno tlo, ispod odlagališta otpada, granulometrijski trebalo sadržavati barem 20% - 30% sitnih čestica i ne više od 30 % šljunka. Uzorak MAR 1 sadrži preko 20 % sitnih čestica, ali više od 30 % šljunka dok uzorak brtvenog sloja zadovoljava uvijete o postotku sitne frakcije i šljunčane frakcije (slika 26).



Slika 26. Udio frakcije šljunka, pijeska i mulja u presjeku brtveni sloj - pripremljeno tlo (MAR 4 je najdublji uzorak, dok je BRT najbliži). U centimetrima je označena debljina sloja.

Mineralogija glinenog materijala koji se koristi kao jedan od dijelova brtvenog sloja na odlagalištima otpada vrlo je značajna kada se govori o kontroli mogućih onečišćivala i zagađivala. Prisutnost različitih minerala glina određuje preferencijalnu adsorpciju spram različitim kationima teških metala i organskih spojeva (CHURCHMAN i sur., 2006). Brojna istraživanja sugeriraju da modificiranje pomoću organskih kationa, poli-hidroksometalnih kationa i „pillaringa“ može poboljšati općenito kapacitet adsorpcije glinenih minerala za metalne katione. Rendgenogram glinenene komponente u uzorku brtvenog sloja pokazao je netipično ponašanje materijala. Ipak brtveni sloj je najvjerojatnije sastavljen od minerala iz skupine vermikulita ili minerala čija struktura je prijelazna između vermikulita i klorita tzv. HIV-u („hydroxy interlayered vermiculite“). Minerali grupe smektita su česti u ovakvim materijalima, no to se ne može potvrditi jer materijal nije bubrio što je neočekivano. Razna industrijska modificiranja samog materijala vjerojatno imaju utjecaj na samu interpretaciju. U brtvenom sloju su pronađeni minerali klorit/vermikulit, najvjerojatnije dioktaedrijski vermikulit te smektiti s nešto kaolinita. Generalno gledano vermikulit ima nešto veći kapacitet kationske izmjene, u odnosu na montmorilonit. Također, grupa vermikulita će manje bubriti. Prema TURAN (2013.) veći udio vermikulita u kombinaciji s bentonitom poboljšava svojstva adsorpcije pa se može zaključiti da ovakav sastav ima dobar adsorpcijska svojstva.

Voda koja kroz drenažni sustav dolazi na UPOV prolazi nekoliko faza obrade. Prva faza je fino filtriranje, gdje se uklanjaju suspendirane tvari. Sljedeća faza je biološka obrada

i to prvo anoksična (denitrifikacijska) zona nakon koje slijedi aerobna nitrifikacijska zona. Biološka obrada efluenta se koristi za uklanjanje velikog dijela otopljenih ugljičnih i dušičnih opterećenja, no ovime se ne mogu ukloniti metali, ni organske tvari koje nisu biorazgradive. Kako bi se zadovoljili propisani standardi efluenta sljedeća faza obrade je ultrafiltracija, koja zadržava biomasu. Permeat s ultrafiltracije zatim prolazi kroz sustav reverzne osmoze, gdje se zadržavaju anorganske otopljene tvari. Ovime se dobiva permeat s vrijednostima koje zadovoljavaju Uredbu o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, (NN 87/10). Ovako pročišćena otpadna voda ponovo se koristi u daljnjim procesima kao tehnološka voda za hlađenje, voda za pranje te navodnjavanje.

Bitno je naglasiti i da prema Karti potresnih područja RH područje zahvata za povratno razdoblje od 95 godina pri seizmičkom udaru može očekivati maksimalno ubrzanje tla od $a_{gR} = 0,10g$. Za povratno razdoblje od 475 godina maksimalno ubrzanje tla, uvjetovano potresom na lokaciji zahvata iznosi $a_{gR} = 0,20g$ (HERAK i sur, 2011). Lokacija se po intenzitetu potresa nalazi u VIII prema Mercallijevoj ljestvici za povratni period od 500 godina. Prema ovome na ovom području moguće je očekivati razoran potres koji može znatno oštetiti do 25% zgrada te u tlu mogu nastati pukotine, a na padinama klizišta i odroni. Potres ovakvog intenziteta može prouzročiti oštećenje brtvenih slojeva.

7. Zaključak

ŽCGO Marišćina izgrađen je na vapnencima i dolomitima u izmjeni ($^{1+2}K_2^{1,2}$). Ove naslage odlikuje se pukotinsko - kavernožnom poroznošću, gdje su pukotinski sustavi izmjereni na samoj lokaciji. Krš kao lokaciju za odlagalište otpada teško je izbjeći, jer cijela Primorsko-goranska županija pripada području Dinarskog krša.

Karakteristike temeljnog brtvenog sustava zadovoljavaju sve karakteristike vodonepropusnosti prema Pravilniku o odlagalištima otpada RH (NN 4/2023). Osim HDPE folije i bentonitnog tepiha (geosintetičke glinovite barijere) izrađen je i zemljani mineralni brtveni sloj kao dodatna zaštita.

Nasipani drenažni sloj klasificira se kao krupni šljunak te svojom distribucijom veličine zrna (16 – 32 mm) značajno utječe na smanjenje začepjenosti i time produžuje vijek trajanja.

Mineralni brtveni sloj, odnosno uzorak BRT, svojom granulometrijskom raspodjelom ispunjava uvijete za vodonepropusnost, gdje je udio muljevite frakcije ($>0,063$ mm) veći od 43%. Uređeno temeljno tlo u gornjem dijelu također sadrži više od 25% muljevite frakcije.

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) je dobro dizajniran. Svojom trostupanjskom obradom, odnosno reverznom osmozom nakon MBR obrade trebao bi zadovoljavati sve parametre za efluent, propisane Uredbom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, NN 87/10.

Obrađena voda nakon UPOV-a ponovno se koristi na samom postrojenju čime se drastično smanjuje potrošnja vode koja se koristi, što je još jedna dobrobit kako za sam centar tako i za okoliš.

Područje na kojem se nalazi ŽCGO Marišćina je seizmički aktivno te postoji mogućnost potresa intenziteta VIII prema Mercallijevoj ljestvici. Kako bi se građevine osigurale od mogućih većih oštećenja koja mogu nastati prilikom potresa navedenog intenziteta, potrebno je provoditi protupotresne mjere, počevši od samog projektiranja dok se gradnja istih treba provoditi sukladno zakonskim propisima.

8. Literatura

- AL-SALEM, S.M., ZEITOUN, R., DUTTA, A., AL-NASSER, A., AL-WADI, M.H., AL-DHAFEERI, A.T., KARAM, H.J., ASIRI, F. AND BISWAS, A., 2020. Baseline soil characterisation of active landfill sites for future restoration and development in the state of Kuwait. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 4407-4418.
- BARLAZ, M.A. AND HAM, R.K., 1993. Leachate and gas generation. U: Daniel, E.D., *Geotechnical practice for waste disposal*, Springer, Boston, 113-136
- BLOTT, S.J. AND PYE, K., 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248.
- BLOTT, S.J. AND PYE, K., 2012. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59(7), 2071-2096.
- BOOKER, J.R., BRACHMAN, R., QUIGLEY, R.M. AND ROWE, R.K., 2004. *Barrier systems for waste disposal facilities*. Crc Press.
- BOUAZZA, A. AND VAN IMPE, W.F., 1998. Liner design for waste disposal sites. *Environmental Geology*, 35, 41-54.
- BRUNE, M., RAMKE, H.G., COLLINS, H.J. AND HANERT, H.H., 1991, October. Incrustation processes in drainage systems of sanitary landfills. In *Proc. 3rd Int. Landfill Symp.*, Cagliari (999-1035).
- BUTT, T.E., LOCKLEY, E. AND ODUYEMI, K.O., 2008. Risk assessment of landfill disposal sites—State of the art. *Waste Management*, 28(6), 952-964.
- CHEREMISINOFF, N.P., 1997. Treating contaminated groundwater and leachate. U: Cheremisinoff, N.P., *Groundwater remediation and treatment technologies*, Elsevier, 259-308.
- CHURCHMAN, G.J., GATES, W.P., THENG, B.K.G., YUAN, G., 2006. Clays and clay minerals for pollution control. U: Bergaya, F., Theng, B.K.G., Lagaly, G. *Handbook of Clay Science 2*, Nizozemska, Elsevier, 625 – 676.
- CZURDA, K., 2006. Clay liners and waste disposal U: Bergaya, F., Theng, B.K.G., Lagaly, G. *Handbook of Clay Science*, 2, 693-701.
- DATTA, M., JUNEJA, A., 1997. Landfill liners: compacted clays and amended soils. U: Datta M., *Waste Disposal in Engineered Landfills*, Narosa, 108–129.

- DRAGICA, P., VEDRINA, D.S., CVJETIČANIN, M., BLAŽEVIĆ, D., POLAK, T., MARIĆ M., SALOPEK, S.M., 2022. Elaborat Gospodarenja Otpadom na lokaciji Županijskog centra za gospodarenje otpadom Primorsko-goranske županije Marišćina, faza 0-2, 1, 2 i 3, 2019.
- Ekoplus Rijeka 2010. Sažeti izvještaj o provedenom postupku procjene utjecaja na okoliš
- FLEMING, I.R. AND ROWE, R.K., 2004. Laboratory studies of clogging of landfill leachate collection and drainage systems. *Canadian Geotechnical Journal*, 41(1), 134-153.
- FOLK, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- HERAK, M., ALLEGRETTI, I., HERAK, D., IVANČIĆ, I., KUK, V., MARIĆ, K., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I., 2011. Republika Hrvatska Karta potresnih područja, <http://seizkarta.gfz.hr>.
- KJELDSSEN, P., BARLAZ, M.A., ROOKER, A.P., BAUN, A., LEDIN, A. CHRISTENSEN, T.H., 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 32(4), 297-336.
- MC ISAAC, R. AND ROWE, R.K., 2007. Clogging of gravel drainage layers permeated with landfill leachate. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(8), 1026-1039.
- MIHOVILOVIĆ, M., RUBINIĆ, J., MIHOVILOVIĆ T., 2020. Monitoring i analiza dinamike podzemnih i površinskih voda grobničkog polja; Elaborat godišnjeg izvještaja o opažanju GEO 758/2020, Geo-5 d.o.o., Rovinj
- MOORE, D.M. AND REYNOLDS JR, R.C., 1989. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press (OUP), 378 str.
- MORELLO, L., COSSU, R., RAGA, R., PIVATO, A. AND LAVAGNOLO, M.C., 2016. Recirculation of reverse osmosis concentrate in lab-scale anaerobic and aerobic landfill simulation reactors. *Waste Management*, 56, 262-270.
- NATH, H., KABIR, M.H., KAFY, A.A., RAHAMAN, Z.A. AND RAHMAN, M.T., 2023. Geotechnical properties and applicability of bentonite-modified local soil as landfill and environmental sustainability liners. *Environmental and Sustainability Indicators*, 18, p.100241.
- OJURI, O.O., OLUWATUYI, O.E., 2017. Strength and hydraulic conductivity characteristics of sand-bentonite mixtures designed as a landfill liner. *Jordan Journal of Civil Engineering* 11 (4), 614–622.

- Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda NN 87/10, 13.7.2010.
- Pravilnik o odlagalištima otpada NN 4/2023, 11.1.2023.
- RENOU, S., GIVAUDAN, J.G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F. AND MOULIN, P.J.J.O.H.M., 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of hazardous materials*, 150(3), 468-493.
- RICHARDSON C.P., 2009. *Municipal Landfill Design Calculations An Entry Level Manual of Practice*, Lemitar, 543 str.
- ROWE, R.K. i SABGMAN, H.P., 2002. Durability of HDPE geomembrans. *Geotextiles and Geomembranes* 20(2): 77-95.
- ROWE, R.K., BRACHMAN, R., QUIGLEY, R.M., BOOKER, J.R, 2004. Barrier systems for waste disposal facilities. *Queen's University Kingston, Kanada*, 379 - 404
- ROWE, R.K., 2012. *Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook*. Springer Science & Business Media, 1087 str.
- SA HELECTOR, 2016. Priručnik za rukovanje i održavanje Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Županijskog centra za gospodarenje otpadom „Marišćina” Primorsko-Goranske županije .
- SHANKAR, M.U. AND MUTHUKUMAR, M., 2017. Comprehensive review of geosynthetic clay liner and compacted clay liner. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 263, No. 3, p. 032026). IOP Publishing.
- STARKEY, H.C., BLACKMON, P.,D., HAUFF, P.L., 1984: *The Routine Mineralogical Analysis of Clay-Bearing Samples*. U.S. Geological Survey Bulletin 1563, Washington, 32.
- ŠIKIĆ, D., PLENIČAR, M., ŠPARICA, M., 1972: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Ilirska Bustrica L33-89*. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Geološki zavod Ljubljana (1967), Savezni geološki institut, Beograd.
- ŠIKIĆ, D., PLENIČAR, M., 1975: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ilirska Bustrica L33-89*. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Geološki zavod Ljubljana (1967), Savezni geološki institut, Beograd, 44 str.
- TIŠLJAR, J., 2004.: *Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 426. str.
- TURAN, N.G., GÜMÜŞEL, E.B. AND OZGONENEL, O., 2013. Prediction of heavy metal removal by different liner materials from landfill leachate: modeling of experimental results using artificial intelligence technique. *The Scientific World Journal*, 5 str.

WENTWORTH, C. K., 1922: A scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology 30, 377-392.

INTERNETSKI IZVOR

URL 1 : <https://www.ekoplus.hr/index.php> (pristupljeno 16.7.2023.)

URL 2: <https://www.sana-store.com/admin/upload/images-cache/6222/400x300.jpg>
(pristupljeno 16.7.2023.)

URL 3: <https://earth.google.com> (pristupljeno 17.7.2023.)

9. Popis slika u tekstu

Slika 1. Tri glavna okolišna medija (litosfera, hidrosfera i atmosfera) i tokovi onečišćenja između njih i odlagališta otpada kao izvora onečišćenja (<i>BUTT i sur, 2008</i>).....	1
Slika 2. Praktična nepropusnost za pojedina područja granulometrijske raspodjele prema udjelu čestica manjih od 0,065 mm (CZURDA 2006).....	4
Slika 3. Iznad brtvenog sloja (glinena barijera i geomembrana) nalaze se detekcija propuštanja (Geonet) drenažni sloj (Gravel) s perforiranim cijevima na dnu i filterski zaštitni sloj iznad (BOUAZZA i VAN IMPE 1998)	5
Slika 4 Drenažni šljunak (38 mm) nakon 20 mjeseci izlaganja procjednim vodama (FLEMING i ROWE 2004)	6
Slika 5. Promjene parametara plinova i procjednih voda po fazama prema (KJELDSEN i sur, 2002). Aerobna (<i>I</i>) ,kisela (<i>II</i>) i metanogena faza (<i>III</i>) su potkrijepljene podacima dok za kasnije faze nema dosta podataka jer se odvijaju s većim vremenskim odmakom (COD=KPK; BOD=BPK).....	8
Slika 6. Lokacija ŽCGO Marišćina i pravci dovoza otpada s pretovarnih stanica (URL 1)10	
Slika 7. Tokovi otpada na ŽCGO Marišćina, MBO (mehaničko-biološka obrada), GIO (gorivo iz otpada) (Elaborat zaštite okoliša, 2019.)	11
Slika 8. Shematski prikaz reverzne osmoze (URL 2).....	15
Slika 9. Dio OGK list Ilirska Bistrica prema ŠIKIĆ i sur. 1972. (crvenom točkom označena lokacija ŽCGO Marišćina).....	18
Slika 10. Prikaz naslaga po pojedinim geološkim dobima bitnim za područje ŽCGO Marišćina u sklopu geološkog stupa i opis naslaga prema OGK list Ilirska Bistrica ŠIKIĆ i sur. (1972)......	19
Slika 11 Profil iz OGK list Ilirska Bistrica (Šikić i sur. 1972.) koji prolazi pokraj samog odlagališta (crveno označena lokacija ŽCGO Marišćina)	19
Slika 12. Sidreni jarak plohe 1B (a : mjesto uzimanja uzoraka temeljnog tla fotografirano izbliza, b : sidreni jarak u kojem su uzeti uzorci fotografiran s udaljenosti) (foto: Ivan Deotto).....	22
Slika 13. Sidreni jarak iza bočne plohe 1B (a : izbliza fotografiran sidreni jarak bočne plohe, b : sidreni jarak bočne plohe fotografiran s udaljenosti) gdje su uzeti uzorci temeljnog tla (foto:Ivan Deotto).....	23
Slika 14. a : Uzorkovanje drenažnog materijala prilikom nasipavanja b : drenažni materijal prilikom granulometrijske analize (desno) (foto: Ivan Deotto)	23

Slika 15. Satelitska snimka terena s točkama uzorkovanja preuzeto s https://earth.google.com/ (URL 3)	24
Slika 16. Priprema uzorka tj. izdvajanje glinene frakcije za rendgensku difrakcijsku analizu. Na slici je razmuljeni uzorak (foto:Ivan Deotto)	28
Slika 17. Priprema uzorka za analizu cjelovitog uzorka (WR) u ahatnom tarioniku	28
Slika 18. Udjeli frakcija dobivenih mokrim sijanjem.....	30
Slika 19. Trokomponentni dijagram šljunak (G) – pijesak (S) – Mulj (M) (BLOTT i PYE 2012)	32
Slika 20. Raspodjela veličine zrna u uzorku drenažnog sloja	33
Slika 21. Rendgenogram cjelovitog uzorka brtvenog sloja.....	34
Slika 22 Rendgenogram uspoređenih uzoraka sitne frakcije (zeleno), krupne frakcije (sivo), neorijentiranog uzorka (plavo) i cjelokupnog uzorka (crveno). Glina – G, Kvarc – Q, kalcit – K.	35
Slika 23 Rendgenogram orijentirane sitne frakcije sušene na zraku	35
Slika 24. Usporedba rengenograma sitne frakcije sušene na zraku (crveno), zasićene etilen glikolom (zeleno), zagrijane na 400°C (sivo) te na 550°C (plavo).....	36
Slika 25. Profil temeljnog brtvenog sustava iz Izvedbenog projekta	39
Slika 26. Udio frakcije šljunka, pijeska i mulja u presjeku brtveni sloj - pripremljeno tlo (MAR 4 je najdublji uzorak, dok je BRT najplići). U centimetrima je označena debljina sloja.	41

10. Popis tablica u tekstu

Tablica 1. Karakteristike procjednih voda prema starosti odlagališta izraženoj u godinama od početka odlaganja (RENOU i sur 2008)	9
Tablica 2 Udio frakcija sedimenta po uzorcima i njihova klasifikacija prema BLOTT i PYE (2012)	31
Tablica 3 Granulometrijski parametri uzoraka	33
Tablica 4 Statistički podaci za drenažni sloj	33
Tablica 5. Rendgenografski podaci lake mineralne frakcije uzorka BRT	37