

Ispitivanje učinkovitosti pročišćavanja bioaerosola putem izrade filtera od morske soli

Radoš, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:167:835555>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

**ISPITIVANJE UČINKOVITOSTI PROČIŠĆAVANJA BIOAEROSOLA
PUTEM IZRADE FILTERA OD MORSKE SOLI**

DIPLOMSKI RAD

ANTE RADOŠ

Matični broj: 161

Split, listopad 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
DIPLOMSKI STUDIJ KEMIJA
ORGANSKA KEMIJA I BIOKEMIJA

ISPITIVANJE UČINKOVITOSTI PROČIŠĆAVANJA
BIOAEROSOLA PUTEM IZRADE FILTERA OD MORSKE SOLI

DIPLOMSKI RAD

ANTE RADOŠ

Matični broj: 161

Split, listopad 2023.

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
GRADUATE STUDIES IN CHEMISTRY
ORGANIC CHEMISTRY AND BIOCHEMISTRY

**TESTING OF THE EFFICIENCY OF BIOAEROSOL
PURIFICATION THROUGH THE CREATION OF SEA SALT
FILTER**

DIPLOMA THESIS

ANTE RADOŠ

Parent number: 161

Split, October 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu
Kemijско-tehnološki fakultet
Diplomski studij kemije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Kemija
Mentor: doc. dr. sc. Maša Buljac
Komentor: Inga Kovačić Sindik, dipl. ing. kem. teh.

ISPITIVANJE UČINKOVITOSTI PROČIŠĆAVANJA BIOAEROSOLA PUTEM IZRADE FILTERA OD MORSKE SOLI

Ante Radoš, 161

Sažetak:

Cilj ovog rada je ispitati učinkovitost pročišćavanja zraka od bioaerosola putem izrade filtera od morske soli. U tu svrhu, izradili su se različiti uzorci filtera koji su se potom testirali u komori za testiranje onečištača zraka. Filteri su pripremljeni koristeći bazni materijal- ne-tkanu tkaninu koja se namakala u prethodno pripremljene otopine soli različitih koncentracija. U radu su se koristile tri (3) vrste soli: krupna morska stonska sol, ninska krupna sol sa dodatkom antibakterijskog aditiva čajevca te himalajska kamena sol bez dodataka. Onečištači koji su se koristili u svrhu testiranja učinkovitosti, proizvedeni su putem doziranja laka za kosu. Završetkom testiranja, dobiveni rezultati su obrađeni analitički i grafički te su skenirani putem SEM- a. Svi uzorci su pokazali učinkovitost filtriranja bioaerosolnih čestica te je najbolje rezultate pokazao filter sa dodatkom himalajske soli u koncentraciji od 40 g/ml.

Ključne riječi: bioaerosoli, filter zraka, morska sol, TVOC, PM2.5, CO₂, formaldehid

Rad sadrži: 59 stranica, 52 slika, 18 tablica, 21 literaturnih reference

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Marijo Buzuk predsjednik
2. doc. dr. sc. Josip Radić član
3. doc. dr.sc. Maša Buljac mentor

Datum obrane: (datum upisuje Studentska služba nakon uspješne obrane rada)

Rad je u tiskanom i elektroničkom (PDF) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijско-tehnološkog fakulteta u Splitu, Ruđera Boškovića 35, u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice u Splitu te u javnoj internetskoj bazi diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

BASIC DOCUMENTATION CARD

MASTER THESIS

University of Split
Faculty of Chemistry and Technology
Graduate study in chemistry

Scientific area: Natural Sciences **Scientific**

field: Chemistry

Supervisor: doc. dr. sc. Maša Buljac

Co-supervisor: Inga Kovačić Sindik, dipl. ing. kem. tehn.

TESTING OF THE EFFICIENCY OF BIOAEROSOL PURIFICATION THROUGH THE CREATION OF SEA SALT FILTER

Ante Radoš, 161

Abstract:

The aim of this work is to examine the efficiency of air purification from bio-aerosols by making a filter from sea salt. For this purpose, different filter samples were made and then tested in the air pollutant test chamber. The filters are prepared using a base material - a non-woven fabric soaked in pre-prepared salt solutions of different concentrations. Three (3) types of salt were used in the work: large sea table salt, large salt of the Nile with the addition of an antibacterial additive of tea tree, and Himalayan rock salt without additives. The detergents used for the purpose of performance testing were produced by dosing hair spray. At the end of the test, the results obtained were analysed and graphically analysed and scanned by means of a SEM. All the samples showed efficiency of filtering of bioaerosol particles filtration efficiency and the filter with the addition of Himalayan salt at a concentration of 40 g/ml showed the best results.

Keywords: bioaerosols, air filter, sea salt, TVOC, PM2.5, CO₂, formaldehyde

Thesis contains: 59 pages, 52 figures, 18 tables, 21 references

Original in: Croatian

Defence committee for evaluation and defense of diploma thesis:

1. izv. prof. dr. sc. Marijo Buzuk predsjednik
2. doc. dr. sc. Josip Radić član
3. doc. dr.sc. Maša Buljac mentor

Defence date: (datum upisuje Studentska služba nakon uspješne obrane rada)

Printed and electronic (PDF) form of thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology in Split, Ruđera Boškovića 35, in the public library database of the University of Split Library and in the digital academic archives and repositories of the National and University Library.

Diplomski rad je izrađen u Zavodu za kemiju okoliša, Kemijsko – tehnološkog fakulteta i u prostorijama Kristalne ideje u Splitu, pod mentorstvo doc. dr. sc. Maše Buljac i komentorstvo dipl. ing. kem. teh. Inge Kovačić Sindik, u razdoblju od lipnja do listopada 2023. godine.

ZAHVALA

Posebnu zahvalnost izražavam svojoj mentorici doc. dr. sc. Maši Buljac i komentorici Ingi Sindik Kovačić na pruženoj pomoći, prenesenom znanju te što su me strpljivo sa svojim stručnim savjetima i velikodušnoj pomoći vodili tijekom izrade diplomskog rada.

Hvala svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi pomagali tijekom studiranja i koji su studiranje učinili nezaboravnim.

I na samom kraju, hvala mojoj obitelji koji su mi bili najveća podrška.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA:

Utvrđiti efikasnost solnog filtera u pročišćavanju kemijskih i čestičnih onečišćenja.

SAŽETAK

Cilj ovog rada je ispitati učinkovitost pročišćavanja zraka od bioaerosola putem izrade filtera od morske soli. U tu svrhu, izradili su se različiti uzorci filtera koji su se potom testirali u komori za testiranje onečištača zraka.

Filteri su pripremljeni koristeći bazni materijal ne-tkanu tkaninu koja se namakala u prethodno pripremljene otopine soli različitih koncentracija.

U radu su se koristile tri (3) vrste soli: krupna morska stonska sol , ninska krupna sol sa dodatkom antibakterijskog aditiva čajevca te himalajska kamena sol bez dodataka. Onečištači koji su se koristili u svrhu testiranja učinkovitosti, proizvedeni su putem doziranja laka za kosu.

Završetkom testiranja, dobiveni rezultati su obrađeni analitički i grafički te su skenirani putem SEM- a. Svi uzorci su pokazali učinkovitost filtriranja bioaerosolnih čestica te je najbolje rezultate pokazao filter sa dodatkom himalajske soli u koncentraciji od 40 g/ml.

ABSTRACT

The aim of this work is to examine the efficiency of air purification from bio-aerosols by making a filter from sea salt. For this purpose, different filter samples were made and then tested in the air pollutant test chamber. The filters are prepared using a base material - a non-woven fabric soaked in pre-prepared salt solutions of different concentrations. Three (3) types of salt were used in the work: large sea table salt, large salt of the Nile with the addition of an antibacterial additive of tea tree, and Himalayan rock salt without additives. The detergents used for the purpose of performance testing were produced by dosing hair spray. At the end of the test, the results obtained were analysed and graphically analysed and scanned by means of a SEM. All the samples showed efficiency of filtering of bioaerosol particles filtration efficiency and the filter with the addition of Himalayan salt at a concentration of 40 g/ml showed the best results.

Sadržaj

UVOD.....	1
1. OPĆI DIO.....	2
1.1. Definicija bioaerosola.....	2
1.2. ZRAK.....	6
1.3. Filteri zraka.....	10
1.4. Morska sol.....	10
2. EKSPERIMENTALNI DIO.....	14
2.1. Tehničke (kemijske) karakteristike korištenih materijala.....	14
2.2. Uvjeti pri kojima su obavljena ispitivanja.....	17
2.3. Protokol provedbe.....	20
3. REZULTATI.....	23
4. RASPRAVA.....	52
4.1. USPOREDBA EFIKASNOSTI.....	52
5. ZAKLJUČAK.....	57
6. LITERATURA.....	58

UVOD

Bioaerosoli se definiraju kao aerosoli biološkog podrijetla, a uključuju mikrobnu kontaminaciju u zraku (npr. bakterije, spore gljivica i viruse), fragmente bioloških čestica i razne žive čestice. Kontrola bioaerosola važno je pitanje za zaštitu ljudi od patogena koji se prenose zrakom.^{1,2}

Sol je jedna od najpopularnijih prirodnih proizvoda. Čestice soli mogu inaktivirati mikroorganizme utječući na parametre mikrobnog rasta, kao što su osmotski tlak, kretanje molekula vode, temperatura i pH. Unatoč njihovoj uobičajenoj upotrebi u ljudskom životu, tek treba izvijestiti o primjeni prirodnih čestica soli u sustavima za filtriranje zraka za upotrebu protiv bioaerosola.^{1,2}

U ovom radu su filteri za zrak obloženi česticama morske soli kako bi se ispitala njihova učinkovitost. Novi filteri za zrak s česticama morske soli proučavani su u smislu učinkovitosti filtracije mjerenjem određenih onečišćujućih parametara (smanjenje koncentracije CO₂, PM_{2.5}, TVOC, HCHO). Teorijski podaci pokazuju da filteri za zrak sa morskom soli imaju potencijal kao metoda filtriranja aerosola za smanjenje izloženosti okoliša mikrobnim kontaminantima.^{1,2}

Sol ima potencijala kao metoda filtriranja aerosola i iz tog razloga provedeno je istraživanje kako bi se dobio zaključak o vrsti soli koja je najučinkovitija u filtriranju aerosola. Istraživanje je potaknuto kako bi se osigurali prostori gdje borave ljudi, te ih učinili sigurnijim i manje štetnim za ljudsko zdravlje.

1. OPĆI DIO

1.1. Definicija bioaerosola

Bioaerosoli su suspendirane čestice u zraku koje potječu od živih organizama (npr. bakterije, protisti, biljke, gljive i životinje) ili koje ovise o živim organizmima (npr. virusima). Na njihovu održivu koncentraciju utječu brojni fizički (gravitacijsko taloženje, gubitak stjenke, miješanje zraka, ventilacijsko razrjeđivanje) i biološki (sušenje, vanjski stres tijekom uzrokovanja) čimbenici. Bioaerosoli se mogu sastojati od cijelih mikroskopskih struktura, na primjer, virusa, netaknutih bakterijskih stanica i spore, protozoe i njihove ciste, gljivične stanice i spore te pelud i spore biljaka. Fragmenti stanica mogu biti prisutni u unutarnjem i vanjskom zraku i također se smatraju bioaerosolima: na primjer, čestice raspadnutih mikrobnih biljnih i životinjskih tvari u zraku; drvena i zrnasta prašina; izmet i osušeni dijelovi tijela člankonožaca, te čestice veće životinjske kože, sline, izmeta i urina.²

1.1.1. Vrste bioaerosola

Bioaerosoli uključuju gljivice, bakterije, viruse i pelud. Kao što je ranije potvrđeno, bioaerosoli se sastoje od vrsta *Aspergillus*, *Alternaria*, *Caldosporium*. Zastupljene su najviše u planetarnom graničnom sloju (PBL) i njihova koncentracija opada s visinom. Stoga preživljavanja bioaerosola ovisi o nizu biotičkih i abiotičkih čimbenika koji uključuju klimatske promjene, ultraljubičasto (UV) svjetlo, vlažnost zraka, temperaturu i slično. Bioaerosoli koji se nalaze iznad morskih okoliša prvenstveno se sastoje od bakterija, dok su oni koji se nalaze iznad kopnenih okoliša bogati bakterijama, gljivicama i peludima. Dominacija određenih bakterija i njihovi izvori hranjivih tvari podložni su promjenama prema vremenu i lokaciji. Bioaerosoli mogu biti u rasponu od virusnih čestica od 10^{-9} metara do peludnih zrnaca od 100^{-6} metara. Vrlo je mala vjerojatnost da će peludna zrnca lebdjeti u zraku iz razloga jer im težina to ne dopušta. Posljedično, koncentracija manjih bioaerosola poput bakterija, gljivica i vjerojatno virusa, koji bi mogli preživjeti u višoj toposferi, opada sporije od koncentracije peludi.^{3,4}

1.1.2. Izvor i prijenos bioaerosola

Izvori bioaerosola su vanjska i zatvorena područja. Glavni izvori bioaerosola na vanjskim područjima: djelovanje vjetra na tlo, uzburkanost otpadnih voda i udar kišnih kapi.

Obrada zemljišta i otpadnih voda također su značajni vanjski izvori. Ostale poljoprivredne aktivnosti, goveda, svinjokolje stvarat će bioaerosoli. Postrojenja za preradu hrane, posebice mliječnih proizvoda, mogu generirati više razine bioaerosola. S današnjim naglaskom na obnovljive izvore energije, skladišta biomase u elektranama i postrojenja za kompostiranje industrijskih razmjera izvori su bioaerosola. U svim pogonima za preradu hrane higijena zahtijeva da se razine mikroorganizama u zraku drže što je moguće nižim. Bolnice i zdravstvene ustanove nisu samo izvori raznih organizama, već zahtijevaju da pacijenti nisu izloženi nijednom od njih. Bioaerosoli se mogu generirati izgaranjem biomase što rezultira biosolima veličine promjera $<2,5 \mu\text{m}$ (tzv fini bioaerosoli).^{2,5}

1.1.2.1. Prijenos zaraznih učinaka

Udisanje je najvažniji i najučinkovitiji put kojim uzročnici infekcije ulaze u ljudsko tijelo, a infekcije ovim putem najteže je kontrolirati. Prijenos zrakom omogućuje uzročniku infekcije da dopre do većeg broja potencijalnih domaćina nego što bi to bilo moguće kada bi žrtve morale doći u izravan kontakt radi prijenosa mikroorganizama s osobe na osobu. Ljudi kihanjem i kašljanjem ispuštaju čestice. Većina kapljica kihanjem dolazi iz usta i ne nose uzročnike infekcije. Međutim, kašalj je učinkovito sredstvo prijenosa virusa i bakterija, a u slučaju infekcije uzrokuje povećanje izlučivanja sluzi koje zauzvrat izazivaju refleks kašlja. Procjenjuje se da kihanje stvara milijune čestica aerosola, a kašalj mnogo tisuća. Sudbina ovih čestica ovisi o uvjetima u okolišu (npr. vlaga i kretanje zraka) i veličine čestica.²

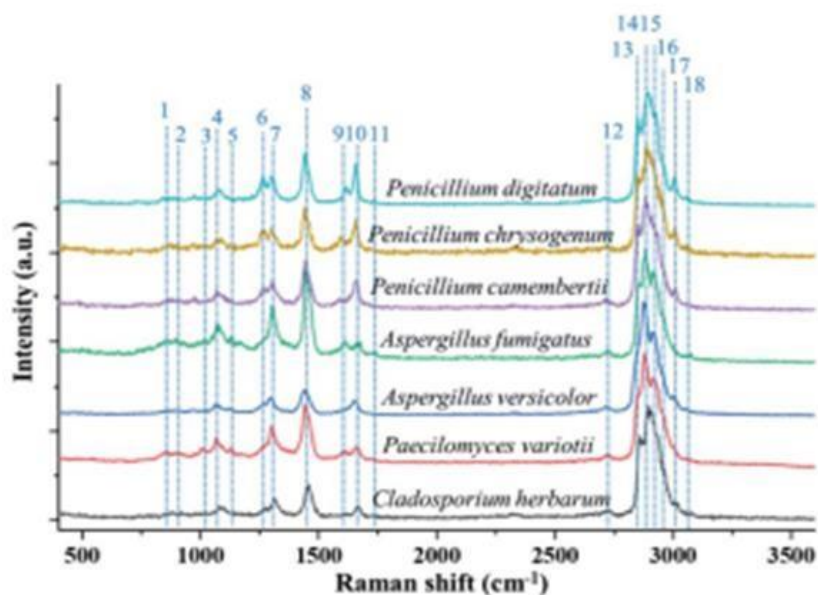
1.1.2.2. Bioaerosoli iz vanjskih izvora

Razni okoliši uključujući tlo, površinske vode i biljke, služe kao prirodni spremnici bioloških agenasa i izvori su bioaerosola. Brojčano, bakterije su najzastupljeniji organizmi u površinskim tlima, gdje njihova koncentracija može premašiti 10^{10} stanica/g, od čega se obično 10^7 do 10^8 stanica može uzgajati u standardnim medijima. Protoze i alge također su obilne u tlu (10^3 do 10^6 stanica/g) zajedno s gljivama (obično 10^5 do 10^6 stanica/g), ali ukupna biomasa gljiva je veća zbog njihove veće veličine stanica. Neke ljudske infekcije proizlaze iz izlaganja površini tla kontaminiranoj zaraznim bakterijama ili gljivicama. Neki od ovih uzročnika su oportunistički patogeni koji mogu rasti ili kao Bronhitis saprofiti koji žive na raspadajućoj organskoj tvari ili kao paraziti koji inficiraju ljudska pluća, npr. *Burkholderia pseudomallei* (meliloidaza), Alveolitis *Histoplasma capsulatum* (histoplamoza), *Coccidioides immitis* (kokcidiodomikoza) i *Cryptococcus neoformans* (kriptokokaza).²

1.1.3. Mjerenje i karakterizacija bioaerosola

Bioaerosoli se prikupljaju u razne svrhe, na primjer, za mjerenje izloženosti udisaju, karakteriziranje unutarnjeg i vanjskog okruženja, identificiranje emisija iz radnih aktivnosti i procjenu učinkovitosti metoda kontrole. Prikupljanje čestica biološkog podrijetla slijedi iste principe i mehanizme koji se koriste za prikupljanje drugih aerosola: gravitacijsko taloženje, inercijski udar, presretanje, difuzija i elektrostatske sile. Veličina čestica i brzina zraka određuju učinkovitost skupljanja instrumenta, a svi uzorkivači trebaju biti karakterizirani gubicima čestica, na primjer, gubici na ulazu, stjenki i liniji. Trenutno postoji samo jedan komercijalno dostupan instrument za mjerenje bioaerosola u stvarnom vremenu (UV-APS, time-of-flight spektrometar); sve druge metode koncentriraju čestice za kasniju analizu. Još uvijek nije razvijena nijedna metoda prikupljanja koja se može spojiti s cijelim nizom analitičkih postupaka koji su potrebni da bi se dobila potpuna slika o sastavu bioaerosola unutarnjeg ili vanjskog zraka.⁶

Karakterizacija i detekcija čestica bioaerosola u atmosferi je od velikog značaja za praćenje kvalitete zraka u zatvorenim i vanjskim prostorima, preradu i skladištenje hrane, kontrolu zaraznih bolesti i bioobranu u posebnim situacijama. Atmosferski zrak sadrži veliki izbor aerosola uključujući bioaerosole koji utječu na zdravlje ljudi i klimu. Zabilježeno je da su gljivice u obliku aerosola, kao što su vrste *Aspergillus* i vrste *Penicillium*, u mnogim slučajevima povezane s plućnim bolestima s obzirom da kontaminacija gljivicama u vlažnoj zgradi može negativno utjecati na kvalitetu unutarnjeg zraka. Razvijene su i primijenjene mnoge tehnike za detekciju i karakterizaciju atmosferskih bioaerosola. Općenito, tehnike se mogu grupirati u tri kategorije: optička mikroskopija, skenirajuća elektronska mikroskopija i transmisivna elektronska mikroskopija.⁶



Slika 2. Pojedinačni Ramanovi spektri sedam različitih uzoraka gljiva zarobljenih u reakcijskoj komori pod kontrolom okoliša.⁷

Ovi rezultati pokazuju da je došlo do kemijskih reakcija pojedinačnih, zarobljenih gljivičnih aerosolnih čestica s O₃ i da ih je moguće pratiti pomoću njihovih vremenski razlučnih Ramanovih spektara jedne čestice. Ovo istraživanje pokazuje da je OT-RS vrlo

snažna tehnika u nastajanju za proučavanje gubitka i formiranja pojedinačnih čestica te odvijanju kemijskih reakcija u gotovo prirodnom stanju. Tehnologija se daljnjim razvojem potencijalno može koristiti i za karakterizaciju i detekciju atmosferskih bioaerosola bez upotrebe supstrata uzoraka i konvencionalnog rukovanja i obrade uzoraka.⁶

1.2. ZRAK

Smjesa plinova čini zrak. Zrak se ponašao kao omotač koji je vezan uz Zemlju, vezan je gravitacijskom silom, nužan je za život, zaslužan je za Zemljinu atmosferu te kao takav sudjeluje u vrtnji Zemlje oko svoje osi. Njegova masa na zemlji iznosi $5,1 \times 10^{18}$ kg, dok temperatura, tlak i nadmorska visina su zaslužni za fizikalna svojstva zraka. Gustoća i tlak zraka se eksponencijalno smanjuju, zbog raznih strujanja od vertikalnog do horizontalnog, ali od 80 do 90 km visine (homosfera), sastav zraka se ne mijenja, njegov kemijski sastav ostaje isti. Od svih elemenata od kojih se zrak sastoji (navedeni u tablici 1) on sadrži i vodenu paru. Njen volumni udio ovisi o meteorološkim prilikama, nadmorskoj visini i klimatskom području, a vodena para je uglavnom zastupljena u rasponu od 0 do 4% (prosječno 1%). Zrak se koristi u raznim procesima, posebno industrijskim, gdje se kisik koristi kao oksidans. Zrak se još primjenjuje u pneumatskim sustavima gdje se koristi kao sredstvo za hlađenje ili grijanje.

1.2.1. Sastav zraka

Izučavanje kemije atmosfere započelo je u 18. stoljeću kad su kemičari Joseph Priestley, Antoine-Laurent Lavoisier i Henry Cavendish pokušali odrediti kemijski sastav atmosfere. Tablica 1 prikazuje sastav atmosfere. U zemljinoj atmosferi najzastupljeniji je dušik (78%) zatim slijedi kisik (21%) te argon (0,93%) ostali spojevi su u tragovima. Dušik je najzastupljeniji element u zemljinoj atmosferi jer nije topljiv u vodi, kondenzira se te je inertan. Nakon dušika najzastupljenija je vodena para čija koncentracija varira, a njena koncentracija može doseći i 3%.⁸

Tablica 1. Sastav atmosfere. Plinovi prikazani u plavoj boji su u porastu zbog ljudskih aktivnosti.⁸

Plin	Molarni udjel
Argon (Ar)	0,0093
Helij (He)	$5,2 \cdot 10^{-6}$
Dušik (N ₂)	0,78
Neon (Ne)	$18,2 \cdot 10^{-6}$
Kisik (O ₂)	0,21
Metan (CH ₄)	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Dušikov oksid (N ₂ O)	$0,32 \cdot 10^{-6}$
Kloroflourgljici (ClFC)	$3,0 \times 10^{-6}$
Ugljikov monoksid (CO)	$0,03 \cdot 10^{-6}$ do $0,3 \cdot 10^{-6}$
Ugljikov dioksid (CO ₂)	$370 \cdot 10^{-6}$
Ozon (O ₃)	$0,02 \cdot 10^{-6}$ do $10 \cdot 10^{-6}$
Voda (H ₂ O)	0,04 do $< 5 \cdot 10^{-3}$
Karbonil sulfid (COS)	$0,1 \cdot 10^{-6}$
Kripton (Kr)	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Vodik (H ₂)	$0,55 \cdot 10^{-6}$

Staklenički plinovi privlače pažnju stručne javnosti i znanstvenika iz razloga jer u novije vrijeme dolazi do porasta njihove koncentracije. Najznačajniji predstavnici stakleničkih plinova su: didušikov oksid (N₂O), kloroflourouglijci (ClFC), ugljikov dioksid (CO₂) i metan (CH₄).⁸

1.2.2. Zagađenje zraka

Zagađenje zraka je prisutnost jedne ili više onečišćujuće tvari u atmosferi pri vrlo visokoj koncentraciji dovoljno dugo da u takvim okolnostima štetno djeluje na zdravlje ljudi te dovodi do neželjenih posljedica u okolišu. Zagađenje zraka može biti iz raznih izvora, a izvore zagađenja zraka možemo podijeliti na prirodne (biogene) i antropogene. Osim gore navedenih izvora, može biti i prema načinu nastajanja zagađenja, znači, zagađenja mogu nastati prilikom procesa izgaranja i prilikom procesa koja nisu vezana za proces izgaranja. Čestice koje se nalaze u zraku i opasne su za ljudsko zdravlje su: PM čestice, alergeni i formaldehid.⁹

1.2.3. Formaldehid

Formaldehid (ili metanal) je bezbojan, zapaljiv plin jakog i neugodnog mirisa (HCHO). Formaldehid je najjednostavniji aldehid i kao takav je topljiv u vodi. Često se koristi prilikom proizvodnje proizvoda za domaćinstvo kao i građevinskog materijala. Može se pronaći u papirnim oblogama, izolacionom materijalu, šperploči i iverici. Uobičajeni sinonimi za njega su: formaldehid, metanal, metilen oksid, metilaldehid, oksometan i oksimetilen. Prisutnost formaldehida u zraku može izazvati zdravstvene probleme kod ljudi, ako je njegova koncentracija veća od $0,06 \text{ mg/m}^3$, a ti zdravstveni problemi se odnose na kašalj, mučninu, iritaciju respiratornih puteva, iritaciju kože, iritaciju očiju i slično. Ako je čovjek dugoročno izložen formaldehidu, formaldehid može izazvati rak (rak grla i nosa) iz tog razloga formaldehid je i zvanično označen kao materijal koji izaziva rak kod čovjeka. Nadražaj dišnih puteva je prva i najčešća reakcija ljudi na formaldehid. Kod velikih koncentracija formaldehida respiratorni sistem reagira bolom u grudima, upalom pluća te teškim disanjem, osim toga može doći do konjuktivitisa, peckanje u očima kao i dermatitis.⁹

1.2.4. Lebdeće čestice (PM eng. Particulate Matter)

Lebdeće čestice ili aerosoli su čestice koje su u obliku krutina ili tekućina raspršene u zraku, a nalaze se na nižim područjima troposfere. Imamo dvije vrste lebdećih čestica, primarne i sekundarne. Primarne lebdeće čestice su one čestice koje su iz nekog izvora emitirane direktno u atmosferu, dok su sekundarne lebdeće čestice u atmosferi formirane od prekursora. U sastavu lebdećih čestica nalaze se različiti kemijski spojevi kao što su metali, soli, nitrati, sulfati, razni organski spojevi i same čestice vode. Sastav lebdećih čestica ovisi o meteorološkim parametrima, o svojstvima i vrsti izvora te o starosti i veličini. Vrijeme izgaranja, isparavanja i kondenzacije pogoduje nastajanju lebdećih čestica. Osim po vrsti, lebdeće čestice možemo podijeliti i prema veličini, pa sukladno tome podijeljene su od manjih prema većim. U nukleidni mod spadaju najmanje lebdeće čestice čiji se promjer kreće između 0,01 μm i 0,04 μm , nakon nukleidnog moda ide akumulacijski mod čiji se promjer kreće između 0,1 μm i 1 μm , te za kraj ostaje krupni mod čiji se promjer kreće od 5 μm do 50 μm . Nukleidni mod je kratkog životnog vijeka i važan je samo u neposrednoj blizini izvora lebdećih čestica. Akumulacijske čestice nastaju reakcijama plinova koji se u atmosferu emitiraju pri izgaranju fosilnih goriva, tj. plinova koji sadrže sumpor, dušik i organske sastojke.^{10,11,12}

1.2.4.1. Utjecaj lebdećih čestica (PM) na zdravlje ljudi

Posljednjih nekoliko desetaka i više godina svjedočimo onečišćenju zraka koje sve ozbiljnije prijeti čovjekovu zdravlju. Po zdravlje čovjeka u prizemnom sloju najštetnijim onečišćujućim tvarima smatraju se ozon i lebdeće čestice. Čovjekovo izlaganje ozonu i lebdećim česticama pri njihovim najvišim koncentracijama mogu dovesti do narušavanja respiratornog sustava kao i izazivanja preuranjene smrti. Nakon ulaska u čovjekov dišni sustav, lebdeće čestice se zaustavljaju u nosu. Lebdeće čestice se odlažu u sluznicama, to odlaganje se događa prilikom svake promjene kretanja. Navedeno odlaganje se naziva impakcija, a njena veličina ovisi o dimenzijama i masi prašine i aerosola. Krupnije čestice aerosola zbog svoje veličine se zaustave pri samom ulasku u dišni sustav. Dok čestice koje spadaju u akumulacijski mod prolaze kroz gornje dišne puteve i ulaze u donje dišne

puteve i zaustavljaju se na stjenkama bronhija gdje se i talože, a najsitnije čestice odnosno čestice koje spadaju u nukleidni mod prodiru u pluća sve do alveola.^{10,12}

1.3. Filteri zraka

Filtriranje je metoda koja se primjenjuje u cijelom svijetu u pročišćavanju zraka. Najčešći filtri za zrak izrađeni su od tkanog materijala. Filtri za zrak se koriste u industriji, te u stambenim primjenama. Dizajnirani su za uklanjanje čestica koje zagađuju zrak, kako bi bilo stanare ili industrijska postrojenja opskrbili sa čistim zrakom. Bez filtera zraka stanari bi mogli patiti od zagađenog zraka, a skupa industrijska oprema bi mogla biti oštećena česticama. Međutim filteri zraka se ugrađuju i rade s ograničenim sustavom za nadzor performansi, a učinkovitost zračnih filtera je nepoznata nakon zamjene. Čestice (PM) i hlapljivi organski spojevi prepoznati su kao opasni zagađivači zraka koji prijete ljudskom zdravlju. Filtri za jednokratnu upotrebu općenito se koriste za pročišćavanje zraka unatoč čestim zamjenama i problemima sa stvaranjem otpada.

1.4. Morska sol

U prirodne soli spadaju morska i kamena sol. Morska sol se dobiva sakupljanjem soli na otvorenim poljima na način da se u proljeće pune bazeni morskom vodom, ujedno je morska sol jestiva sol. Putem isparavanja dobiva se salamura. Iz salamure se kristalizira sol. Ako su tijekom cijele godine bili dobri vremenski uvjeti početkom ljeta počinje berba soli, a ujedno se vrši i sama kristalizacija, a sama berba traje do početka jeseni. Djelovanjem vjetra i valova morska sol se rasprsne na površini mora.¹³

Desalinizacija je potpuno ili djelomično uklanjanje otopljenih soli iz morske vode. Djelomičnom desalinizacijom dobiva se voda koja se primjenjuje za različite industrijske te poljoprivredne svrhe, a djelomičnom desalinizacijom dobiva se i pitka voda. Ako se želi dobiti voda za termoelektranu, nuklearna elektrana i slična postrojenja, za takvu vodu

nije dovoljna djelomična desalinizacija već treba provesti proces potpune desalinizacije. Potpuna desalinizacija se postiže destilacijom, ali iz razloga jer se prilikom destilacije događaju višestruka povratna kruženja velikih količina toplinske energije te kao takav proces destilacija je ekonomična samo za postrojenja s velikim kapacitetima. Mnogi procesi desalinizacije zahtijevaju zagrijavanje vode, njezino podtlačenje ili oboje što zahtijeva visoke troškove energije. Proces desalinizacije vode ima negativan utjecaj na ekosustave zato što prilikom procesa zaostaje slanica (ostatak), otpadna voda s visokom koncentracijom soli i onečišćujućih tvari, koja se u mnogim slučajevima ispušta u more i postoji potencijalni rizik od curenja koji može onečistiti obalne vodonosnike.¹⁴

1.4.1. Sastav morske soli

Kemijski spoj natrija i kalcija. Sastav morske soli je bogat različitim sastojcima. U sastavu se nalaze različiti karbonati, minerali, sulfati, elementi u tragovima, prisutni su i mangan, željezo, kalij, brom, jod.

Tablica 2. Kemijski sastav morske soli.¹⁵

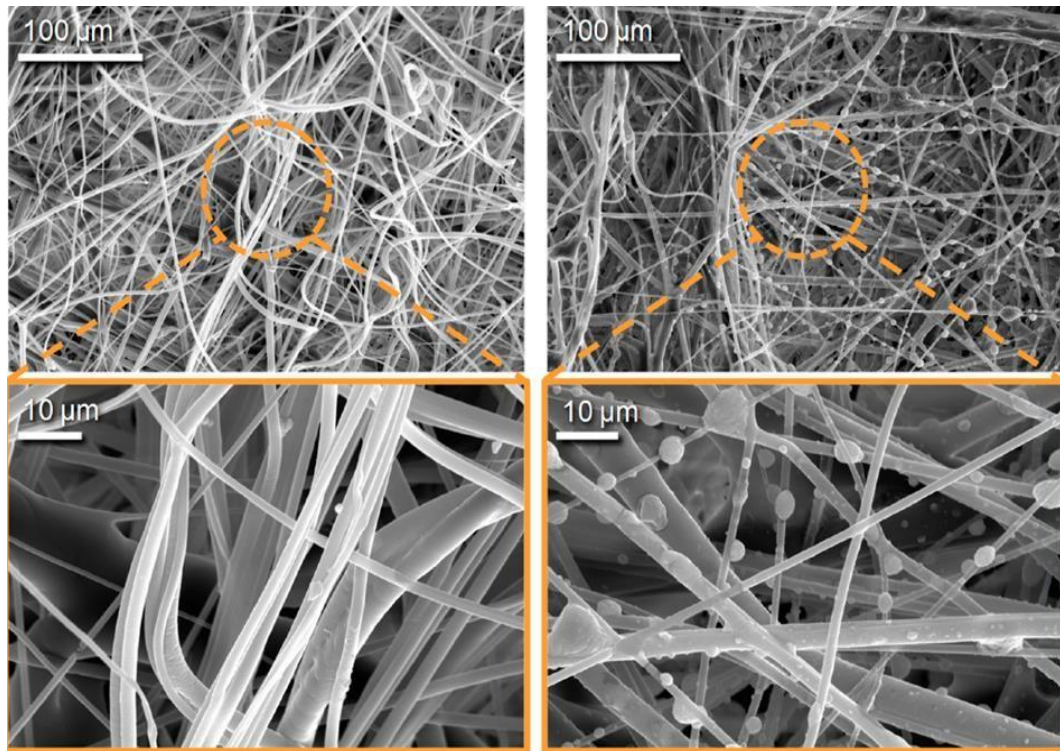
Sastav	Postotak u sastavu %
KCl	1,645
H ₃ BO ₃	0,071
Na ₂ SO ₄	9,750
NaCl	58,490
NaF	0,007
KBr	0,238
SrCl ₂ x 6H ₂ O	0,095
MgCl ₂ x 6H ₂ O	26,460
NaHCO ₃	0,477
CaCl ₂	2,765

1.4.2. Prednosti morske soli

Aerosol se može koristiti i u ljekovite svrhe. Kada dolazi do udisanja morsko – slanog zraka dolazi do olakšanog disanja i koristi se u liječenju plućnih bolesti, kao što je kronična opstruktivna bolest pluća i slično. Od vanjskih primjena morska sol se koristi u pripremi kupke u morskoj vodi. Magnezij je važan mineral kad je riječ o zdravlju i ljepoti, a sol koja je bogata magnezijem je sol iz Mrtvog mora u kojoj čak u jednoj litri ima 40 g magnezija. Morska sol je dobra i za relaksaciju i opuštanje mišića. Osim gore navedenih prednosti morska sol ima i antiseptička i antihistaminska svojstva pa se iz tog razloga koristi kod kožnih alergijskih reakcija. Sastojci iz morske soli potiču bolji rast metabolizma samim time i izlučivanje štetnih tvari, osim štetnih tvari izlučuje i suvišak vode iz vezivnog tkiva i kože pa se time sprječava nakupljanje suvišne tekućine. Kupke s morskom soli imaju anticelulitni i anti-aging učinak, što znači da dovode do smanjenja celulita, regeneriranja kožnog tkiva kao i tome da potiču mršavljenje. Morska sol djeluje blagotvorno i na upalne procese. Budući da poboljšava prokrvljenost i cirkulaciju kože, morska sol omekšava grubu i ispucanu kožu na rukama, laktovima i stopalima.¹⁶

1.4.3. Morska sol kao filter

Čestice soli mogu inaktivirati mikroorganizme utječući na parametre mikrobnog rasta kao što su osmotski tlak, kretanje molekule vode, temperature i pH vrijednosti. Novi filterski materijal, morska sol može se potencijalno primjenjivati kao učinkoviti antimikrobni filter zraka za smanjenje izloženosti okoliša mikrobnim kontaminantima. Količina istaloženih čestica morske soli utječe na inhibiciju bakterija, pad tlaka filtera, te baktericidnu učinkovitost. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da filteri za zrak obloženi česticama morske soli imaju potencijala kao antibakterijska metoda filtriranja aerosola.¹⁷



Slika 4. Prikaz filtera pod elektronskim mikroskopom sa NSS česticama i bez. Slike s lijeve strane prikazuju filtre bez NSS čestica koji imaju glatku površinu vlakana dok slike s desne strane prikazuju filtre sa NSS česticama na vlaknima čija je površina neravna, eliptična i šarolika.¹⁷

Aerosolizacija je jedna od ispitanih metoda koja može proizvesti fine kristale veličine nanometara. Aerosolizacija predstavlja specifičnu metodu dezinfekcije zraka i ventilacijskih uređaja koja pretvara fizičke supstance u formu mikro čestica, dovoljno laganih da se zrakom mogu prenositi kroz ventilacijski sustav radi virusnog, baktericidnog i fungicidnog djelovanja. Aerosolizacija je jedna od izazovnih metoda koja je dovela do odstupanja u premazima, posebice kada se radi o premazima koji sadržavaju velike količine soli, jer je uvelike povezana s učinkom filtra u hvatanju nanočestica.¹⁷

2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1. Tehničke (kemijske) karakteristike korištenih materijala

Soli koje su korištene u ovom istraživanju jesu: Stonska morska sol (krupna), Ninska sol s dodatkom čajevca i Himalajska sol. Osim soli korišten je i bijeli ne-tkani materijal.

Tablica 3. Sastav morske (krupne) soli

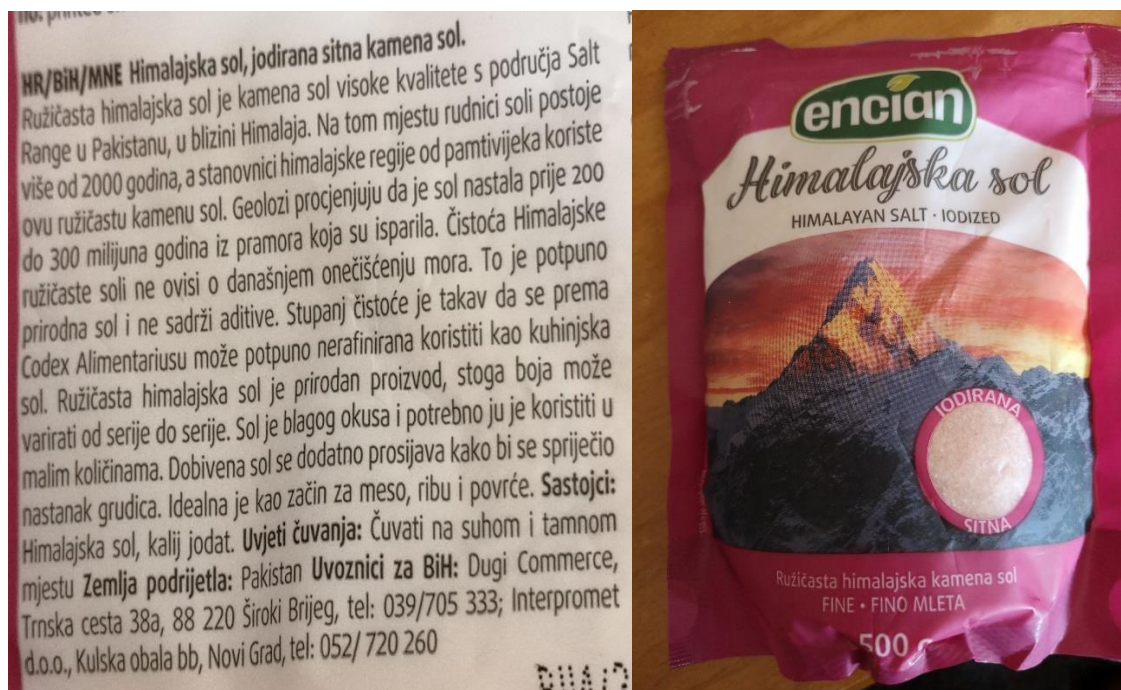
Sadržaj čistog NaCl na suhu tvar (%)	>97
Sadržaj vlage (%)	Max. 3
Miris	Bez mirisa
Boja	Bijela
Sadržaj elementarnog joda (mg/kg)	15 ili 23
Udio kalijeveg ferocijanida (E536) (mg/kg)	<20



Slika 5. Morska sol (krupna)



Slika 6. Sastav Ninske soli s dodatkom čajevca



Slika 7. Sastav himalajske soli



Slika 8. Bijeli ne-tkani materijal



Slika 9. Priprema uzoraka za SEM.

2.2. Uvjeti pri kojima su obavljena ispitivanja

Ispitivanje je provedeno u zatvorenoj komori tlocrtna veličine 100 · 100 cm², vanjske visine 190 cm, ukupne debljine zida komore 3 cm, pri sobnoj temperaturi. Onečišćenje zraka uzrokovano je lakom za kosu (2 kratka štrcaja). Mjerenje je izvršeno pomoću prijenosnog air quality detektora koji se nalazi u komori na visini od 50 cm, udaljen 10 cm od stražnjeg zida. Sam uređaj ima pogodno mjesto za postavljanje filtera.



Slika 10. Prikaz uređaja ELFY – pročišćivač zraka koji je idealan za male prostore (poput ureda, spavaće sobe, radne sobe i slično). Uređaj se sastoji od troslojnog filtera koji uspješno uklanja alergene i neugodne mirise te uv-c lampa koja štiti od virusa i bakterija.

Tablica 4. Deklaracija ELFY

Tip proizvoda:	Pročistač zraka
Proizvođač:	Kristalna Ideja d.o.o., 4. Gardijske brigade 43, Split
Model proizvoda:	ELFY
Sastav proizvoda:	PVC kućište, touch screen zaslon, filter u zaštitnom pakiranju, kabel za napajanje, odvijač
Način pročišćavanja:	Pred-filtracija, aktivni ugljen, hladni katalitički proces, anion generator, UV sterilizacija
Valna duljina svjetlosti:	253,7 nm (UV-C spektar)
Napon:	110-240 V
Frekvencija:	50-60 Hz
Snaga:	≤ 5 W
Radna temperatura:	-10°C do 70°C
Dimenzije uređaja:	D145 x Š145 x V105 mm
Težina uređaja:	655 g
Akumulirano vrijeme trajanja filtera:	1500 h
Koncentracija aniona:	> 6x10 ⁶ pcs/cm ³
Maksimalna brzina protoka zraka:	136 m ³ /h
Preporučena veličina prostora:	≤ 15-20 m ²
Primjenjiva mjesta:	Uredi, kuće, čekaonice, radionice, hoteli....
Godina proizvodnje:	2021.
Zemlja podrijetla:	HR/EU
Garantni rok:	2 godine



Slika 11. Komora u kojoj su provedena testiranja.

2.2.1. Priprava otopina

U 100 ml vode pri sobnoj temperaturi otopljeno je 30 g soli. U dobivenoj otopini natapani su uzorci materijala morske (krupne) soli, materijala ninske soli s dodatkom čajevca i materijala himalajske soli u trajanju od 10 sekundi. Nakon toga uzorci su stavljeni vertikalno na sušenje 5 minuta. Nakon toga odloženi su na stol na suho mjesto na 24 sata.



Slika 12. Vertikalno sušenje bijelog ne-tkanog materijala natopljenog u sol.

Tablica 6. Prikaz mase bijelog ne-tkanog materijala prije i poslije namakanja

m(morska (krupna) sol) _{prije namakanja} =1g	m(morska (krupna) sol) _{nakon namaknja} =1,82g
m(ninska sol s dodatkom čajevca) _{prije namakanja} =1g	m(ninska sol s dodatkom čajevca) _{nakon namakanja} =1,76g
m(himalajska sol (30g u 100ml vode)) _{prije namakanja} =1g	m(himalajska (30g u 100ml vode)) _{nakon namaknja} =1,82g
m(himalajska sol (40g u 100ml vode)) _{prije namakanja} =1,28g	m(himalajska sol (40g u 100ml vode)) _{nakon namakanja} =1,87g

2.3. Protokol provedbe

Sastoji se od nekoliko cjelina navedenih niže.

1.) Priprema materijala nosača

- a) Priprema nosača : Ne-tkani bijeli materijal, odrezati ga na dimenzije 12x12 cm
- b) Vaganje digitalnom vagom : 1g
- c) Skenirati strukturu putem SEM-a

2.) Priprema solnog aditiva:

- a) Priprema otopine prirodne morske soli : MORSKA SOL (KRUPNA)

Koncentracija otopine (30g / 100 ml)

Temperatura otopine : Standardna temperatura otopine

- b) a) Priprema otopine prirodne morske soli : NINSKA SA DODATKOM ČAJEVCA,

koncentracija otopine (30g / 100 ml)

Temperatura otopine : Standardna temperatura otopine.

- c) Priprema otopine prirodne morske soli :HIMALAJSKA

Koncentracija otopine (30g / 100 ml H₂O) i (40g/100ml H₂O)

Temperatura otopine: u pripremi otopine gdje se koristilo 30g Himalajske soli, korištena je standardna temperatura otopine (22°C), dok se u pripremi otopine gdje se koristilo 40g Himalajske soli otopina zagrijala na 38°C.

2.4. SEM MJERENJA

Nakon pripreme materijala i provedbe testiranja u zatvorenoj komori uzorci se pripremaju za SEM. Uzorke se priprema tako što se na krajevima velike površine odreže manja površina, kvadrat, koji se pomoću pincete prenese na određeni nosač (prikazano na slici 9). Bijeli ne-tkani materijal ne provodi električnu energiju, odnosno nije vodljiv, iz tog razloga se pomoću uređaja prikazanog na slici 14 nanosi sloj zlata kako bi materijal postao vodljiv. Prilikom EDS analize na svakom uzorku primijećeni su tragovi zlata. Nakon što se zlato nanese slijedi analiza uzoraka na uređaju prikazanom na slici 13. Analiza se provodi pojedinačno za svaki uzorak i traje otprilike 15 minuta.

To je jedinstveni elektronski optički sustav (mikroskop) koji omogućuje različite analize i promatranja pri visokom povećanju kao i visoke rezolucije koje mu omogućuje polu unutarnja leća. Optika velike snage pruža sve potrebne performanse koje su potrebne za provođenje svega, od gledanja s velikim povećanjem do EDS i EBSD analize. Schottkyev elektronski top s emisijom polja u leći kombinira elektronski top s kondenzatorskom lećom niske aberacije kako bi se omogućilo učinkovitije prikupljanje elektrona generiranih iz elektronskog polja. Objektiv za kontrolu kuta otvara blende (ACL) koja je postavljena iznad leće objektiva kako bi izvršila automatsku optimizaciju kuta otvora leće objektiva u cijelom rasponu strujne sonde. To omogućuje dobivanje manjeg promjera sonde nego što je to moguće s konvencionalnim sustavima, čak i kad je struja velika. Napon se primjenjuje na uzorak kako bi se smanjio napon prizemljenja elektrona neposredno prije nego što udare u uzorak. Omogućujući promatranje slike visoke razlučivosti s naponima ubrzanja od samo 100V.¹⁸



Slika 13. JEOL- JSM-7610FPlus, naziv i model uređaja pomoću kojeg je izvršen SEM.



Slika 14. QUORUM – Q150T ES plus- uređaj koji služi za nanošenje sloja zlata prije provođenja SEM-a, u slučaju da se radi o materijalu koji je izolator. Optimiziran je za korištenje s turbomolekularnom pumpom koja daje niži vakuum do 5×10^5 mbar. To omogućuje raspršivanje oksidirajućih metala.¹⁹

3. REZULTATI

SLIJEPA PROBA

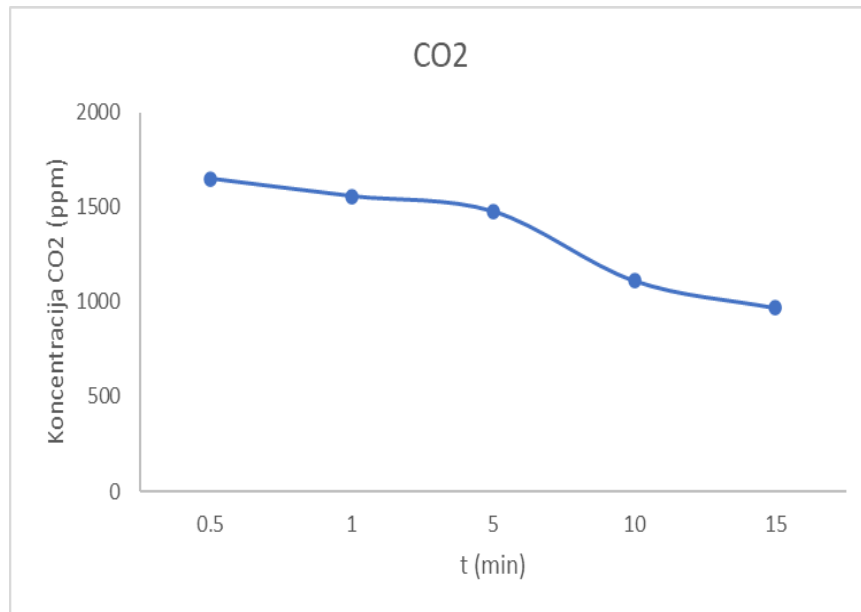
- Onečišćenje uzrokovano lakom za kosu (slijepa proba) bijeli ne-tkani filter materijal bez namakanja u sol.

Tablica 6. Rezultati dobivenih testiranja za slijepu probu

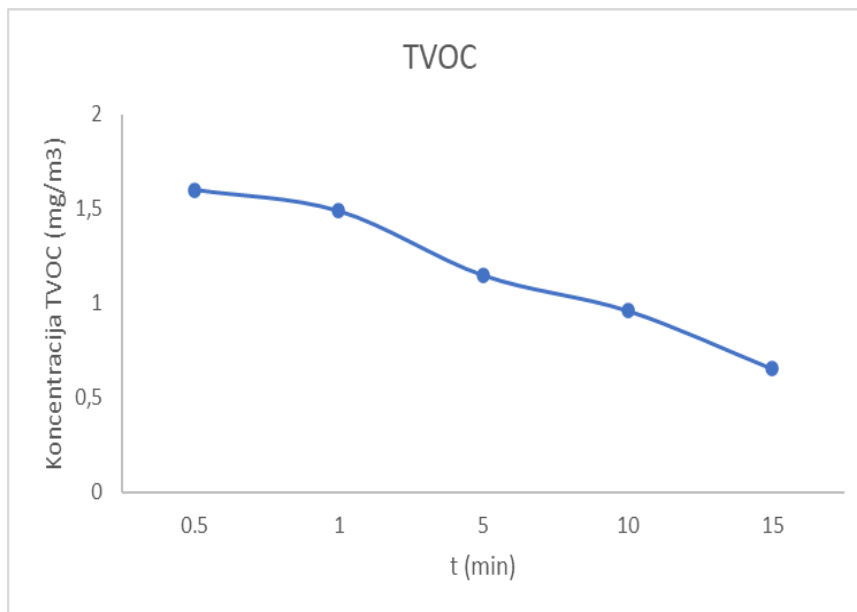
SLIJEPA PROBA				
VRIJEME	CO₂ (ppm)	TVOC (mg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	1651	1,600	8	0,393
1 min	1559	1,489	9	0,364
5 min	1478	1,149	7	0,275
10 min	1111	0,962	4	0,149
15 min	967	0,655	7	0,090

Tablica 7. Efikasnost pročišćavanja slijepe probe.

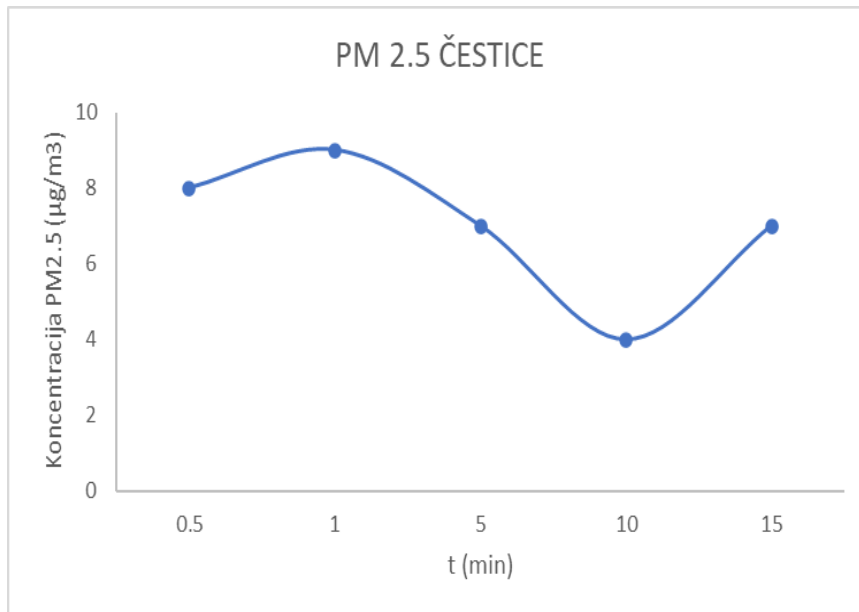
Efikasnost pročišćavanja (%)				
VRIJEME	CO₂ (ppm)	TVOC (mg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	5,57%	6,94%	/	7,38%
5 min	10,48%	28,19%	12,50%	30,02%
10 min	32,70%	39,87%	50,00%	62,08%
15 min	41,43%	59,06%	12,50%	77,10%



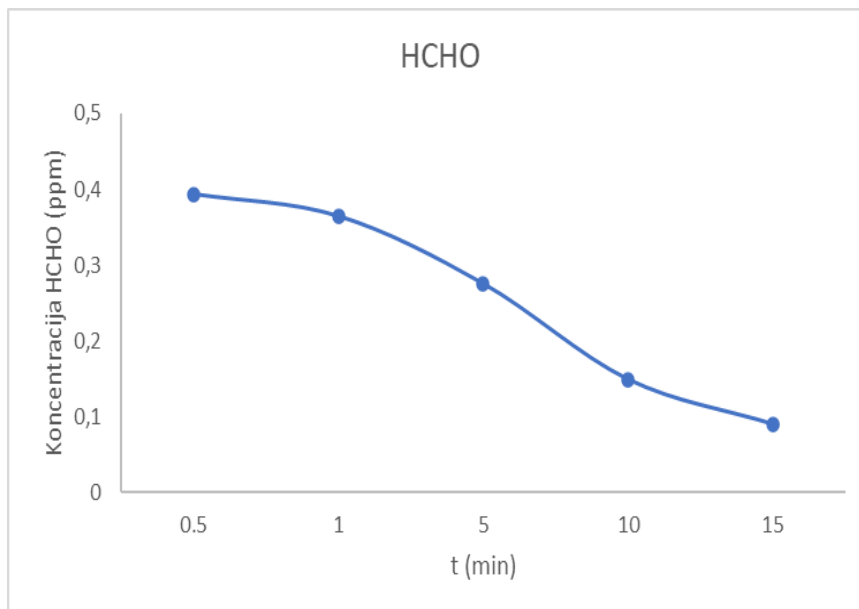
Slika 15. Grafički prikaz promjene koncentracije CO₂ s vremenom.



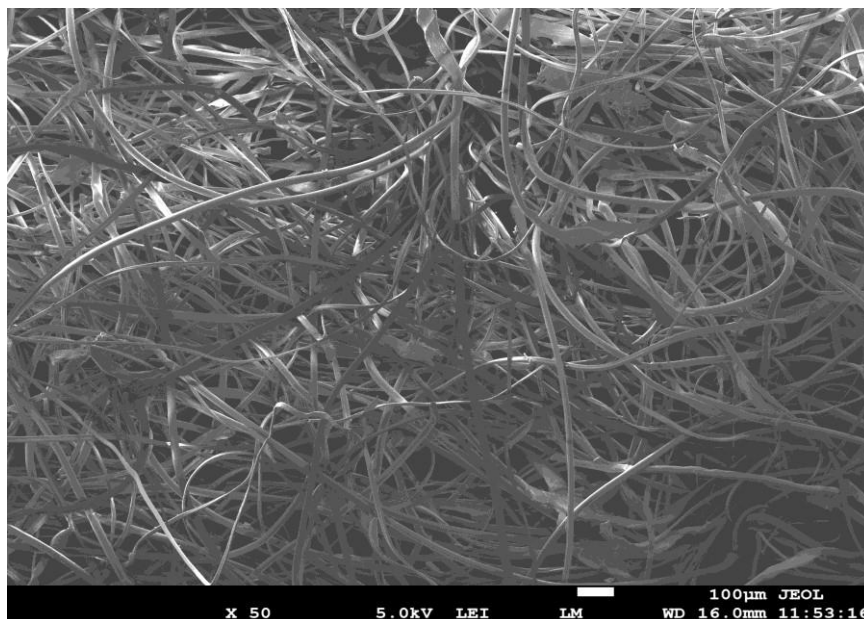
Slika 16. Grafički prikaz promjene koncentracije TVOC s vremenom.



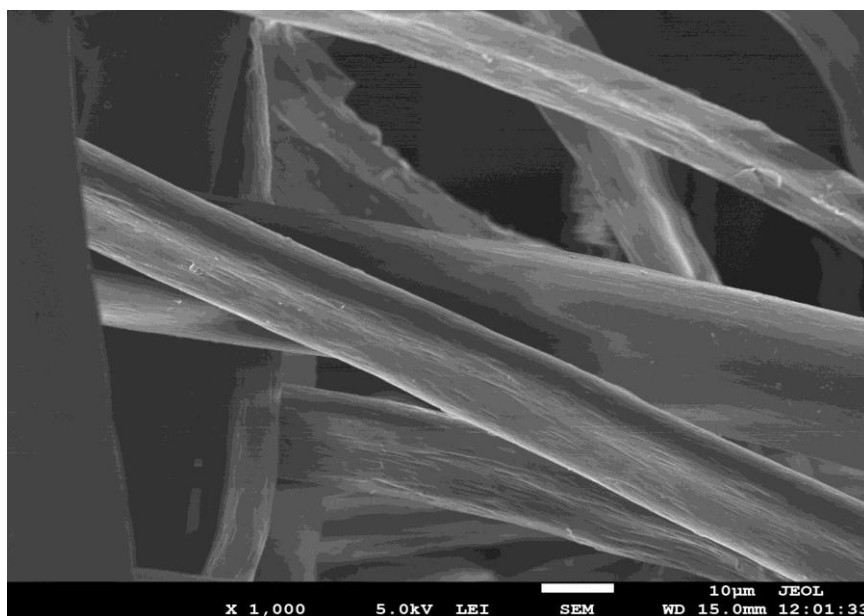
Slika 17. Grafički prikaz promjene koncentracije PM2.5 čestice s vremenom.



Slika 18. Grafički prikaz promjene koncentracije HCHO (formaldehida) s vremenom.



Slika 19. Prikaz strukture slijepa probe na uvećanju od 50 puta.



Slika 20. Prikaz strukture slijepa probe na uvećanju od 1000 puta.

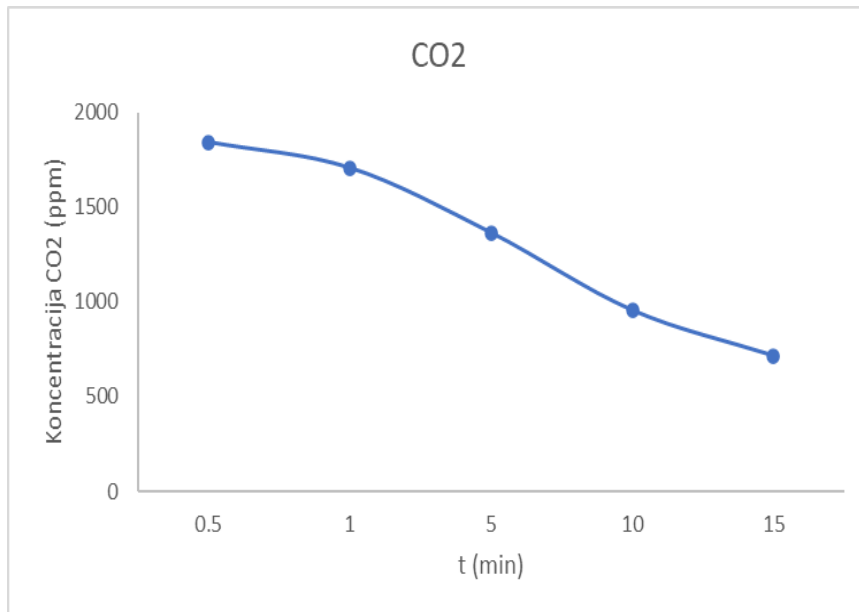
MORSKA (KRUPNA) SOL (UZORAK A)

Tablica 8. Rezultati dobivenih testiranja provedenih s Morskom (krupnom) soli.

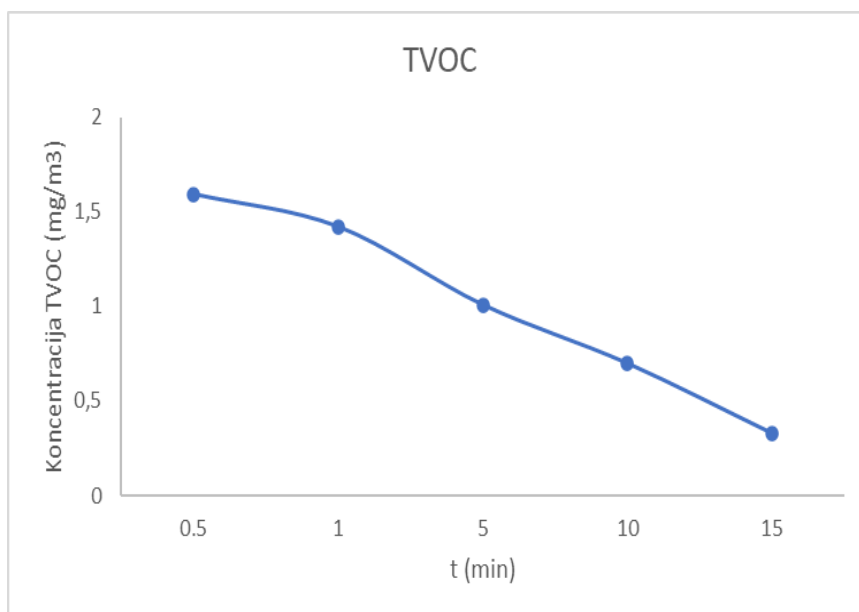
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	1844	1,593	7	0,393
1 min	1708	1,421	4	0,349
5 min	1365	1,009	9	0,238
10 min	956	0,700	8	0,157
15 min	716	0,331	7	0,077

Tablica 9. Efikasnost pročišćavanja bijelog ne-tkanog materijala namakanog u otopinu morske (krupne) soli.

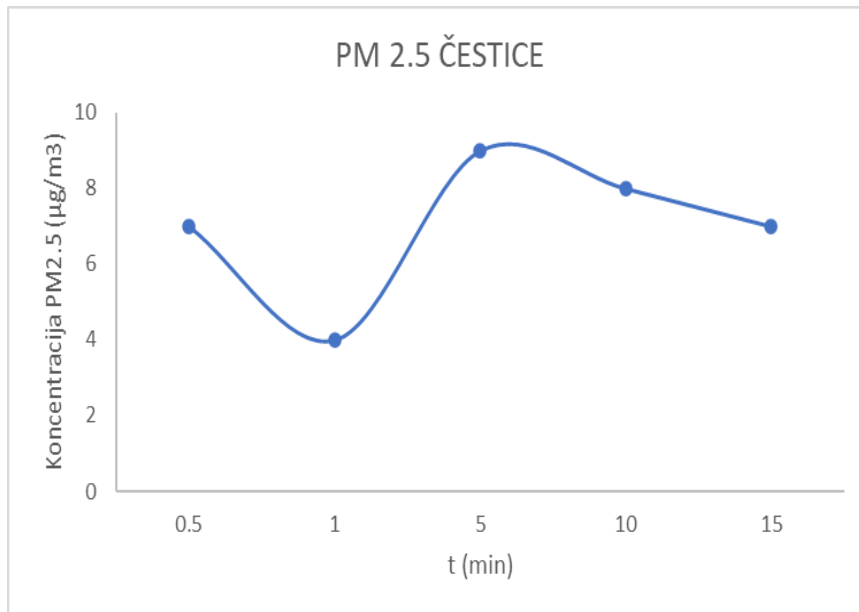
EFIKASNOST PROČIŠĆAVANJA (%)				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	7,37%	10,80%	42,85%	11,20%
5 min	25,98%	36,37%	/	39,33%
10 min	48,15%	56,01%	/	60,05%
15 min	61,17%	79,22%	/	80,40%



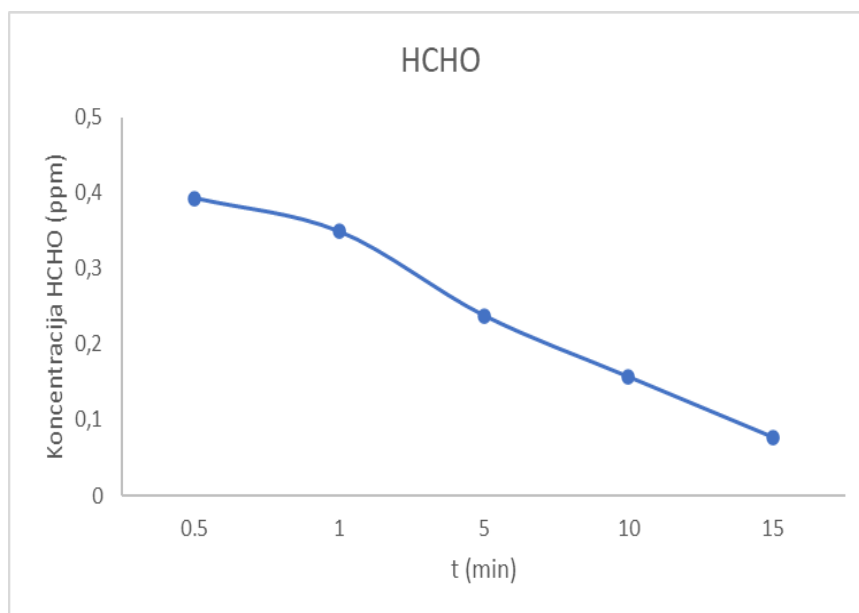
Slika 21. Grafički prikaz promjene koncentracije CO₂ s vremenom u prisustvu otopine morske soli.



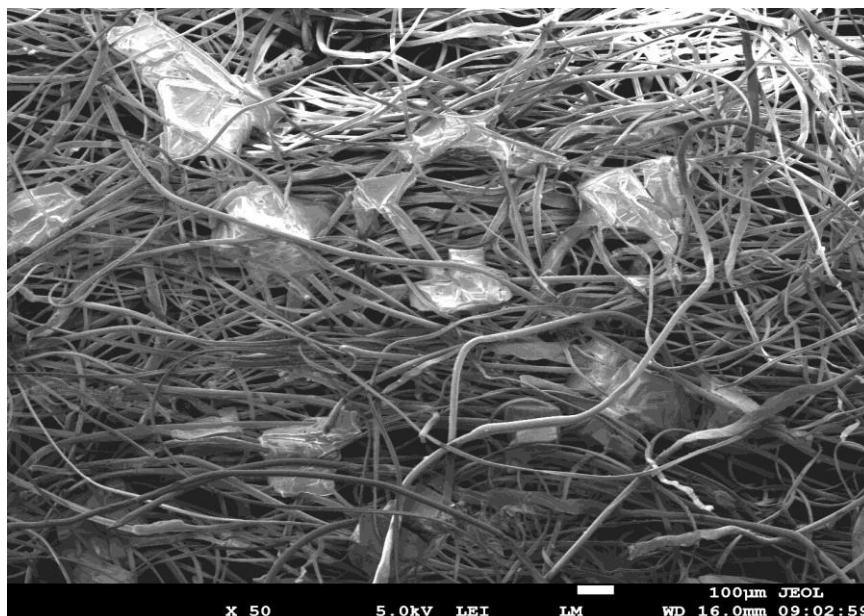
Slika 22. Grafički prikaz promjene koncentracije TVOC s vremenom u prisustvu otopine morske soli



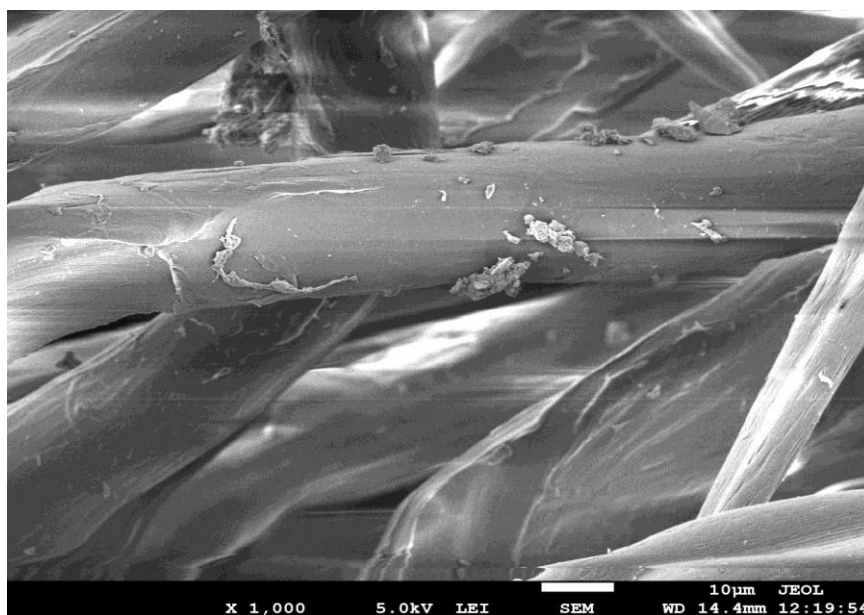
Slika 23. Grafički prikaz promjene koncentracije PM2.5 čestica s vremenom u prisustvu otopine morske soli.



Slika 24. Grafički prikaz promjene koncentracije HCHO (formaldehida) s vremenom u prisustvu otopine morske soli.



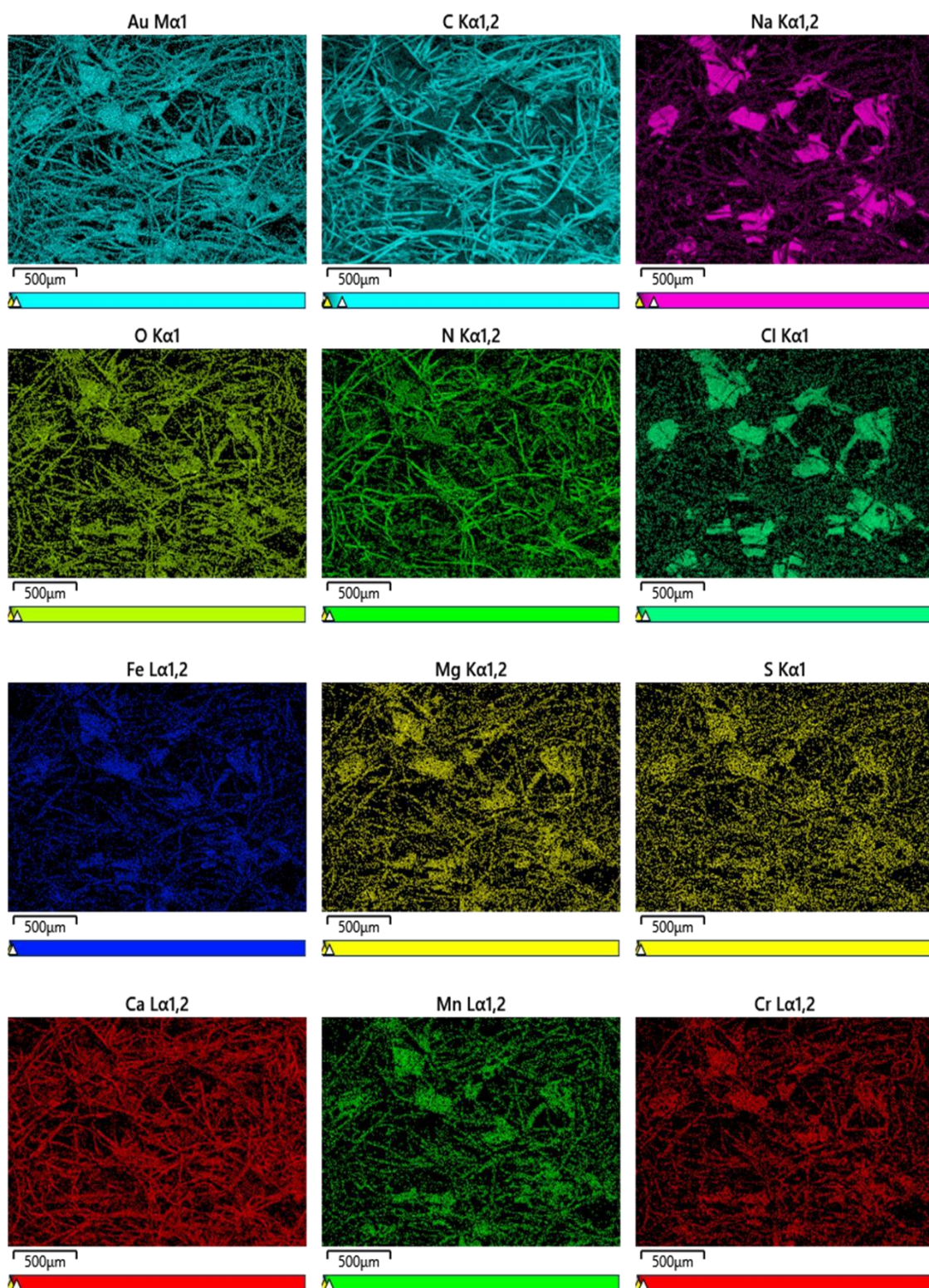
Slika 25. Prikaz strukture morske (krupne) soli na uvećanju od 50 puta.



Slika 26. Prikaz strukture morske (krupne) soli na uvećanju od 1000 puta.



Slika 27. Prikaz rezultata mapiranja kemijskih elemenata za morsku (krupnu) sol.



Slika 28. Kemijski elementi koji su pronađeni prilikom provedbe SEM-a, svi ovi elementi prikazani su na slici 27 kao i odgovarajuće boje radi lakšeg prepoznavanja.

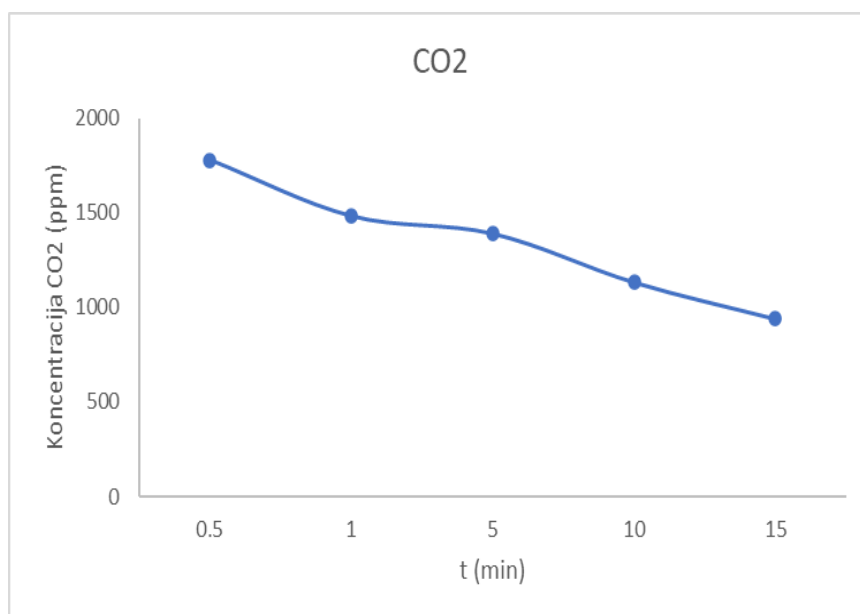
NINSKA SOL S DODATKOM ČAJEVCA (UZORAK B)

Tablica 10. Rezultati dobivenih testiranja provedenih s Ninskom soli uz dodatak čajevca

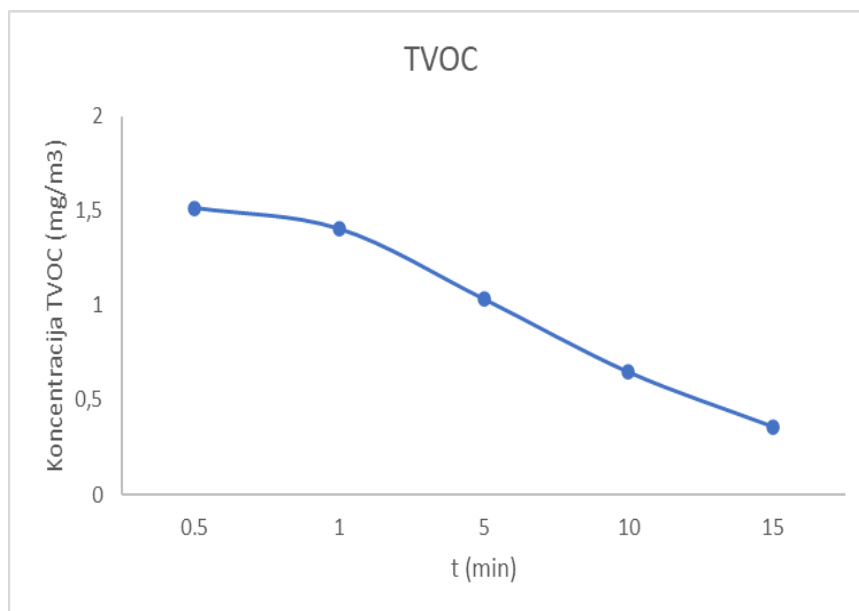
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	1777	1,513	6	0,368
1 min	1482	1,403	8	0,339
5 min	1389	1,033	6	0,246
10 min	1132	0,648	9	0,148
15 min	939	0,360	5	0,082

Tablica 11. Efikasnost pročišćavanja bijelog ne-tkanog materijala namakanog u otopinu ninske soli s dodatkom čajevca.

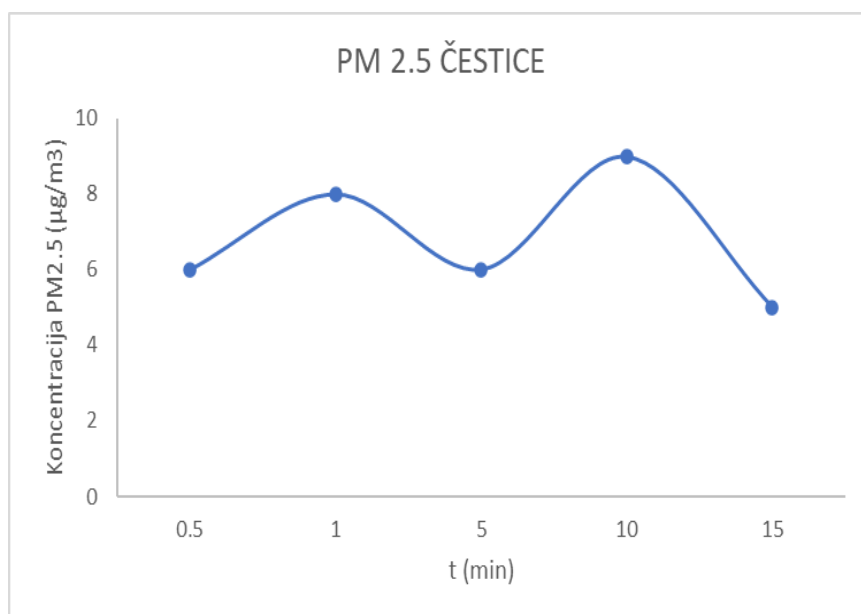
Efikasnost pročišćavanja (%)				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	16,60%	7,28%	/	7,88%
5 min	21,38%	31,72%	/	33,15%
10 min	36,30%	57,17%	/	59,78%
15 min	47,16%	76,21%	16,67%	77,72%



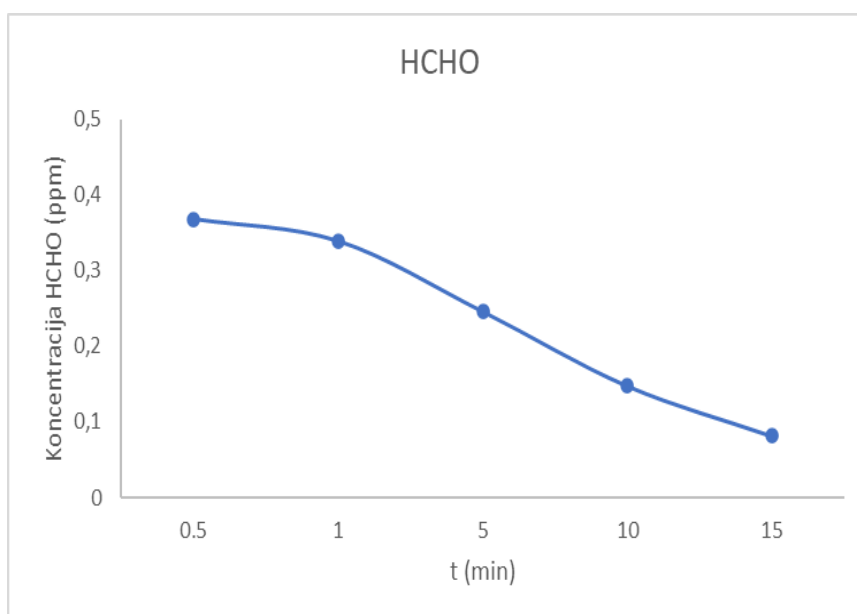
Slika 29. Grafički prikaz promjene koncentracije CO₂ s vremenom u prisustvu otopine ninske soli s dodatkom čajevca.



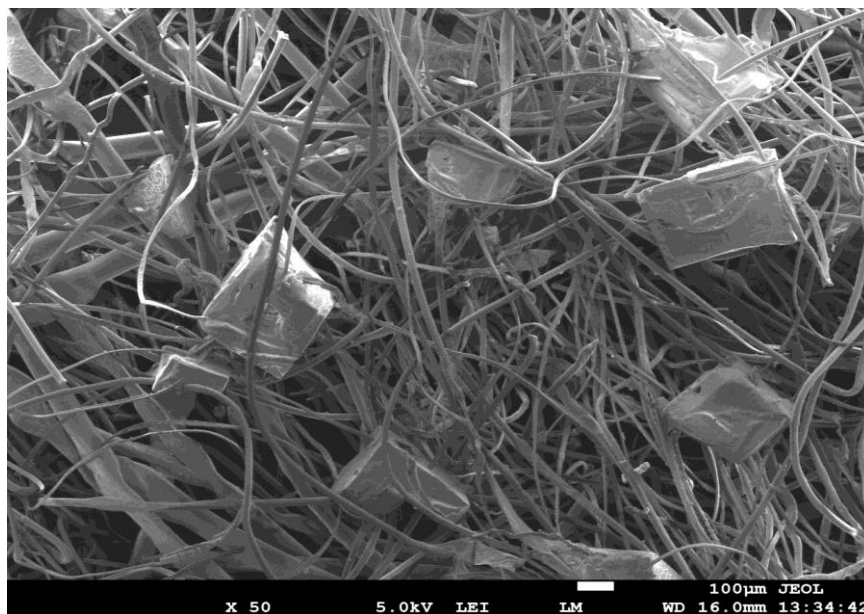
Slika 30. Grafički prikaz promjene koncentracije TVOC s vremenom u prisustvu otopine ninske soli s dodatkom čajevca.



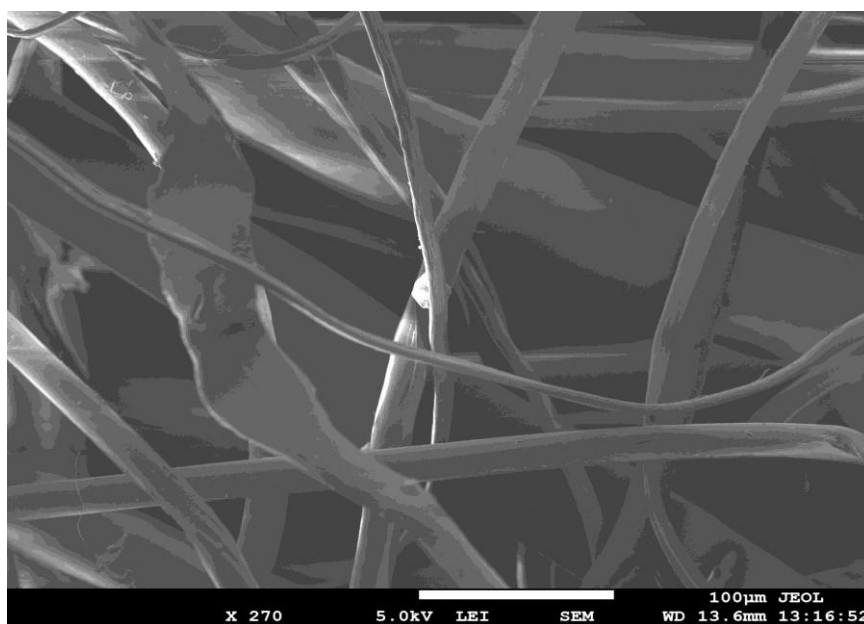
Slika 31. Grafički prikaz promjene koncentracije PM2.5 čestica s vremenom u prisustvu otopine ninske soli s dodatkom čajevca.



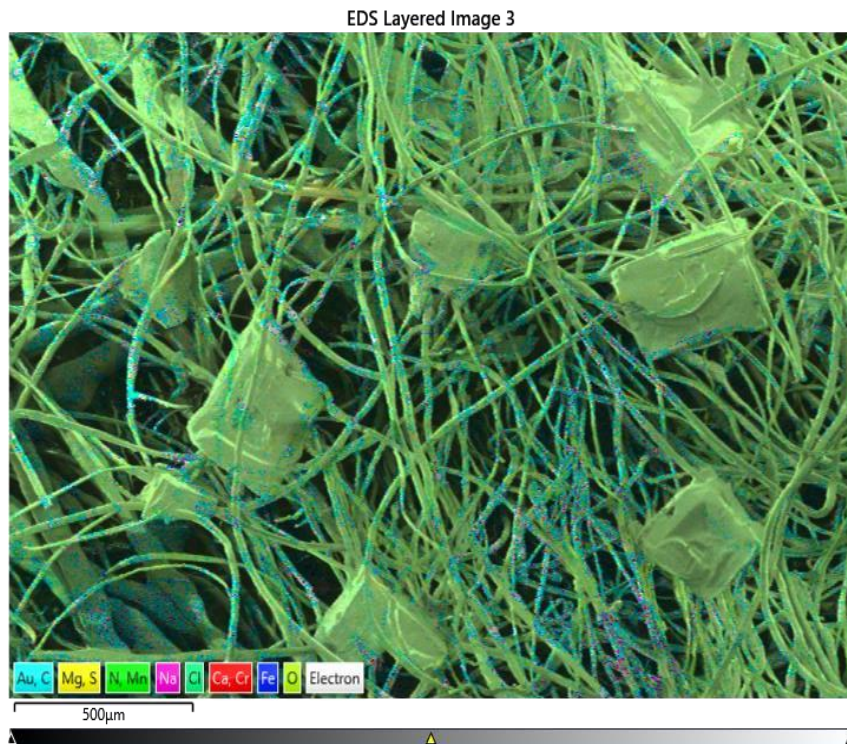
Slika 32. Grafički prikaz promjene koncentracije HCHO (formaldehida) s vremenom uz prisustvo otopine ninske soli s dodatkom čajevca.



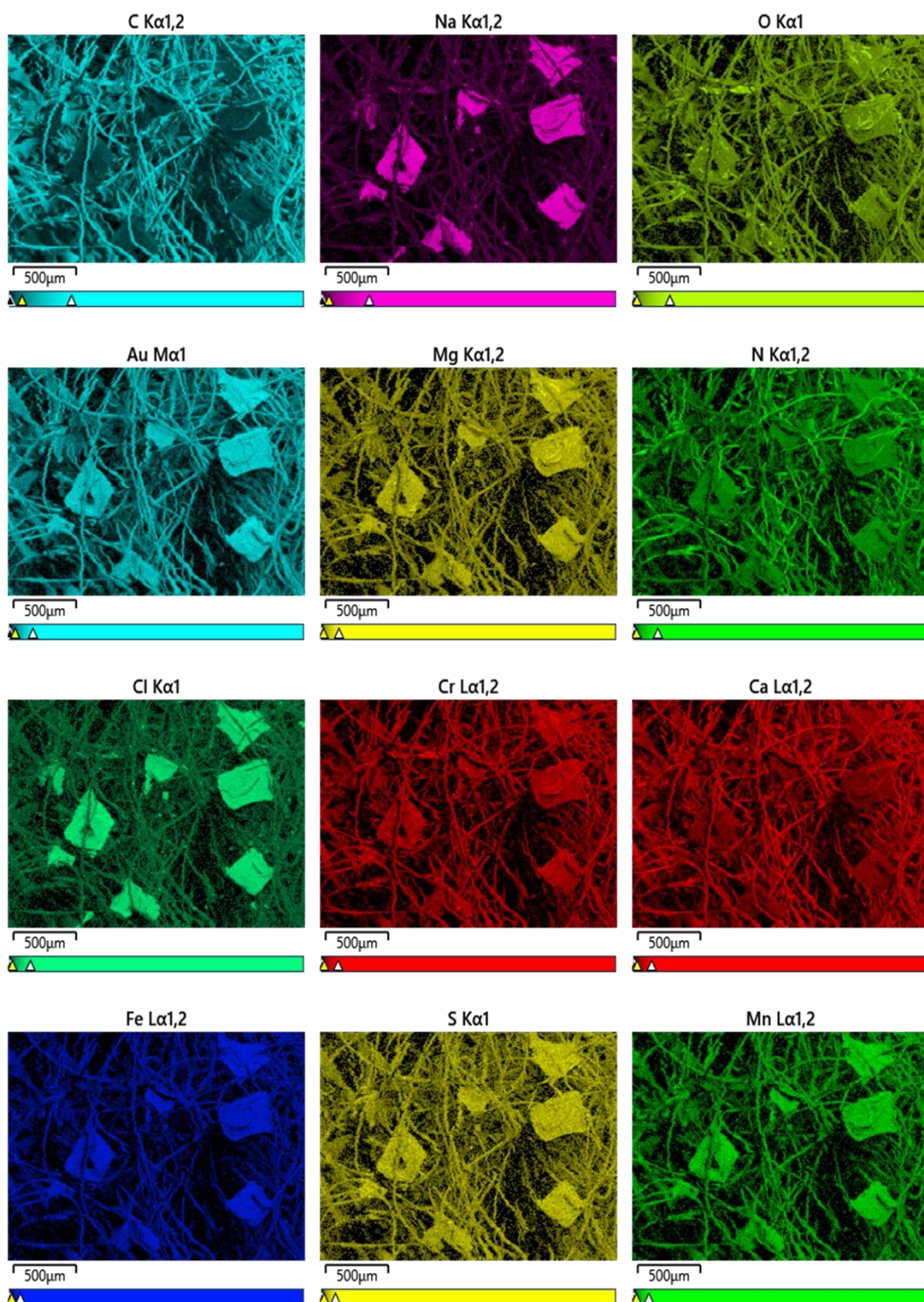
Slika 33. Prikaz strukture ninske soli s dodatkom čajevca na uvećanju od 50 puta.



Slika 34. Prikaz strukture ninske soli s dodatkom čajevca na uvećanju od 270 puta.



Slika 35. Prikaz rezultata mapiranja kemijskih elemenata za ninsku sol s dodatkom čajevca.



Slika 36. Kemijski elementi koji su pronađeni prilikom provedbe SEM-a, svi ovi elementi prikazani su na slici 35 kao i odgovarajuće boje radi lakšeg prepoznavanja.

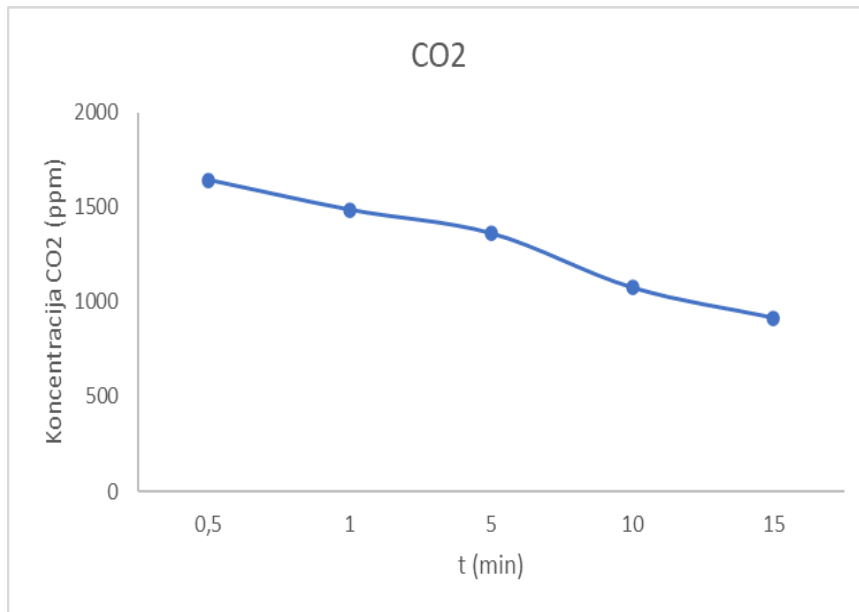
HIMALAJSKA SOL (30 g soli u 100 ml vode) (UZORAK C)

Tablica 13. Rezultati dobivenih testiranja s Himalajskom soli (30 g).

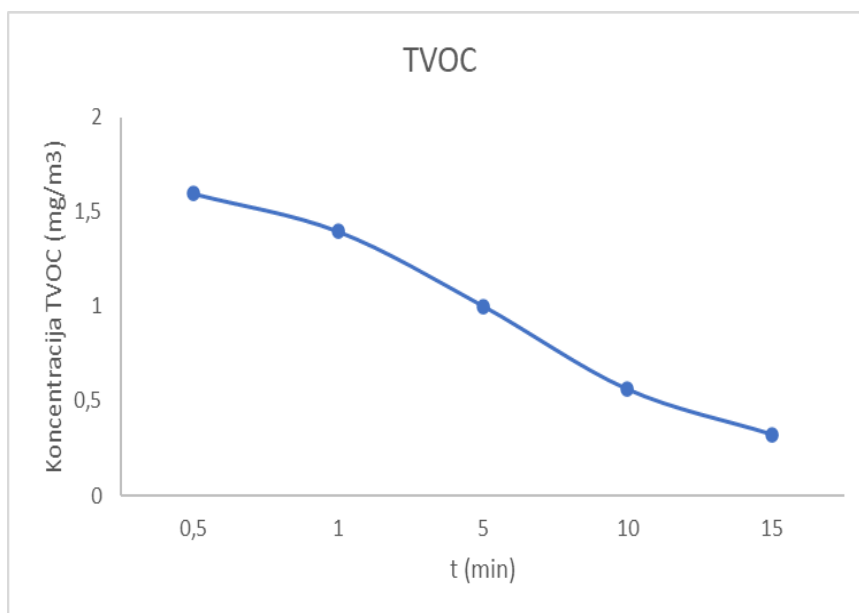
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	1642	1,596	7	0,388
1 min	1485	1,396	7	0,337
5 min	1316	1,002	6	0,233
10 min	1075	0,561	4	0,130
15 min	916	0,321	7	0,075

Tablica 14. Efikasnost pročišćavanja bijelog ne-tkanog materijala namakanog otopinu himalajske soli.

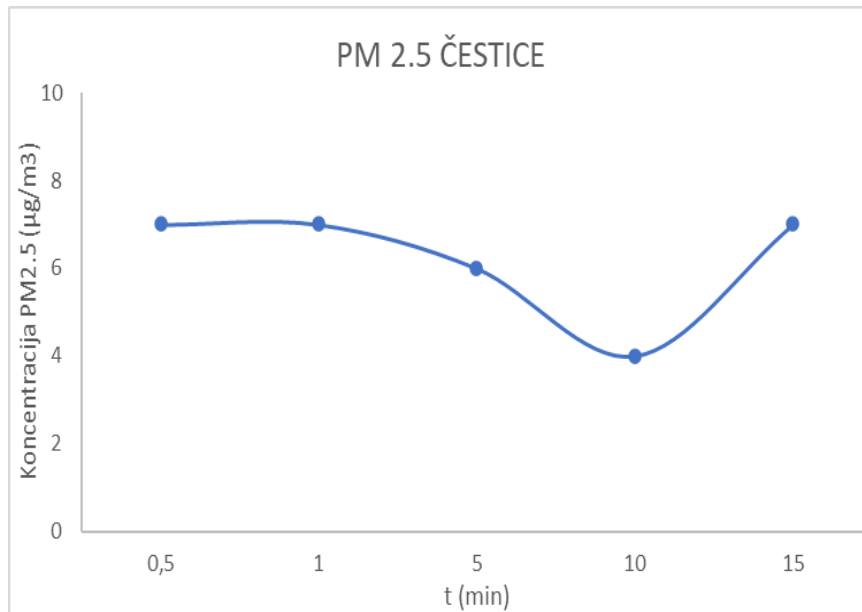
Efikasnost pročišćavanja (%)				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µm/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	9,56%	12,53%	/	13,14%
5 min	19,85%	37,22%	14,29%	39,95%
10 min	34,53%	64,85%	42,86%	64,49%
15 min	44,21%	79,88%	/	80,67%



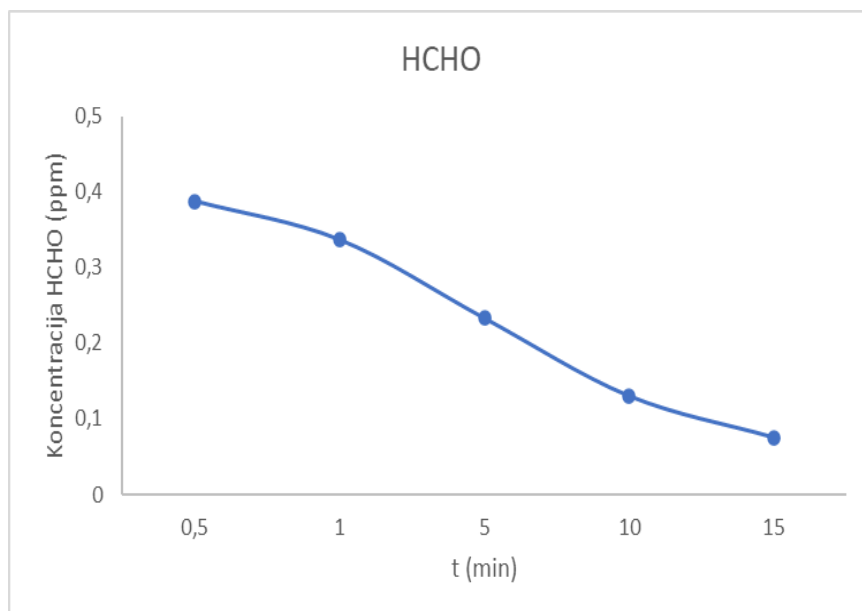
Slika 37. Grafički prikaz promjene koncentracije CO₂ s vremenom uz prisustvo otopine himalajske soli.



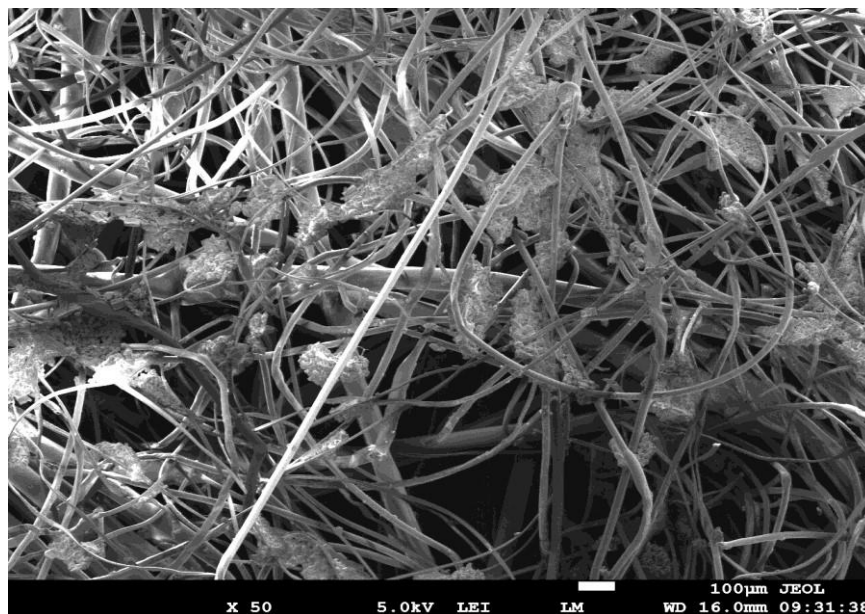
Slika 38. Grafički prikaz promjene koncentracije TVOC s vremenom uz prisustvo otopine himalajske soli.



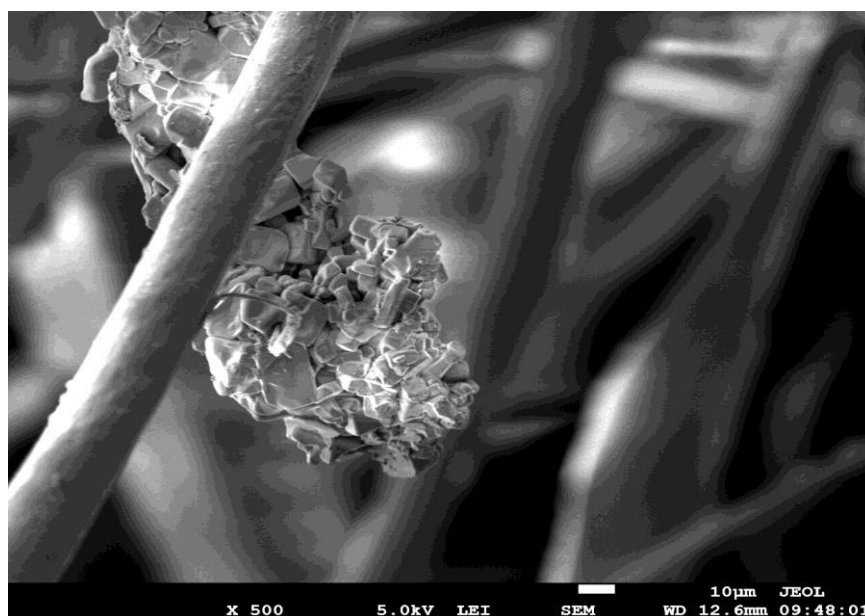
Slika 39. Grafički prikaz promjene koncentracije PM2.5 čestica s vremenom uz prisustvo otopine himalajske soli.



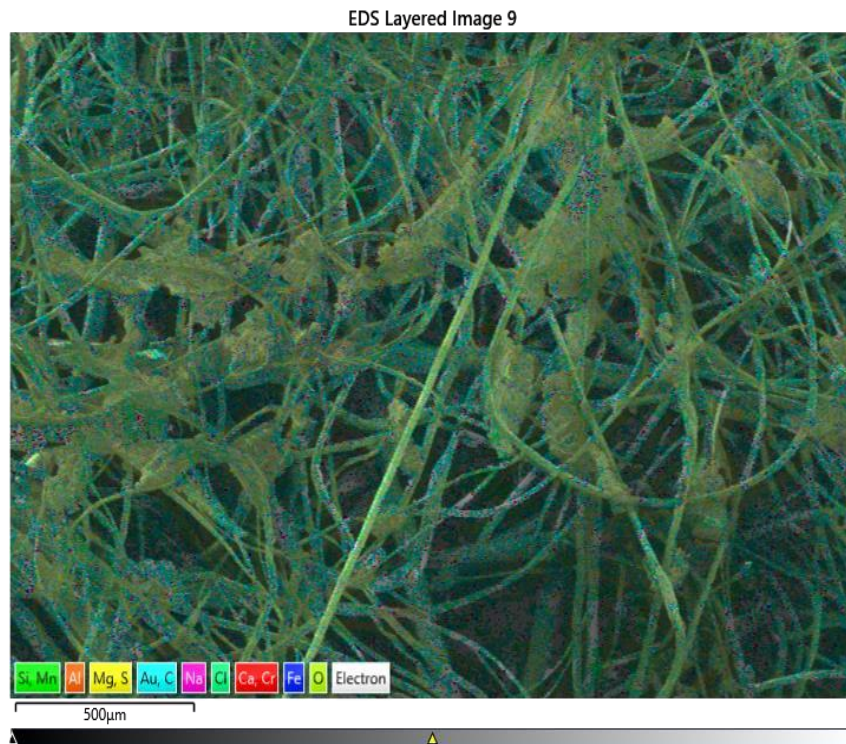
Slika 40. Grafički prikaz promjene koncentracije HCHO (formaldehida) s vremenom uz prisustvo otopine himalajske soli.



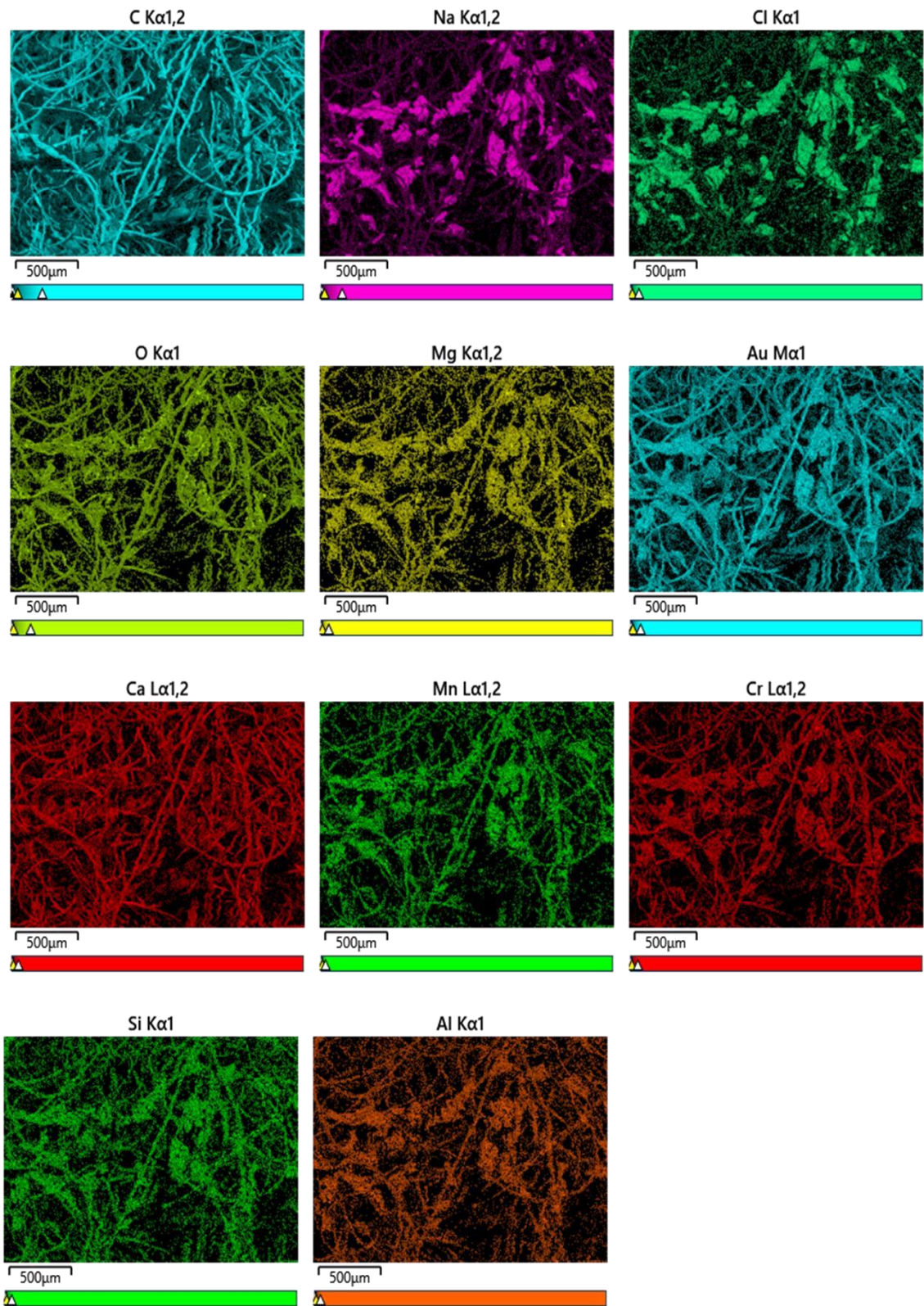
Slika 41. Prikaz strukture himalajske soli (30g soli u 100ml vode) na povećanju od 50 puta.

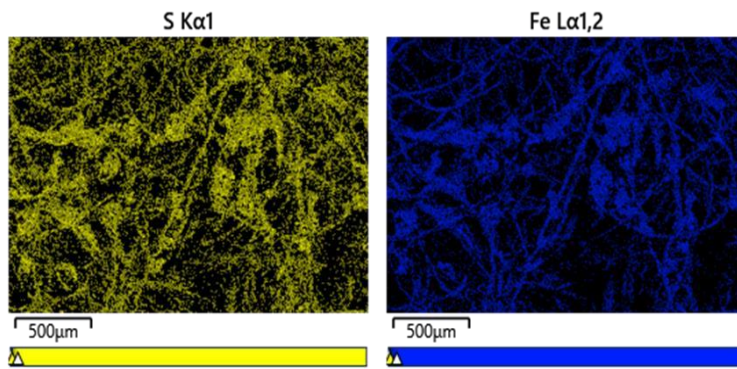


Slika 42. Prikaz strukture himalajske soli (30g soli u 100ml vode) na uvećanju od 500 puta.



Slika 43. Prikaz rezultata mapiranja kemijskih elemenata za himalajsku sol (30g soli u 100ml vode).





Slika 44. Kemijski elementi koji su pronađeni prilikom provedbe SEM-a, svi ovi elementi prikazani su na slici 43 kao i odgovarajuće boje radi lakšeg prepoznavanja.

Nakon što su bijeli ne-tkani materijali uronjeni u otopinu, u kojoj su otopljene različite soli istih koncentracija, materijali su osušeni i uslijedila su testiranja. Himalajska sol (30 g u 100 ml vode) nakon testiranja pokazala je veću efikasnost redukcije onečišćenih čestica (CO₂, TVOC, PM_{2.5}, HCHO) nego morska (krupna) sol i ninska sol s dodatkom čajevca.

Nakon dokazivanja koja je sol najefikasnija u pročišćavanju po zadanom protokolu, odlučeno je provesti naknadnu analizu sa povišenjem koncentracije solne otopine. U tu svrhu se pripremila nova otopina sa 40 g himalajske soli na 100 ml vode, kako bi se utvrdilo da li se povećanjem koncentracije soli povećava i efikasnost.

HIMALAJSKA SOL (40 g soli u 100 ml vode)

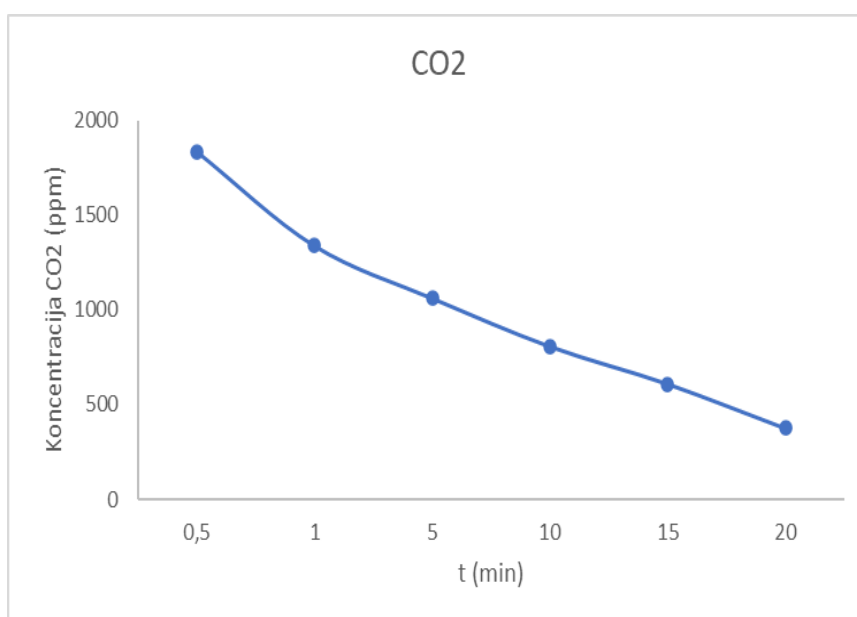
- Otopina je pripremljena je otapanjem 40g himalajske soli na 100 ml vode, gdje se voda zagrijala na temperaturu od 38°C.
- Vrijeme testiranja himalajske soli prolongirali smo na 20min.

Tablica 13. Rezultati testiranja provedeni s otopinom himalajske soli (40 g)

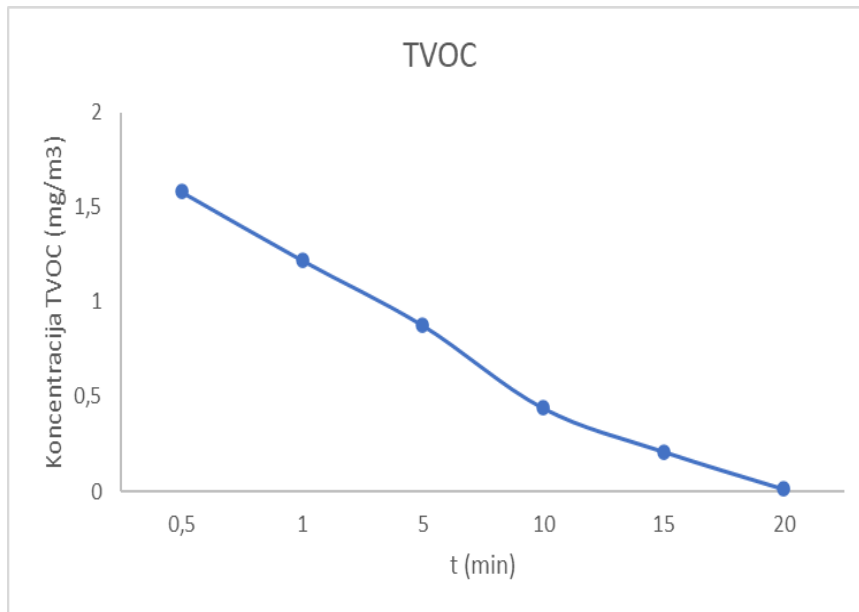
VRIJEME	CO2 (ppm)	TVOC (mg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	1836	1,581	5	0,388
1 min	1338	1,220	8	0,294
5 min	1061	0,877	8	0,202
10 min	807	0,440	5	0,100
15 min	609	0,210	9	0,050
20 min	375	0,012	6	0,004

Tablica 14. Efikasnost pročišćavanja bijelog ne-tkanog materijala namakanog u otopinu himalajske soli.

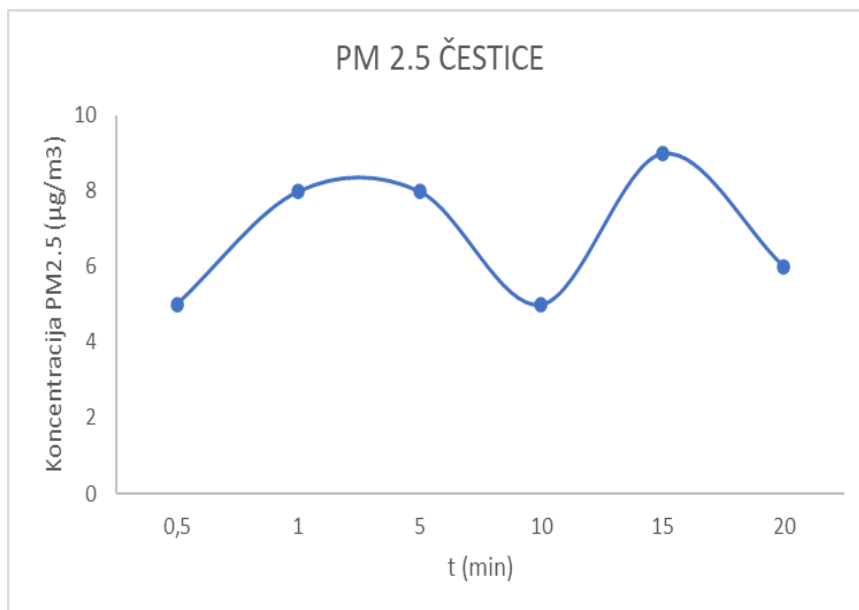
Efikasnost pročišćavanja (%)				
VRIJEME	CO2 (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	27,12%	22,83%	/	24,22%
5 min	42,21%	44,53%	/	47,94%
10 min	56,04%	72,17%	/	74,22%
15 min	66,83%	86,72%	/	87,11%
20 min	79,58%	99,24%	/	98,96%



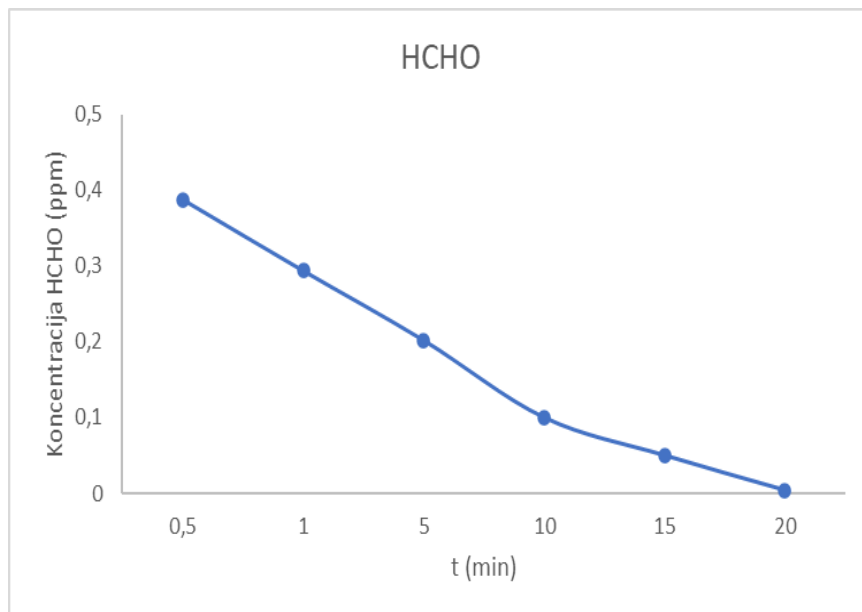
Slika 45. Grafički prikaz promjene koncentracije CO₂ s vremenom u prisustvu otopine himalajske soli.



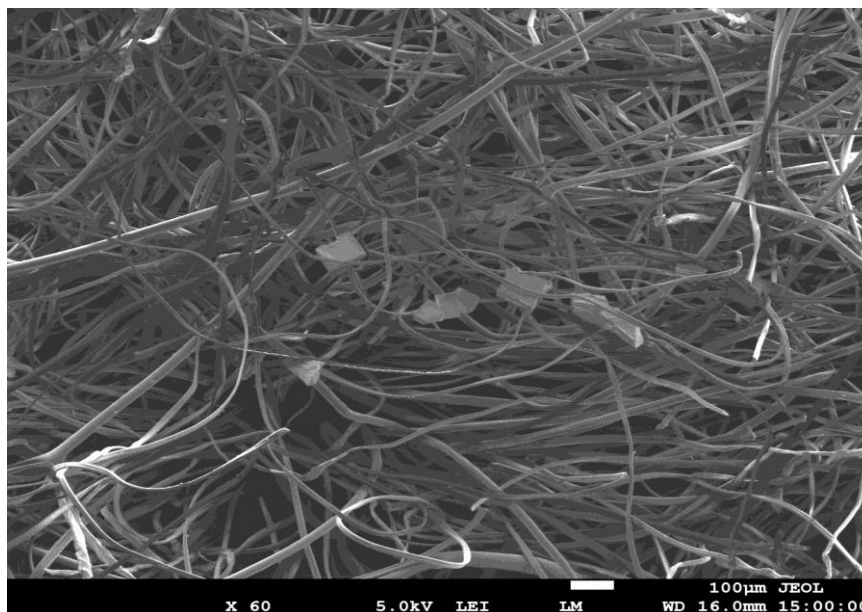
Slika 46. Grafički prikaz promjene koncentracije TVOC s vremenom u prisustvu otopine himalajske soli.



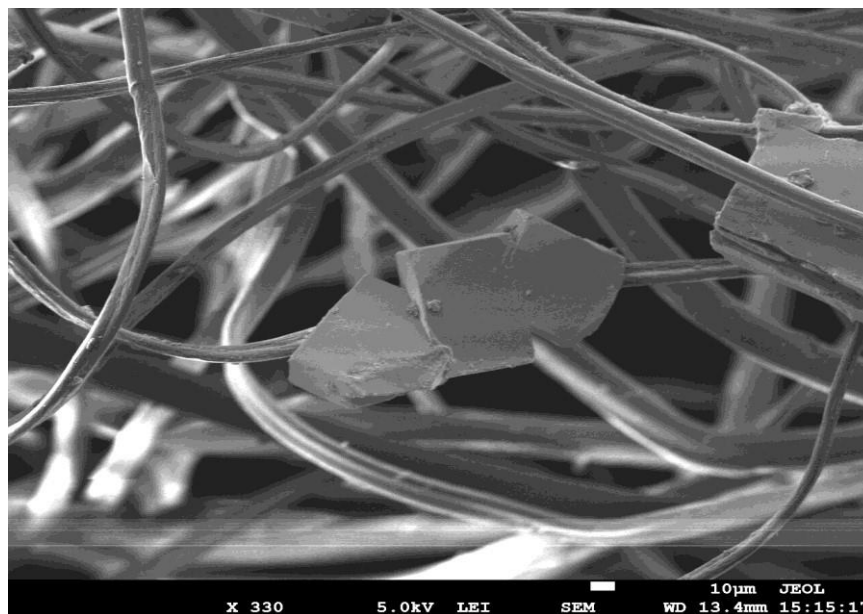
Slika 47. Grafički prikaz promjene koncentracije PM2.5 čestica s vremenom u prisustvu otopine himalajske soli.



Slika 48. Grafički prikaz promjene koncentracije HCHO (formaldehida) s vremenom u prisustvu otopine himalajske soli.



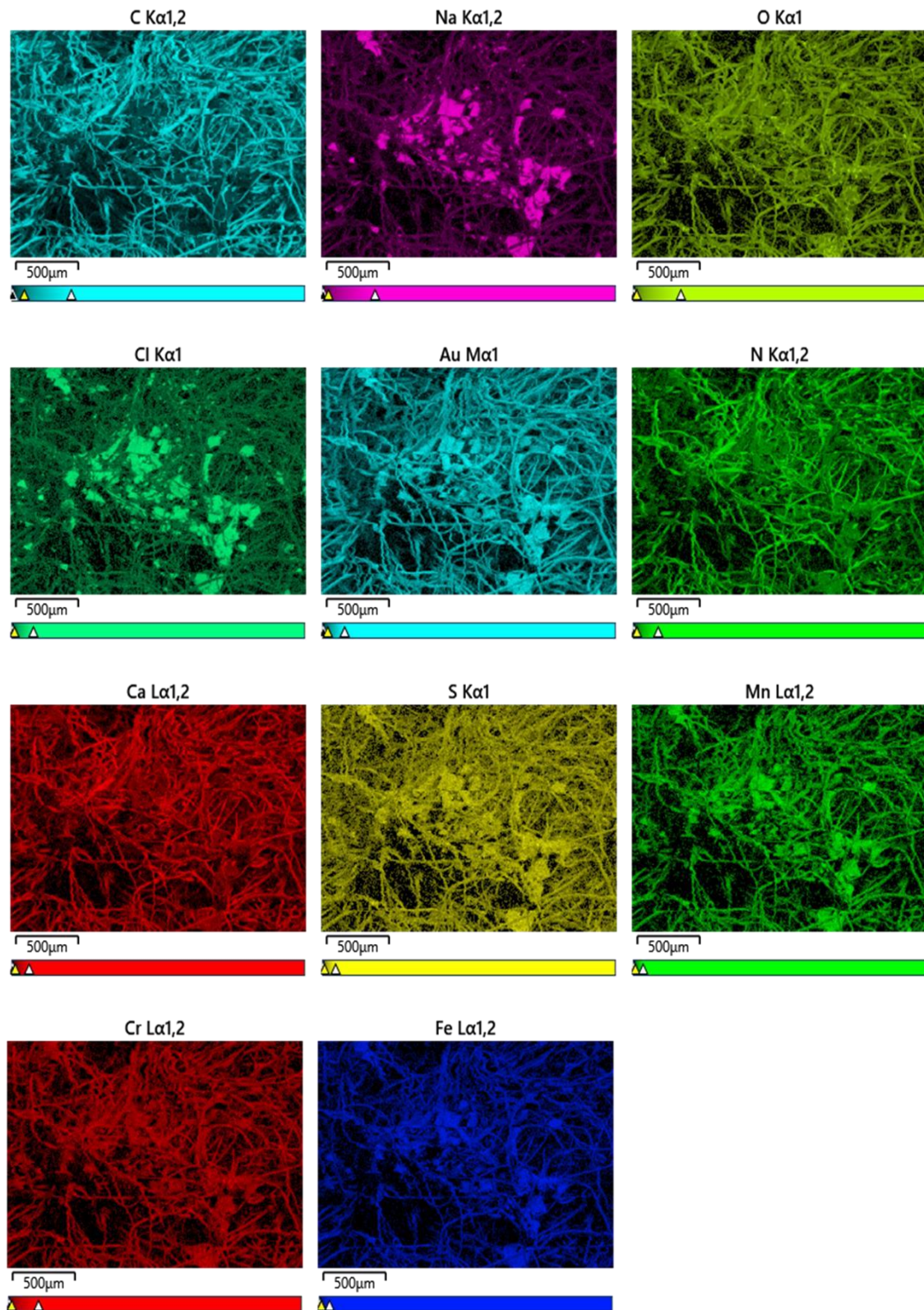
Slika 49. Prikaz strukture himalajske soli (40g soli u 100ml vode) na uvećanju od 60 puta.



Slika 50. Prikaz rezultata himalajske soli (40g soli u 100ml vode) na uvećanju od 330 puta.



Slika 51. Prikaz rezultata mapiranja kemijskih elemenata za himalajske soli (40g soli u 100ml vode).



Slika 52. Kemijski elementi koji su pronađeni prilikom provedbe SEM-a, svi ovi elementi prikazani su na slici 51 kao i odgovarajuće boje radi lakšeg prepoznavanja.

4.RASPRAVA

4.1. USPOREDBA EFIKASNOSTI

- Nakon provedenih ispitivanja, vršila se usporedba između uzoraka slijepa probe i uzoraka bijelog ne-tkanog materijala koji su bili namakani u različitim solima.

- Formula po kojoj je rađena usporedba glasi:

$$\text{Usporedba efikasnosti} = (\text{efikasnost uzorka (morska sol, ninska sol, himalajska sol)}) - (\text{efikasnost slijepa probe})$$

- Vrijednosti usporedbe koje su pozitivne, znači i veću efikasnost u odnosu na slijepu probu, a vrijednosti koje su negativne su anomalije.
- Rezultati su prikazani u niže navedenim tablicama.

Tablica 15. Usporedba efikasnosti slijepa probe i efikasnosti uzorka morske (krupne) soli.

Usporedba efikasnosti (%)				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	1,80%	3,86%	/	3,82%
5 min	15,50%	8,18%	/	9,31%
10 min	15,45%	16,14%	/	-2,03%
15 min	19,74%	20,16%	/	3,3%

Kao što je vidljivo u tablici 15, bijeli ne-tkani materijal namakan u otopinu morske (krupne) soli, najbolju efikasnost pročišćavanja pokazuje za uklanjanje čestica ugljikovog dioksida (CO₂) i isparivih organskih spojeva (TVOC) dok kod lebdećih čestica PM2.5 nismo imali rezultata, kao i kod formaldehida (HCHO). Na 10toj minuti mjerenja dolazi do anomalije gdje je bolji rezultat pokazala slijepa proba nego bijeli netkani materijal s namakanjem u otopinu morske (krupne) soli, pa predlažemo druge uvijete (npr. druga temperatura otopine, duže držati materijal unutar otopine soli, veće koncentracije soli i sl.) prilikom testiranja za PM2.5 čestice i formaldehid.

Tablica 16. Usporedba efikasnosti pročišćavanja slijepe probe i efikasnosti pročišćavanja ninske soli s dodatkom čajevca.

Usporedba efikasnosti (%) :				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	11,03%	0,34%	/	0,50%
5 min	10,90%	3,53%	/	3,13%
10 min	3,60%	27,30%	/	-2,30%
15 min	5,73%	17,15%	4,17%	0,62%

Kao što je vidljivo u tablici 16, bijeli ne-tkani materijal namakan u otopinu ninske soli s dodatkom čajevca, najbolju efikasnost pročišćavanja pokazuje za uklanjanje čestica ugljikovog dioksida (CO₂) i isparivih organskih spojeva (TVOC), dok se kod lebdećih čestica (PM2.5) valjan rezultat dobiva jedno pri 15toj minuti, a kod formaldehida događa se anomalija pri testiranju na 10toj minuti gdje bolju efikasnost pokazuje slijepa proba od bijelog ne-tkanog materijala namakanog u otopinu ninske soli s dodatkom čajevca, pa za formaldehid (HCHO) predložimo mjerenja u drugim uvjetima (viša temperatura otopine, veća masa soli i sl.).

Tablica 17. Usporedba efikasnosti pročišćavanja slijepe probe i efikasnosti pročišćavanja himalajske soli (30 g soli u 100 ml vode).

Usporedba efikasnosti (%) :				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	3,99%	5,59%	/	5,76%
5 min	9,37%	9,03%	1,79%	9,93%
10 min	1,83%	24,98%	-7,14%	2,41%
15 min	2,78%	20,82%	/	3,57%

Kao što je vidljivo u tablici 17, bijeli ne-tkani materijal namakan u otopinu himalajske soli (30g) najbolju efikasnost pročišćavanja pokazuje za uklanjanje čestica ugljikovog dioksida (CO₂), isparivih organskih spojeva (TVOC) i formaldehida (HCHO), dok se kod lebdećih čestica PM2.5 pri 10toj minuti testiranja događa anomalija gdje je bolja efikasnost pročišćavanja slijepe probe od efikasnosti pročišćavanja uzorka D, pa za lebdeće PM2.5 čestice predlažemo druge uvijete za testiranje (viša temperatura otopine, veća masa soli i sl).

Tablica 18. Usporedba efikasnosti pročišćavanja slijepe probe i efikasnosti pročišćavanja himalajske soli (40 g u 100 ml vode).

- Prolongirano vrijeme testiranja na 20 min.

Usporedba pročišćavanja (%)				
VRIJEME	CO ₂ (ppm)	TVOC (mg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	FORMALDEHID (ppm)
0,5 min	/	/	/	/
1 min	21,55%	15,89%	/	16,84%
5 min	31,73%	16,34%	/	17,92%
10 min	23,34%	32,30%	/	12,14%
15 min	25,40%	27,66%	/	10,01%
20 min	11,43%	7,99%	/	7,83%

Kao što je vidljivo u tablici 18, bijeli ne-tkani materijal namakan u otopinu himalajske soli (40 g) najbolju efikasnost pročišćavanja pokazuje za uklanjanje čestica ugljikovog dioksida (CO₂), isparivih organskih čestica (TVOC) i uklanjanje čestica formaldehida (HCHO), dok nije postignut rezultat za lebdeće čestice PM2.5, pa za lebdeće čestice PM2.5 predlažemo druge uvjete testiranja (viša temperatura otopine, veća masa soli).

Iz priloženih rezultata vidljivo je da se najviše anomalija pokazuje prilikom rezultata lebdećih čestica PM2.5, te u rijetkim slučajevima kod formaldehida (HCHO), pa u ovom slučaju predlažemo testiranje u drugim uvjetima kao što su: viša temperatura otopine, bolji uvjeti prilikom namakanja (namakanje izvršiti u nekoj izoliranoj prostoriji), češće uzimanje rezultata (npr. svaki 2 do 3 minute).

Što se tiče same vrste soli, na primjeru ninske soli s čajevcem može se pokušati s većom ili manjom koncentracijom čajevca u soli, dok se kod morske (krupne) soli može pokušati s morskom (sitnom) soli.

Nakon provedenih testiranja sami uzorci koji su korišteni u testiranju su podvrgnuti elektronskom mikroskopu radi analiziranja i mapiranja kemijskih elemenata, kao što je prikazano na slikama (27, 33, 43, 51). Uzet je jedan dio uzorka koji je skeniran i prilikom provedbe EDS-a različiti kemijski elementi su iscrtani različitim bojama kako bih se lakše prepoznalo na slici, tako da je svaki element koji je pronađen za vrijeme analize dobio svoju boju. Iz priloženih slika se može vidjeti da sastav svakog filtera nakon testiranja nije isti. Radi se o različitim solima, a te soli imaju različite i sastojke (navedeni na slikama 6, 7 kao i tablici 3) pa samim time imaju različit afinitet prema određenim spojevima. No nakon našeg testiranja u svim solima je pronađen kisik, kalcij, mangan, ugljik, sumpor, željezo, klor, natrij.

Prilikom provedbe SEM-a slike (19, 20, 25, 26, 33, 34, 41, 42, 49 i 50) daju uvid u samu strukturu ne-tkanog materijala sa soli, kao i kod slijepe probe. Dok je kod same slijepe probe vidljivo kako su niti ne-tkanog materijala raspršeni i zapetljani u svim smjerovima. Vidljivo je da se kristali soli zapetljaju u nepravilnom obliku oko niti ne-tkanog materija, takvo ponašanje se primjećuje kod sva četiri uzorka. Pa se iz priloženog vidi kako je sama struktura neuredno posložena te kako je i sami raspored kristala soli drugačiji iako se radi o istom materijalu. Kod nekih kristali soli izgledaju kao pravilni kvadrati, dok su kod drugih naslagani kao grozd, ali kod svih se primjećuje da kristali soli dolaze u nakupinama i nepravilno raspoređena po cijeloj površini, na jednom mjestu ih ima više dok ih na drugom nema nikako.

Zhao i suradnici²⁰ su u svome radu pronašli da se vlakna s aktivnim ugljikom (ACF) mogu primjenjivati za uklanjanje čestica soli i plinovitih nečistoća u obliku ne-tkanog materijala. Ne-tkani materijal pokazuje puno bolju efikasnost filtriranja u usporedbi s tkanim materijalima, zbog svoje homogene (među vlaknaste) strukture. Nakon uvođenja ugljičnih nano-vlakana, učinak filterskog medija bi se mogao poboljšati zbog njegovog manjeg promjera (nano- razmjera) i ne značajno povećanog pada tlaka. Za hidrofobne materijale, povećanje relativne vlažnosti moglo bi smanjiti učinkovitost filtracije zbog međusobne privlačnosti između kapljica vode i strukture materijala.²⁰

Enea Pagliano i suradnici.²¹ su proveli istraživanje u svibnju 2022.g. kojim su u svome radu *Od morske soli do morske vode: novi pristup proizvodnji vodenih CRM-ova* opisali proizvodnu strategiju za sol u prahu CRM (SALT-1), koja se koristi kao zamjena za pripremu morske vode. Solna matrica je obogaćena hranjivom otopinom koja sadrži fosfat, silikat i nitrat. Visoka razina homogenosti postignuta je pomoću planetarnog kugličnog mlina. Ova je formulacija nudila mnoge prednosti u odnosu na tradicionalne CRM-ove na bazi vode. Proces pripreme bio je jednostavan i ekonomičan te je mogao pridonijeti povećanju proizvodnje/dostupnosti CRM-ova za kontrolu kvalitete prirodnih voda. Za one analite koji ne podliježu oksidativnoj razgradnji, novi format može ponuditi bolju stabilnost, posebno za one analite sklone biološkoj razgradnji. Daljnja prednost novog CRM formata je značajno smanjila njegov volumen skladištenja u odnosu na CRM morske vode: ovo smanjenje volumena pomoglo je smanjiti troškove povezane sa skladištenjem i distribucijom. U budućnosti bi se ova strategija pripreme mogla koristiti za proizvodnju zamjenskih CRM soli za druge analite i za matrice s nižim salinitetom. Osobito bi ovaj novi pristup mogao biti zanimljiv za one analite koje je teško stabilizirati, uključujući mnoge postojeće organske zagađivače i organometalne tvari.²¹

5. ZAKLJUČAK

Svi korišteni filteri u ovom istraživanju pokazali su visoku učinkovitost za pročišćavanje organskih plinova (CO₂, TVOC, PM_{2.5}, FROMALDEHID). U prvih 15 minuta testiranja najbolje rezultate u količini 30g soli/100ml vode, pokazala je otopina s himalajskom soli, s time da je uzorak s morskom (krupnom) soli pokazao dobru efikasnost u otklanjanju ugljikovog dioksida (CO₂).

Himalajska sol (40g u 10ml vode) s višom koncentracijom pokazala je izuzetne vrijednosti i u produženom mjerenju, gdje je uklonila 79,58% ugljikovog dioksida (CO₂), 99,24% isparivih organskih spojeva (TVOC) te 98,96% formaldehida (HCHO).

Himalajska sol (40g u 100ml vode) s višom koncentracijom soli pokazuje višu efikasnost redukcije onečišćujućih čestica (CO₂, TVOC, PM_{2.5}, HCHO) nego isti uzorak s manjom koncentracijom. Što znači da povećanjem koncentracije soli povećava se i efikasnost redukcije onečišćujućih čestica.

Iz SEM analize primjećuje se da se na svim filterima nalaze kemijski elementi koji su zaostali na filterima prilikom provedbe testiranja što potvrđuje samu efikasnost naših filtera.

6. LITERATURA

- [1] *Sang Bin Jeong, Ki Joon Heo, Byung Uk Lee*, Antimicrobial Air Filters Using Natural Sea Salt Particles for Deactivating Airborne Bacterial Particles, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, (2019), 1-8, doi: [10.3390/ijerph17010190](https://doi.org/10.3390/ijerph17010190).
- [2] *Maire S.A. Heikkinen, Mervi K. Hjelmroos-Koski, Max M. Häggblom, Janet M. Macher*, *Bioaerosols*, CRC Press;(2005), 291-293, 302-303, 305, 306-311, doi: [10.1201/9780203493182.ch13](https://doi.org/10.1201/9780203493182.ch13).
- [3] URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bioaerosol> (12.06.2023.).
- [4] *Douwes, J., Eduard, W., Thorne, P. S.*, *Bioaerosols*, *International Encyclopedia of Public Health*, (2008.), str.287–297.
- [5] URL: <https://www.cantiumscientific.com/bioaerosols/> (12.06.2023.).
- [6] *Yukai Ai, Chuji Wang, Yong-Le Pan, Gorden Videen*, Characterization of single fungal aerosol particles in a reactive atmospheric environment using time resolved optical trapping-Raman spectroscopy (OT-RS), *Env.Sc*, **2**, (2022), 591-598, doi: <https://doi.org/10.1039/D2EA00030J>.
- [7] URL: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67451> (14.06.2023.).
- [8] URL: https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Zrak.pdf (14.06.2023.).
- [9] URL: <https://preciscivacivazduha.co.rs/2021/02/01/formaldehid-cemu-sluzi-stetnosti-rizici/> (14.06.2023.).
- [10] *T. Sofilić*, *Zdravlje i okoliš*, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, (2015.), str 22.
- [11] *K. Ružman, I. Smiljanić, M. Stojnić*, Utjecaj gustoće prometa i meteoroloških čimbenika na koncentraciju PM1.0 čestica u zraku, Seminarski rad, Prirodoslovno - matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, (2009.), doi: file:///C:/Users/Pc/Downloads/final_version.pdf.
- [12] *R. van Zelm, M. A. J. Huijbregts, H. A. den Hollander, H. A. van Jaarsveld, F. J. Sauter, J. Struijs, H. J. van Wijnen, D. van de Meent*, European characterization

- factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment, *Atmospheric Environment*, **42**, (2008), 441 – 453, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.072>.
- [13] URL: <https://www.solananin.hr/hr/o-nama/sol/> (16.6.2023).
- [14] *C.R. Bryan, A.W. Knight, R.M. Katona, A.C. Sanchez, E.J. Schindelholz, R.F. Schaller*, Physical and chemical properties of sea salt deliquescent brines as a function of temperature and relative humidity, *Sc. of the Tot Env*, **824**, (2022), 1-8, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154462>.
- [15] *R. Rihan, R. Awwad Shawabkeh, N. Al-Bakr*, Kinetic study of the effect of a mixture of two corrosion inhibitors in reducing the corrosion rate of 1018 carbon steel petroleum pipelines in sea water, *NACE*, **5**, (2012), 3457-3471, doi: https://www.researchgate.net/publication/259218608_Kinetic_study_of_the_effect_of_a_mixture_of_two_corrosion_inhibitors_in_reducing_the_corrosion_rate_of_1018_carbon_steel_petroleum_pipelines_in_sea_water
- [16] URL: <https://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/morskasol> (16.6.2023).
- [17] *Jeong SB, Heo KJ, Lee BU*, Antimicrobial Air Filters Using Natural Sea Salt Particles for Deactivating Airborne Bacterial Particles, *Int J Environ Res Public Health*, 2019 Dec 27;17(1):190, doi: [10.3390/ijerph17010190](https://doi.org/10.3390/ijerph17010190).
- [18] URL: <https://www.jeol.com/products/scientific/sem/JSM7610FPlus.php> (17.10.2023).
- [19] URL: <https://www.quorumtech.com/q150t-turbo-pumped-sputter-coater-carbon-coater/> (17.10.2023).
- [20] *Zhao P, Tatarchuk B*, Filtration of Sea Salt Particles (SSP) Using Composite Media At Different Relative Humidities (RH), *AICHE*, (2013), 4-8, doi: <https://www.researchgate.net/publication/274389603>.
- [21] *Pagliano E, Nadeau K, Mihai O, Pihillagawa Gedara I, Mester Z. Mester*, From sea salt to seawater: a novel approach for the production of water CRMs, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **414**, (2022), 4745–4756, doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04098-0>.

