

# Primjena geotehničkog inženjerstva kod sanacije onečišćenih lokacija - studija slučaja

---

Ljubić, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:614976>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO–GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij rudarstva

PRIMJENA GEOTEHNIČKOG INŽENJERSTVA KOD SANACIJE ONEČIŠĆENIH  
LOKACIJA – STUDIJA SLUČAJA

Završni rad

Ana Ljubić

R4431

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/83  
URBROJ: 251-70-11-23-2  
U Zagrebu, 04.09.23

Ana Ljubić, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/83, URBROJ: 251-70-11-23-1 od 13.06.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### PRIMJENA GEOTEHNIČKOG INŽENJERSTVA KOD SANACIJE ONEČIŠĆENIH LOKACIJA – STUDIJA SLUČAJA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof.dr.sc. Biljana Kovačević Zelić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

(potpis)

Prof.dr.sc. Biljana Kovačević  
Zelić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

PRIMJENA GEOTEHNIČKOG INŽENJERSTVA KOD SANACIJE ONEČIŠĆENIH LOKACIJA-  
STUDIJA SLUČAJA

Ana Ljubić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Tijekom stoljetne industrijske tradicije na području gradske četvrti Crnica u Šibeniku postojale su tvornice karbida i umjetnih gnojiva, vapnara, proizvodnje feromangana i silikomangana te proizvodnje elektroda i ferolegura. Nakon zatvaranja tvornice postupak sanacije obuhvaćao je: rušenja građevnih objekata, zbrinjavanje opasnog i neopasnog otpada i sanaciju kontaminiranog tla na lokaciji te zbrinjavanje troske. Sanacija područja bivše tvornice nikada nije obavljena u cijelosti, jer je troska samo većim dijelom premještena na zemljište u Biljane Donje. Samo je dio silikomanganske troske ispitan radi eventualne uporabe u proizvodnji betona i asfalta. Gradska plaža Banj, na području bivše tvornice, otvorena je 17. lipnja 2012. godine, nakon što se ispitivanjima pokazalo da je područje sigurno za takvu namjenu. Naknadno je izrađen projekt Batižele koji bi trebao omogućiti Šibeniku potpunu sanaciju prostora bivše tvornice te njegovu svrhovitu prenamjenu obzirom da se radi o prostoru u neposrednoj blizini centra grada. U radu su kronološki prikazana provedena istraživanja i prijedlozi sanacije s kritičkim osvrtom na provedene postupke i prijedlozima za poboljšanje.

Ključne riječi: onečišćena lokacija, troska, sanacija, zbrinjavanje otpada

Završni rad sadrži: 30 stranice, 9 slika, 18 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Biljana Kovačević Zelić, redovita profesorica u trajnom zvanju RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Biljana Kovačević Zelić, redovita profesorica u trajnom zvanju RGNF

Dr. sc. Helena Vučenović, docentica RGNF

Dr. sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 08.09.2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 2. TROSKA .....  | 4  |
| 2.1. Troska iz električnih peći .....  | 4  |
| 3. REGULATORMI PRISTUP GOSPODARENJU OTPADOM I SANACIJI<br>ONEČIŠĆENIH LOKACIJA ..... | 6  |
| 4. PROVEDENA SANACIJA PODRUČJA BIVŠE TVORNICE ELEKTRODA I<br>FEROLEGURA .....        | 8  |
| 5. TROSKA NA LOKACIJI BILJANI DONJI .....  | 11 |
| 6. UBORABA SILIKOMANGANSKE TROSKE ZA PROIZVODNJU ASFALTA I<br>BETONA .....           | 12 |
| 6.1. Ispitivanje silikomanganske troske .....  | 12 |
| 7. ELABORAT STANJA OKOLIŠA U SVRHU IZGRADNJE PLAŽE .....                             | 15 |
| 7.1. Metali u morskoj vodi .....   | 15 |
| 7.2. Metali u sedimentu .....  | 16 |
| 7.3. Radioaktivnost sedimenta i tla .....  | 16 |
| 7.4. Životne zajednice morskog dna .....   | 17 |
| 7.5. Otvaranje plaže .....   | 18 |
| 8. IDEJNI PROJEKAT BATIŽELE .....  | 19 |
| 9. BROWNFIELD LOKACIJA .....   | 20 |
| 10. ZAKLJUČAK .....  | 22 |
| 11. LITERATURA .....   | 24 |

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| <b>Slika 1-1.</b> Tvornica elektroda i ferolegura (Izvor: Hrvatska tehnička enciklopedija).....  | 2  |
| <b>Slika 2-1.</b> Izlijevanje troske (Izvor: Hourstrong) .....                                   | 5  |
| <b>Slika 4-1.</b> Početak sanacije troske (Izvor: Šibenski portal) .....                         | 8  |
| <b>Slika 4-2.</b> Prostor bivše tvornice (Izvor: Službene stranice grada Šibenik).....           | 10 |
| <b>Slika 5-1.</b> Odlagalište Biljani Donji (Izvor: Portal Novosti) .....                        | 11 |
| <b>Slika 6-1.</b> Silikomanganska troska (Izvor: Građevinar 63 (2011) 5, 441-447).....           | 12 |
| <b>Slika 7-1.</b> Plaža Banj (Izvor: Službene stranice grada Šibenika).....                      | 15 |
| <b>Slika 7-2.</b> Plaža Banj (Izvor: Turistička zajednica grada Šibenika).....                   | 18 |
| <b>Slika 8-1.</b> Blizina bivše tvornice i centra Šibenika (Izvor: Nikša Stipaničev/ CROPIX) ... | 19 |

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

| Oznaka | Jedinica          | Opis     |
|--------|-------------------|----------|
| $L$    | m                 | duljina  |
| $A$    | m <sup>2</sup>    | površina |
| $\rho$ | kg/m <sup>3</sup> | gustoća  |

## 1. UVOD

Tvornica elektroda i ferolegura (TEF) bivša je tvornica na području grada Šibenika. Zemljište se prostire na površini od 274.000 m<sup>2</sup> i nalazi se svega 500 m zračne linije od gradske jezgre te je cijelom dužinom u dodiru s morem. Prostor Tvornice elektroda i ferolegura označen je u prostornim planovima kao mješovita višenamjenska zona, što omogućava njegovu višestruku namjenu.

Društvo „Società anonima per l' utillizzazione delle forze idrauliche della Dalmazia“, skraćeno SUFID, otkupljuje 1900-tih godina zemljište na području današnje Crnice, gradske četvrti Šibenika. Tada počinje izgradnja tvornice karbida i umjetnih gnojiva, koja je započela s radom u travnju 1903. godine. Tvrtka „Ante Šupuk i sin“ kao vlasnik koncesije za korištenje vode na Krki davala je SUFID-u na korištenje dio protoka vode. S obzirom na to da je tvornica bila u stalnom razvoju, SUFID je izgradio novu hidrocentralu na rijeci Krki. Tvrtka „Batitigelli i Rossi“ godine 1914. otvara vapnaru odmah uz SUFID-ovu tvornicu karbida, koja je dnevno proizvodila od 8.000 do 15.000 kg vapna. Tvornica je tijekom Prvog svjetskog rata prestala s radom (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022; Šprljan, 2014; Institut Ruđer Bošković, 2011).

Društvo „La Dalmatienne“ 1929. godine preuzima tvornicu SUFID i započinje s proizvodnjom feromangana i silikomangana. Nakon Drugog svjetskog rata tvornica je obnovljena i započinje proizvodnja elektroda i ferolegura. Tijekom 1948. godine počinje se s proizvodnjom afiniranih feromangana, feromolibdena, silikozrcalovina i manganskih zrcalovina. Također, pokreće se proizvodnja amorfnih elektroda, antracitne mase te petrolne i zaštitne mase. Do razvoja tvornice dolazi gradnjom novog pogona opremljenog električnim pećima. Nekoliko godina poslije, s radom počinje pogon za pripremu sirovina s uređajem za sinteriranje i postrojenjem za drobljenje ferolegura. Uređuje se obala u sklopu tvornice kao mjesto za prijem i utovar sirovina na brodove. Tvornica elektroda i ferolegura najviše je izvozila anodne mase za proizvodnju aluminija, amorfne elektrode te elektrografite (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022; Šprljan, 2014; Institut Ruđer Bošković, 2011).

Tvornica elektroda i ferolegura, prikazana na slici 1-1., bila je u pogonu sve do 10. srpnja 1996. godine kada su srušena četiri dimnjaka tvornice. Time prestaje dugogodišnja proizvodnja, koja je obilježila Šibenik kao grad crne metalurgije.



Odluku o zatvaranju Tvornice elektroda i ferolegura donijela je Vlada Republike Hrvatske. HEP d.d. bio je zadužen od strane Vlade Republike Hrvatske za provođenje programa zatvaranja koji se u prvoj fazi isključivo bavio zbrinjavanjem radnika. Grad Šibenik nakon prve faze zatvaranja uz Vladu Republike Hrvatske postaje glavni akter u sanaciji zemljišta tvornice i postaje vlasnik TEF-a d.d. i cijelog zemljišta tvornice. Sanacija lokacije započela je 1999. godine i trajala je oko dvije godine, a prvotno je obuhvaćala rušenje svih građevinskih objekata tvornice. Međutim, sanacija osim rušenja objekata nije obuhvaćala i sanaciju zemljišta. Kada je tvornica prestala s radom, prestalo je zagađenje zraka, koje je TEF godinama uzrokovao. Međutim, ekološka sanacija zemljišta na prostoru bivše tvornice na kojem su bili ostatci katrana, feromanganske i silikomanganske troske, grafitnih elektroda, fenolnih ostataka, recikliranih separiranih granulata i drugih potencijalno štetnih ostataka nije u potpunosti provedena. Otpadni ostatci prema stručnim analizama svrstani su u opasni i neopasni otpad. Prema podacima iz dokumenta pod nazivom „Predinvesticijske studije za poduzeće TEF d.d.“ (2010) iskop površinskog sloja materijala je obavljen te preostaje zbrinjavanje opasnog i neopasnog otpada sa prostora bivše tvornice (Poljičak, 2014).



**Slika 1-1.** Tvornica elektroda i ferolegura (Izvor: Hrvatska tehnička enciklopedija)

Unatoč svemu rečenom, na području od 12.000 m<sup>2</sup> bivše tvornice 17. lipnja 2012. godine otvorena je gradska plaža Banj, iako niti nakon gotovo dvadeset godina od zatvaranja tvornice, još uvijek nije u potpunosti sanirano područje bivše tvornice.

U ovom radu najprije će biti objašnjeni štetni utjecaji koje troska ima na okoliš, te prikazani mogući načini zbrinjavanja i gospodarenja takvim otpadom. Svrha završnog rada je predložiti potencijalno rješenje zbrinjavanja ili iskorištenja zaostale troske na područjima Šibenika i Biljana Donjih te pokazati kako iskoristiti puni potencijal područja njegovim čišćenjem i prenamjenom.

## 2. TROSKA

Troska nastaje prilikom metalurških procesa kao nusproizvod pri procesima spaljivanja. Trosku čine onečišćenja u rudama, spaljivanim materijalima ili metalima. Tijekom procesa taljenja rastaljeni metal ostaje čist uz pomoć troske koja se nalazi na površini koja ga štiti od redukcijskog djelovanja atmosfere ili oksidacije. Pri proizvodnji čelika i sirovog željeza, troska nastaje međudjelovanjem vatrostalnog materijala kojim je obložena unutrašnjost peći i talina. Također, nastaje u procesu rafinacije taline uz dodatak smjesa različitih oksida i nemetalnih dodataka. Postoji željezna troska koja uključuje čeličnu i trosku iz visokih peći, troska nastala u spalionicama krutog otpada, neželjena troska pri proizvodnji lakih i obojenih metala te troska nastala u termoenergetskim postrojenjima (Sofilić, 2010). Na području Tvornice elektroda i ferolegura nalazi se silikomanganska i feromanganska troska, koju svrstavamo pod željeznu trosku.

U prošlosti uz onečišćenja vode i zraka, metalurška postrojenja bila su veliki izvor onečišćenja tla. Na vlastitim neuređenim odlagalištima u blizini tvornica odlagani su brojni opasni i neopasni otpadni proizvodi. Neobrađena troska, lebdeće čestice iz električnih peći, različiti muljevi, iskorišteni vatrostalni materijal, samo su neki od najčešćih otpadnih proizvoda (Selanec, 2015).

### *2.1. Troska iz električnih peći*

Troska iz električnih peći sastoji se od složenih oksidnih komponenti čiji kemijski sastav ovisi o vrsti i količini materijala koji su korišteni pri izradi talina, kvaliteti čelika te količini i vrsti dodanih legura. U procesu proizvodnje čelika u električnim pećima nastaje nekoliko vrsta troske koje su primarno sastavljene od oksida aluminija, kalcija, mangana, silicija, željeza, magnezija i drugih. Mineraloški sastav troske iz električnih peći ovisi o procesu proizvodnje čelika. Kvaliteta proizvedenog čelika, nemetalni dodaci, upotrebene količine i vrste ferolegura, količina dodanog kisika, temperatura peći i način odvajanja troske neki su od parametara koji utječu na sastav troske. Crnom troskom nazivaju se još čelične troske iz procesa proizvodnje nelegiranih čelika. Prema svom mineraloškom sastavu čine mješavinu oksida relativno složenog kemijskog sastava, najčešće okside željeza i kalcija te okside silicija, aluminija i magnezija (Selanec, 2015).

S ciljem očuvanja i zaštite okoliša deponijski koncept odlaganja troske je neprihvatljiv. Stoga zbrinjavanje troske zahtijeva potpunu sanaciju tvorničkih odlagališta ili bilo kojih odlagališta na tlu. Preduvjet gospodarenja troskom je razvrstavanje troske na otpadnu i korisnu komponentu (nusproizvod), čime se smanjuje količina proizvedenog otpada i samim time površina koju taj otpad zauzima na odlagalištima. Nusproizvod se koristi u različitim industrijskim granama te se tako potiče održivi razvoj u industrijama smanjenjem potrošnje prirodnih materijala i energije. Održivi razvoj potiče smanjenje eksploatacije mineralnih sirovina potrebnih za razne industrije. Troska nastala proizvodnjom čelika i željeza predstavlja važan alternativni izvor kao zamjena mineralnih sirovina u gospodarstvu i industriji (Selanec, 2015).

Odlaganje troske iz električnih peći provodi se na način da se troska iz peći izlijeva u lonac s vatrostalnom oblogom te se vozilima ili vagonima prevozi do mjesta gdje se izlijeva i zatim hladi. Troska se najčešće izlijeva na betonirane površine ili bazene gdje se hladi na zraku ili ubrzanim putem hlađenja vodom, što vidimo na slici 2-1.



**Slika 2-1.** Izlivanje troske (Izvor: Hourstrong)

### 3. REGULATORNI PRISTUP GOSPODARENJU OTPADOM I SANACIJI ONEČIŠĆENIH LOKACIJA

Sukladno *Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21)* postupak gospodarenja otpadom mora se provoditi bez ugrožavanja zdravlja ljudi te bez štetnih djelovanja na okoliš. Treba izbjegavati rizik od onečišćenja zraka, vode, mora i tla te ugrožavanja biološke raznolikosti. Također, potrebno je izbjegavanje širenja neugodnih mirisa i buke, štetnog utjecaja na krajobraz te sprječavanje nastanka požara ili eksplozija. Europske norme propisuju načela zaštite okoliša, a neka od njih su „načelo onečišćivač plaća“, „načelo blizine“, „načelo samodostatnosti“ i „načelo sljeditivosti“. Prvo načelo govori da proizvođač otpada treba snositi troškove gospodarenja otpadom te same sanacije. Drugo načelo govori da se obrada otpada treba odvijati u blizini mjesta nastanka otpada. Treće načelo govori da gospodarenje otpadom treba imati neovisno ostvarenje propisanih ciljeva. Zadnje načelo utvrđuje porijeklo otpada i daljnu obradu. Plan gospodarenja otpadom mora sadržavati sprječavanje nastanka otpada, ponovnu uporabu, recikliranje, energetska oporabu te zbrinjavanje.

Sukladno *Pravilniku o građevnom otpadu i otpadu koji sadrži azbest (NN 69/16)*, mjere pri uklanjanju građevina moraju osigurati izdvajanje materijala i tvari, uključujući i građevne proizvode koji nisu otpad. Zabranjeno je opasni građevni otpad miješati s komunalnim otpadom ili s drugom vrstom materijala koji nema status otpada. Potrebno je onemogućiti istjecanje oborinskih voda koje su došle u doticaj s opasnim otpadom u vode, podzemne vode, more i tlo. Treba odrediti način izvedbe radova kako bi količina miješanog građevnog otpada bila što manja te kako bi se nastali otpad mogao pripremiti za ponovno korištenje.

Prema članku 112. *Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21)*, sanaciju onečišćene lokacije utvrđenu Planom gospodarenja otpadom Republike Hrvatske osigurava Republika Hrvatska te ima pravo na naknadu svih troškova izvršene sanacije. Odlukom o sanaciji određuju se mjere i aktivnosti sanacije ili prestanak iste. Prema članku 7. *Pravilnika o gospodarenju otpadom iz rudarske industrije (NN 22/19)*, sanacija tla uključuje postupak obrade onečišćenog tla. Cilj je dovođenje tla u zadovoljavajuće stanje vezano za kvalitetu tla, vodenog sustava, prirodnih staništa, zaštite divljih životinja, krajolika i prikladnog korištenja tla.

Prema članku 19. *Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21)* posjednik otpada dužan je odrediti porijeklo i mjesto nastanka otpada, grupu, podgrupu i ključni broj otpada te svojstva

otpada. Prema članku 149. *Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21)*, ako inspektor zaštite okoliša utvrdi da se odlaže otpad neprihvatljiv za odlaganje na odlagalište, da se odlaže otpad bez karakterizacije otpada te da rezultati eluata nisu u skladu sa propisanim vrijednostima, zabranjuje zbrinjavanje otpada na toj lokaciji.

#### 4. PROVEDENA SANACIJA PODRUČJA BIVŠE TVORNICE ELEKTRODA I FEROLEGURA

Nakon zatvaranja Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku, na lokaciji su ostavljene različite vrste otpada, kao što su fenolni ostatci, otpadne grafitne elektrode, feromanganska i silikomanganska troska, katran, reciklirani odvojeni granulati i drugi. Sanacija lokacije odvijala se u tri neovisna segmenta. Rušenje građevinskih objekata odvijalo se od 1999. do 2002. godine. Druga faza bila je ekološka sanacija terena, koja se sastojala od uklanjanja opasnog i neopasnog otpada te sanacije kontaminiranog tla. Zadnja faza bila je sanacija otpadne troske. Na slici 4-1. vidimo početak sanacije troske s područja bivše tvornice.



Slika 4-1. Početak sanacije troske (Izvor: Šibenski portal)

Postupak sanacije silikomanganske troske zaostale u procesu proizvodnje ferolegura započeo je 2005. godine. Postupak sanacije obuhvaćao je razdvajanje korisnog i nekorisnog dijela mehaničkim mljevenjem troske. Od ukupne mase, korisni dio čini tek 5-6 % koji je u cijelosti otpremljen s prostora bivše tvornice, dok je ostatak mase ostao na području bivše tvornice (Batižele d.o.o., 2021).

Sanacija fenola i katrana 2008. godine predviđena je postupkom solidifikacije. Primarni radovi iskopa i mljevenja materijala koji prethode postupku solidifikacije su obavljeni. Solidifikacija je postupak dobivanja krutih tvari dodavanjem veziva. Nakon što su radovi solidifikacije zabranjeni, druga je tvrtka preuzela dovršetak pripreme na način da je trebala razdvojiti frakcije materijala različitog stupnja kontaminacije (Batižele d.o.o., 2021).

Sanacija kontaminiranog tla izvršena je prema *Programu sanacije okoliša na području bivše tvornice TEF u Šibeniku* iz siječnja 2007. i *Dodatka Programu sanacije okoliša na području bivše tvornice TEF u Šibeniku* iz prosinca 2009. godine. Tim dokumentima postavljene su granične vrijednosti od 5000 mg/kg mineralnih ugljikovodika i 100 mg PAH/kg (policiklički aromatski ugljikovodici). Krajem 2012. godine opasni otpad s preko više od 1000 mg PAH/kg odvezen je na toplinsku obradu. Rezultati naknadnog ispitivanja površinskog sloja tla na područjima prethodne kontaminacije su pokazali da postoje još tri točke kontaminiranog tla koje prelaze dozvoljene vrijednosti PAH-a. Sukladno *Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada na odlagalištima* (NN 117/07, 111/11, 17/13, 62/13) napravljena je kategorizacija kontaminiranog tla, koja je pokazala većinu ispitanih uzoraka tla kao neopasan otpad koji se može odložiti na odlagališta za neopasan otpad. Međutim, uzorci tla u blizini katranske jame, prostor između glavne asfaltirane ceste i mora su zbog povišene količine sadržaja ukupnog organskog ugljika (total organic carbon – TOC) klasificirani kao tlo i kameni nabačaj koji sadrži opasne tvari. Grad Šibenik 2017. godine naručio je dodatne analize koje su provedene u svibnju 2018. godine. Tijekom istraživanja analizirane su četiri lokacije: područje unutar nove komorske peći, područje između stare i nove komorske peći, katranska jama i lokacija u blizini katranske jame te područje između glavne ceste i mora. Rezultati istraživanja pokazali su da je na dvije od četiri lokacije razina PAH-a povišena. Na lokaciji katranske jame i područja u blizini katranske jame vidljiva je kontaminacija katranom i visoke koncentracije PAH-a, gotovo 3000 mg PAH/kg. Sukladno *Dodatku Programa sanacije*, koncentracije iznad 1000 mg PAH zahtijevaju toplinsku obradu prilikom odlaganja. Prema analizama područje između stare i nove komorske peći sadržavalo je kontaminirani PAH na dubini od 1 m, dok je na dubini od 1,6 m koncentracija PAH-a bila ispod 1 mg/kg. Na lokaciji između mora i glavne ceste rezultati analiza pokazali su da prostor nije kontaminiran PAH-om, ali zbog dugogodišnjeg odlaganja starih bačvi koje su bile ispunjene katranom i troske ovo područje treba smatrati potencijalno kontaminiranim. Područje unutar nove komorske peći rezultatima provedenih analiza smatra se očišćenim. Sukladno dobivenim rezultatima prethodna sanacija nije obavljena u potpunosti što je vidljivo na slici 4-2. i potrebno je ukloniti kontaminirano tlo, ukloniti betonsku strukturu s katranske jame, provesti istraživanje iskopanog materijala i ispitivanje koncentracije PAH-a.





**Slika 4-2.** Prostor bivše tvornice (Izvor: Službene stranice grada Šibenik)

U skladu s rezultatima istraživanja, otpad treba predati ovlaštenom sakupljaču na daljnje analize ili odlaganje na odlagalištu neopasnog otpada te na kraju provesti kontrolne analize preostalog tla na lokaciji. U budućnosti, ukoliko se pojavi bilo kakvo onečišćenje, vlasnik zemljišta ima odgovornost provođenja i financiranja dodatnih sanacija (ARUP, 2020a, 2020b i 2020c).

## 5. TROSKA NA LOKACIJI BILJANI DONJI

Oko 140.000 tona silikomanganske i feromanganske troske s područja bivše Tvornice elektroda i ferolegura pohranjeno je od svibnja 2010. do veljače 2011. godine na zemljište u Biljanima Donjim, prikazano na slici 5-1. Europska komisija je 2013. godine zaprimila pritužbe o crnom brdu troske koji se nalazi svega 50-ak metara od kuća u Biljanima Donjim te je 2014. godine uputila prigovor Republici Hrvatskoj o mogućem lošem gospodarenju otpadom. Europska komisija je još u nekoliko navrata pozivala Republiku Hrvatsku preko Europskog suda na što ranije zatvaranje i saniranje odlagališta u Biljanima Donjim zbog potencijalnog rizika za okoliš i zdravlje čovjeka.



Slika 5-1. Odlagalište Biljani Donji (Izvor: Portal Novosti)

Republika Hrvatska ustupila je, bez naknada MORH-u, 140.000 tona troske vrijednosti 2,471 milijuna kuna (328 tisuća eura) za nasipavanje nekretnina u državnom vlasništvu. Međutim, MORH nikada nije preuzeo spomenutu trosku. Istovremeno, tvrtka koja je ranije bila uključena u čišćenje lokacije nastavila je nezakonito gospodariti troskom, radi čega je došlo i do sudskog spora jer je tvrtka nezakonito prisvojila 11.158,44 tona mineralne sirovine u vlasništvu Republike Hrvatske. Veći dio te troske tvrtka je prodala drugim gospodarskim subjektima za izgradnju odlagališta otpada Bikarac u Šibeniku. Tijekom sudskog postupka Republika Hrvatska postala je ponovo vlasnikom odlagališta troske u Biljanima Donjim. Od tada do danas još uvijek nije ništa poduzeto kako bi se područje odlagališta saniralo.

## 6. UBORABA SILIKOMANGANSKE TROSKE ZA PROIZVODNJU ASFALTA I BETONA

Drobljena silikomanganska troska plave je ili svijetlozelene do tamnozeleno boje što je vidljivo na slici 6-1., a nakon oksidacije mangana na površini poprima sivo-crnu boju zbog koje je šibenska četvrt u blizini Tvornice elektroda i ferolegura dobila ime „Crnica“ (Jadrijević i dr., 2010).



**Slika 6-1.** Silikomanganska troska (Izvor: Građevinar 63 (2011) 5, 441-447)

Engleska tvrtka u suradnji s tvrtkom iz Hrvatske odlučila je eksploatirati i izdvajati preostali mangan nakon što je 2007. godine utvrđeno da troska sadrži 5-15% manganskih legura. Troska se drobila u primarnim čeljusnim drobilicama do maksimalne veličine zrna 150 mm, zatim u konusnim drobilicama na granulaciju od 0/25 mm. Taj materijal mokrom se separacijom odvajao u dvije klase od 0/5 i 5/25 mm, a fine čestice su odvojene metodom taloženja. Zrna manganskih legura i mangana imaju veću gustoću, pa se zbog toga koristila metoda taloženja u vodi kroz specijalne rešetke čime se odvajala ostala masa. Klasa 5/25 mm koristila se kao sirovina za proizvodnju frakcioniranog agregata za beton i asfalt. Novo postrojenje potrebno je da bi se iz sitnijih klasa 0/5 mm izdvojio preostali mangan (Jadrijević i dr., 2010).

### **6.1. Ispitivanje silikomanganske troske**

Od 2008. do 2010. godine ispitivana su mineraloška, kemijska, fizikalno-mehanička i radiološka svojstva drobljenog agregata i njegov utjecaj na okoliš. Europske norme dopuštaju primjenu industrijskih agregata, ali se silikomanganska troska ne spominje izričito u normi (Jadrijević i dr., 2010).

Istraživanja fizikalno-mehaničkih svojstava provedena su u Centralnom laboratoriju CSS-a u Zagrebu prema normama EN 13043 i EN 12620. Drobljenjem i separacijom dobivene su klase silikomanganske troske od 16/22, 11/16, 8/11, 4/8, i 0/4 mm. Oblik krupnog zrna definiran je određivanjem indeksa oblika zrna i indeksa plosnatosti, a agregat 0/4 mm metodom ispitivanja protoka agregata kroz standardni lijevak. Silikomanganska troska ima vrlo malu poroznost. Gustoće agregata variraju od 2,94 do 3,00 Mg/m<sup>3</sup> što znači da pripadaju skupini agregata uobičajene gustoće. Skupljanje silikomanganske troske zasićene vodom uslijed sušenja ispitano je prema normi EN 1367-4 te iznosi 0,02 % što je manje od dopuštenih <0,075 % za beton. Vrijednosti ispitivanja otpornosti troske na drobljenje su između 15 i 16% mase, što zadovoljava propise o habajućem sloju asfalta u cestogradnji (Jadrijević i dr., 2010).

Silikomanganska troska sastoji se od raspršenih čestica mangana, staklaste silikatne tvari i različitih nanokristaliničnih do mikrokristaliničnih faza koje nastaju reakcijom u taljevinama ili nadnadnom rekristalizacijom. Legure željeza, silicija i mangana nalaze se u iskopanoj troski među kojima prevladava ferosilikomangan. Mehaničkim postupcima legure mangana većim su dijelom izdvojene. U silikomanganskoj troski kemijskim analizama prema HRN EN 1744-3 određene su prosječne količine oksida: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15,3 %), CaO (8,3 %), Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15,6 %) i SiO<sub>2</sub> (34,3 %) ukupno iznose 73,5 % mase, a u tragovima ima MgO (5,1 %), Na<sub>2</sub>O (0,6 %), TiO<sub>2</sub> (0,7%), K<sub>2</sub>O (1,9 %) i Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,1 %). Do povećanja volumena asfalta i betona pod utjecajem troske može doći uslijed alkalno-silikatne reakcije nekristalizirane staklaste osnove s alkalijama iz cementa ili naknadne hidratacije reaktivnih oksida. Ispitivanjem silikomanganske troske zabilježeno je povećanje volumena od 0,5 do 1,8 vol. %, što je povoljno za asfalt. Silikomanganska troska sadrži amorfne silikatne tvari u kojima su raspršene čestice sintetskih minerala i mangana. Ispitivanje je trebalo pokazati da čestice iz troske neće reagirati s Na<sub>2</sub>O i K<sub>2</sub>O i time stvoriti alkalno-silikatnu reakciju koja bi dovela do povećanja volumena betona. Rezultati ispitivanja prema metodi ASTM C 1260-94 potvrdili su da nije došlo do alkalno-silikatne reakcije (Jadrijević i dr., 2010).

Preko višekanalnog gama-spektrometra mjerene su koncentracije aktivnosti radioaktivnih elemenata u uzorku agregata, kalija, torija, radija, umjetnih radionuklida i urana. Za radioaktivnost i ionizirajuće zračenje građevinskih materijala u Hrvatskoj postoje pravilnici i propisane norme ( $\leq 3000$  Bq/kg za kalij,  $\leq 200$  Bq/kg za torij,  $\leq 300$  Bq za radij). S obzirom na to da se manganska ruda dopremala iz različitih zemalja rezultati su neizjednačeni što je pokazalo da neki uzorci prelaze propisane norme, ali je miješani agregat u cjelini zadovoljio

propisane uvjete. Analize oslobađanja teških metala provedene su na eluatima koji su dobiveni nakon izluživanja agregata. Prema HRN EN 1744-3 provedene su analize fluorescencijom X-zraka pomoću spektrometra, a prema DIN-u 38414-4 provedena je analiza eluata tekućom i plinskom kromatografijom i spektrometrijom mase. Navode kako su rezultati provedene analize pokazale da su količine teških metala manje od graničnih vrijednosti bez prikaza analizom dobivenih podataka (Jadrijević i dr., 2010).

Na eluatima je ispitano oslobađanje sulfata, fluorida, fenola, otopljenog organskog ugljika te klorida. Ispitana je prisutnost aromatskih ugljikovodika, totalnog organskog ugljika, mineralnih ulja i drugih. Analizom ispitivanja navode kako su količine štetnih tvari koje mogu imati utjecaj na okoliš u skladu s graničnim normama, bez prikaza izmjerenih podataka i usporedbe s propisanim vrijednostima. Uzorci asfalta izrađeni uz uporabu troske ispitani su na klizavost prema normi HRN EN 12697-43 i HRN EN 1097-8. Ispitivanja su pokazala da je silikomanganska troska povoljna za izradu asfalta te su je primijenili za izradu ceste Vinjani Donji-Vinjani Gornji. Prema rezultatima analiza, silikomanganska troska pokazala se kao dobar agregat za primjenu kod izrade asfalta i betona koji nema negativni utjecaj na okoliš (Jadrijević i dr., 2010).

## 7. ELABORAT STANJA OKOLIŠA U SVRHU IZGRADNJE PLAŽE

Na području jugoistočnog dijela terena od 12.000 m<sup>2</sup> bivše tvornice 17. lipnja 2012. godine otvorena je gradska plaža Banj koja je prikazana na slici 7-1. Institut Ruđer Bošković 2011. godine dobio je projektni zadatak izrade elaborata stanja okoliša područja namijenjenog budućoj plaži. Elaborat sadržava kemijsku analizu koncentracija metala u morskoj vodi, geokemijsku analizu masenih udjela metala u sedimentu morskog dna, analizu radioaktivnosti tla i sedimenta te popis životnih zajednica morskog dna (Institut Ruđer Bošković, 2011).



Slika 7-1. Plaža Banj (Izvor: Službene stranice grada Šibenika)

### 7.1. Metali u morskoj vodi

Važan čimbenik morskog okoliša su metali o kojima ovisi bioraznolikost morskog ekosustava jer imaju važnu ulogu u fiziološkom funkcioniranju živih organizama te reguliranju biokemijskih procesa. S druge strane, ako su metali prisutni u većim koncentracijama, mogu imati toksične utjecaje na živa bića unutar morskog ekosustava, a samim time i čovjeka. Tijekom autonomnog ronjenja obavljeno je manualno uzorkovanje vode za analizu metala u tragovima (Cu, Cd, Ni, Hg, Pb, Co i Zn). Dobivene koncentracije metala su na razini koncentracije na Martinskoj koja se nalazi nedaleko od lokacije ispitivanja izvan zone potencijalnog onečišćenja. Prema uredbi o opasnim tvarima u vodama

(NN 137/08) izmjerene koncentracije metala u morskoj vodi ne predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje (Institut Ruđer Bošković, 2011).

### ***7.2. Metali u sedimentu***

U morskom sedimentu možemo lako pratiti zagađenja u morskom okolišu jer se u sedimentu akumuliraju zagađenja i s organskim tvarima tvore različite komplekse. Do sekundarnog zagađenja dolazi kad metali iz sedimenta prijeđu u vodenu fazu uslijed fizikalno-kemijskih procesa. Do pojačane akumulacije onečišćujuće tvari u sedimentu dolazi kod zatvorenih ili poluzatvorenih akvatorija jer je energija vode niža i lakše dolazi do sedimentacije te je izmjena vode ograničena. Šibenski kanal u kojem se nalazi područje istraživanja predstavlja poluzatvoreni akvatorij. Za određivanje kemijskog sastava sedimenta napravljena je geokemijska analiza ukupnog morskog sedimenta. Za potrebe ispitivanja izdvojeno je devet ekotoksičnih metala, neki su izabrani zbog toksičnosti (Hg, Cr, Pb i Cu), a drugi zbog očekivane prisutnosti (Fe i Mn) uslijed odlaganja otpadne troske. Na pet lokacija uz obalu bivše tvornice uz pomoć autonomnog ronjena uzorkovan je sediment ručnim uzorkivačem. Obavljene geokemijske analize pokazuju da su maseni udjeli ekotoksičnih metala u sedimentu na razini masenih udjela u donjem dijelu estuarija rijeke Krke. S obzirom da u Hrvatskoj zakonskoj regulativi ne postoje zakoni o dozvoljenim koncentracijama ekotoksičnih metala u sedimentu, procjena rizika se može napraviti uspoređivanjem dobivenih rezultata s podacima iz literature o toksičnom djelovanju tvari na živa bića u sedimentu. Za tu svrhu razvijene su smjernice za kvalitetu sedimenta koje su bazirane na empirijskim analizama, usporedbom bioloških i kemijskih podataka za potencijalno toksične tvari. Iz izmjerenih vrijednosti zaključili su da maseni udjeli arsena i žive imaju negativan utjecaj na morsko dno i sav živi svijet, dok također postoji mogućnost da negativan utjecaj imaju i maseni udjeli nikla, olova i bakra (Institut Ruđer Bošković, 2011).

### ***7.3. Radioaktivnost sedimenta i tla***

Radionuklidi su atomi čije se jezgre spontano raspadaju. Oni su izvori alfa, beta i gama zračenja što zajedničkim nazivom zovemo radioaktivnost. Radionukli, nastali oni prirodno ili ljudskom aktivnošću, mogu se pronaći u tlu, vodi i zraku. Tlo sadrži veće

koncentracije radionuklida od vode i zraka te radionuklidi ispušteni u zrak ili vodu u konačnici dospiju u tlo (Šoštarić, 2017)

Mjerena je aktivnost radionuklida na području buduće plaže ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{137}\text{Cs}$ ) u Laboratoriju za radioekologiju, Zavoda za istraživanje mora i okoliša, Instituta Ruđer Bošković. Prije ispitivanja uzorci tla i sedimenta su sušeni, miješani i homogenizirani zbog sprječavanja zgrudnjavanja mokrog mulja za vrijeme sušenja u sušioniku. Nakon sušenja uzorci su vagani te hermetički zatvoreni kako bi se tijekom četiri tjedna postigla radiokemijska ravnoteža između  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{226}\text{Ra}$ . Institut Ruđer Bošković odredio je vrijednosti aktivnosti radionuklida u tlu i sedimentu. Iako, nigdje nisu navedene granične vrijednosti opasnosti radionuklida, donijeli su zaključak da aktivnost radionuklida ne predstavlja prepreku u izgradnji plaže (Institut Ruđer Bošković, 2011). Sukladno *Pravilniku o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18)*, granične vrijednosti koncentracije aktivnosti su za  $^{40}\text{K}$  10 kBq/kg,  $^{137}\text{Cs}$  0,1 kBq/kg,  $^{238}\text{U}$  1 kBq/kg,  $^{232}\text{Th}$  1 kBq/kg i  $^{226}\text{Ra}$  4 E-2 TBq.

#### **7.4. Životne zajednice morskog dna**

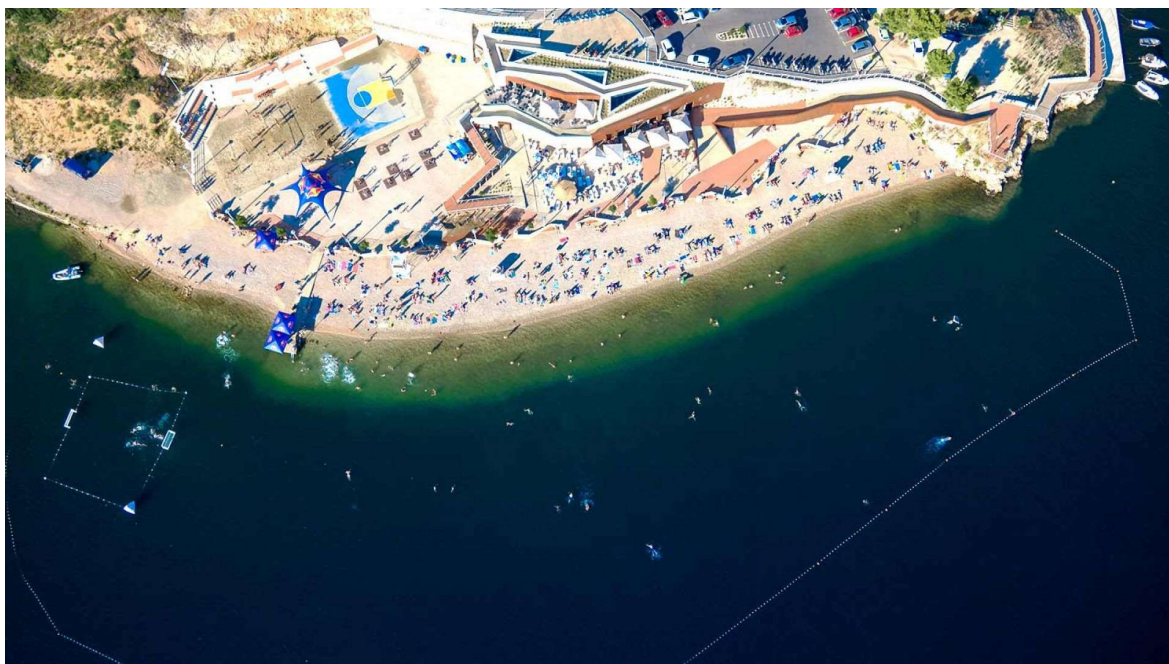
Autonomnim ronjenjem istraživano je morsko područje uz bivšu tvornicu zbog utvrđivanja sastava flore i faune. Pronađeno je 155 vrsta beskralježnjaka, 26 vrsta riba, 43 vrste morskih alga i jedna morska cvjetnica. Duž cijelog profila istraživanja pronađen je kruti otpad bačen u more s obale. Pronađene su morska naranča (*Tethya aurantium*) kao strogo zaštićena vrsta, te trpovi (*Holothuria tubulosa* i *Ocnus planci*) kao zaštićene vrste. Mogući nepovoljni utjecaji na akvatorij prilikom izrade plaže su nasipavanje morskog dna i zamucivanje mora prilikom izvedbe zemljanih radova. Gorivo i ulje za podmazivanje strojeva također predstavlja mogući izvor onečišćenja, izravnim doticajem strojeva s morem ili ispiranjem tla oborinskim vodama (Institut Ruđer Bošković, 2011).

Zaključak Elaborata stanja okoliša na području buduće plaže na području bivše Tvornice elektroda i ferolegura kaže da izmjerene koncentracije metala u vodi ne predstavljaju rizik za živi svijet estuarija rijeke Krke i buduće kupače. Neki metali u sedimentu mogu negativno utjecati na živi svijet u moru, ali ne i na ljude. Svim provedenim analizama i mjerenjima Institut Ruđer Bošković zaključio je da je područje bivše Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku pogodno za izgradnju plaže (Institut Ruđer Bošković, 2011).



### **7.5. Otvaranje plaže**

Idejnim projektom prostor je podijeljen na sedam cjelina koji se sastoji od kupališta, obalne šetnice, ljetnog kina, dječjeg igrališta, ugostiteljskih objekata, sportskog igrališta, sanitarnih čvorova i parkirališta. Radovi su se odvijali u dvije faze na površini od 12.000 m<sup>2</sup>. Plaža je otvorena 17. lipnja 2012. godine dok je u srpnju 2013. godine završena izgradnja svih objekata što je vidljivo na slici 7-2. (Službene stranice Grada Šibenika, n.d.).



**Slika 7-2.** Plaža Banj (Izvor: Turistička zajednica grada Šibenika)

## 8. IDEJNI PROJEKAT BATIŽELE

Tijekom 2020. godine Europska banka za obnovu i razvoj financirala je izradu prijedloga razvojne strategije za urbanu regeneraciju napuštene industrijske zone Batižele u Šibeniku. Lokacija Batižele sastoji se od 57 katastarskih parcela na ukupnoj površini od 224.632 m<sup>2</sup> od kojih je većina zemljišta bivši prostor Tvornice elektroda i ferolegura. Grad Šibenik vlasnik je udjela od 69 %, a ostatak od 31% u vlasništvu je Republike Hrvatske. Cilj obnove lokacije temelji se na ekonomskom i urbanom rastu, očuvanju okolišnih vrijednosti te poboljšanju kvalitete života (ARUP, 2020a, 2020b i 2020c).

Lokacija Batižele (zemljište bivše tvornice) nalazi se na svega deset minuta hoda od centra Šibenika s kojim je povezana pješačkom stazom uz obalu, što je vidljivo na slici 8-1. Predstavlja važnu ulogu u razvitku i širenju grada Šibenika. Prijedlogom strategije razvoja područje može biti višenamjensko. Predviđena mu je osnovna namjena kao mješovita zona stambenih objekata, sportsko-rekreacijskih objekata, javno-društvenih prostora, tvrtki, ugostiteljskih objekata, prometa te zelenih prostora. Najmanje 10 % ukupnog prostora treba biti namijenjeno zelenim površinama, 30-ak % turističko-hotelijskim objektima, izgradnji pješačkih staza i izgradnji plaže u nastavku na plažu Banj (ARUP, 2020a, 2020b i 2020c).



Slika 8-1. Blizina bivše tvornice i centra Šibenika (Izvor: Nikša Stipaničev/ CROPIX)

## 9. BROWNFIELD LOKACIJA

„Brownfield lokacije“ su lokacije napuštenih građevinskih objekata s pripadajućim zemljištem i infrastrukturom spremne za prenamjenu i ponovnu upotrebu. Nastale su kao posljedica gašenja određenih industrijskih postrojenja, promjene državnog ustroja, ratnih razaranja, reorganizacije obrambenog sustava te globalne gospodarske krize. Sukladno *Strategiji prostornog razvoja Republike Hrvatske (NN 106/17)*, kao „brownfield lokacije“ najčešće se ističu napušteni vojni, industrijski i turističko-ugostiteljski kompleksi. Veličina zemljišta, prostorni položaj te prometna dostupnost neke su od prednosti tih područja, dok su nedostaci visoko potrebna ulaganja, neriješeni imovinsko-pravni odnosi te ponovna izrada prostorno-planske dokumentacije.

Postupak sanacije nakon zatvaranja Tvornice elektroda i ferolegura nije proveden u skladu s najboljom svjetskom praksom i u skladu s razvojem određenih znanstvenih disciplina u području zaštite okoliša. Nakon zatvaranja određene gospodarske aktivnosti svakako treba obaviti rušenje građevinskih objekata u krugu tvornice. U opisanoj studiji slučaja, rušenje objekata je obavljeno, ali ne postoje podatci jesu li provedene analize, sukladno *Pravilniku o građevnom otpadu i otpadu koji sadrži azbest (NN 69/16)*, s ciljem utvrđivanja korisnog i nekorisnog građevnog otpad. Uobičajeno je da se korisni otpad otpremi s postojeće lokacije bivše tvornice te prenamjeni za daljnju uporabu, a nekorisni građevni otpad transportirati na predviđena odlagališta otpada. Sljedeći korak trebala je biti sanacija terena koja bi se sastojala od uklanjanja opasnog i neopasnog otpada te sanacije kontaminiranog tla. Sanacija silikomanganske troske u ovoj studiji slučaja provedena je odvajanjem korisnog dijela koji je činio samo 5 do 6 % ukupne mase. Ostatak silikomanganske troske klasificiran je kao neopasni otpad te je transportiran na zemljište u Biljanima Donjim. Prije odlaganja troske u Biljanima Donjim trebalo je obaviti analize koje bi dokazale je li ta troska nusproizvod ili otpad. Sukladno rezultatima analiza, nusproizvod je trebalo preusmjeriti za ponovnu uporabu, dok je otpad trebalo ispitati i utvrditi radi li se o opasnom ili neopasnom otpadu. Zatim je trosku ovisno o tome pripada li kategoriji opasnog ili neopasnog otpada, sukladno *Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21)*, trebalo zbrinuti. Sanacija kontaminiranog dijela provedena je uklanjanjem otpada povišenih vrijednosti PAH-a koji je naknadno podvrgnut toplinskoj obradi. Naknadne analize kontaminacije tla pokazale su najprije tri, a zatim dvije preostale kontaminirane lokacije koje još uvijek nisu sanirane. Ovakav slijed dokazivanja kontaminiranosti određenih mikrolokacija unutar cjelovitog područja bivše

tvornice, posljedica je loše planiranog i izvedenog programa istražnih radova. Trebalo je napraviti takav program istražnih radova koji bi obuhvatio ne samo područje bivše tvornice nego i šireg područja ovisno o procjeni mogućeg širenja zagađenja izvan kruga tvornice. Dubina istraživanja također je trebala biti prilagođena geološkim prilikama i mogućim mehanizmima i putevima širenja zagađenja. Pri tome bi osim ispitivanja tla/stijene trebalo obaviti i detaljno utvrđivanje stanja podzemnih voda i mora, kamo se potencijalno zagađenje moglo širiti površinskim otjecanjem i podzemnim tokom. Takvim istraživanjima najprije je trebalo dobiti detaljan uvid stvarnog stanja okoliša, što bi naknadno omogućilo i kvalitetnije planiranje sanacije kontaminiranog područja. Nakon sanacije kontaminiranih lokacija, također treba predvidjeti naknadna opažanja radi utvrđivanja uspješnosti predviđenih mjera sanacije. Tek nakon toga zemljište bivše Tvornice elektroda i ferolegura koje trenutno ima obilježje „brownfield lokacije“, moglo bi se pretvoriti u mješovitu zonu stambenih objekata, sportsko-rekreacijskih objekata, javno-društvenih prostora, tvrtki, ugostiteljskih objekata, prometa te zelenih prostora kako je predviđeno projektom Batižele.

## 10. ZAKLJUČAK

Nakon prestanka rada Tvornice elektroda i ferolegura 1996. godine, lokacija je predstavljala tipičan primjer „brownfield lokacije“. Postupak sanacije zemljišta bivše tvornice obavljen je u fazama. Rušenje objekata 2000-tih godina bila je prva faza sanacije. Druga faza sadržavala je odvajanje opasnog od neopasnog otpada i sanaciju kontaminiranog tla. Posljednja faza bila je zbrinjavanje otpadne troske. Nakon sanacije kontaminiranog tla rezultati analize pokazali su još dvije točke kontaminacije čije vrijednosti prelaze dozvoljene koncentracije PAH-a. Sukladno rezultatima analize može se zaključiti da prethodna sanacija terena nije obavljena u cijelosti. Pitanje stanja odlagališta, količine i štetnosti troske premještene na novu lokaciju u Biljanima Donjim još uvijek nije poznato. Republika Hrvatska tužena je na Europskom sudu zbog neprovedene sanacije troske dopremljene sa područja bivše tvornice u Biljane Donje. Mogućnost iskorištenja silikomanganske troske za beton i asfalt ispitana je analizom minaroloških, fizikalno-mehaničkih, kemijskih i radioloških svojstava troske. Rezultati analize pokazali su da je silikomanganska troska povoljna za izradu asfalta i betona te je manji dio količine već korišten za izradu dijela ceste Vinjani Donji-Vinjani Gornji. 2011. godine izrađen je elaborat stanja okoliša za područje buduće plaže. Cilj elaborata bio je istraživačkim metodama i analizama potvrditi sigurnost izgradnje plaže na području bivše tvornice. Provedene su analize metala u morskoj vodi, koncentracija metala u sedimentu, radioaktivnosti tla i sedimenta te životnih zajednica morskog dna. Zaključne analize Instituta Ruđer Bošković pokazale su da se lokacija može koristiti za izgradnju plaže Banj. Plaža Banj otvorena je 2012. godine.

S obzirom da barem djelomice područje bivše tvornice u Šibeniku, kao i lokacija u Biljanima Donjima još uvijek nije zbrinuto potrebna je potpuna sanacija koja bi se sastojala od iskopa preostalog kontaminiranog tla, uklanjanja cementne konstrukcije iznad katranske jame, istraživanja i analiza koncentracija PAH-a iskopanog materijala. Potrebno je uzorke troske poslati na analizu zbog utvrđivanja štetnosti na okoliš, s obzirom na to da još nije utvrđeno je li riječ o nusproizvodu ili opasnom otpadu. Nakon određivanja štetnosti prema *Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21)* treba provesti odlaganje otpada na odlagalištima odgovarajuće kategorije, sanaciju zemljišta te dodatne analize tla zbog moguće kontaminacije.

Sanaciji tzv. „brownfield lokacije“ trebaju prethoditi opsežna istraživanja kojima treba utvrditi stanje svih sastavnica okoliša. Na temelju rezultata takvih istraživanja mogu se

odabrati i provesti odgovarajuće metode sanacije. Naknadnim opažanjima treba potvrditi uspješnost provedene sanacije prije nego se dopusti bilo kakva nova izgradnja, naročito ukoliko ona obuhvaća gradnju stambenih, sportsko-rekreacijskih, turističkih i drugih objekata. Takav cjeloviti pristup moguć je samo ukoliko se koriste najbolje svjetske prakse, a u rješavanje problema u svim fazama od istraživanja do projektiranja i naknadnog opažanja uključe različite struke. Na primjeru prikazanog studija slučaja, prema podacima koji su bili javno dostupni, to nije uočeno, jer se rješavanju problema pristupilo parcijalno i u više navrata, bez odgovarajućeg prethodnog istraživanja ili naknadnog opažanja, a u dokumentaciji često nije bilo moguće saznati jesu li bili uključeni multidisciplinarni timovi stručnjaka s iskustvom u rješavanju problema čišćenja onečišćenih lokacija.

## 11. LITERATURA

1. ARUP. 2020a. *Aktivacijski plan i prioriteti provedbe*
2. ARUP. 2020b. *Prijedlog razvojne strategije*
3. ARUP. 2020c. *Status lokacije i tržišni uvjeti*
4. BATIŽELE D.O.O. 2021. *Izvešće o poslovanju i stanju društva za 2020. godinu*. URL: [https://www.sibenik.hr/upload/najavesjednica/2021/09/2021-09-07/25/019\\_a-Izve%C5%A1%C4%87e%20o%20poslovanju%20s%20financijskim%20izve%C5%A1%C4%87em%20za%202020%20godinu%20Bati%C5%BEele%20doo%20%C5%A0ibenik.pdf](https://www.sibenik.hr/upload/najavesjednica/2021/09/2021-09-07/25/019_a-Izve%C5%A1%C4%87e%20o%20poslovanju%20s%20financijskim%20izve%C5%A1%C4%87em%20za%202020%20godinu%20Bati%C5%BEele%20doo%20%C5%A0ibenik.pdf) (06.08.2023.)
5. INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ. 2011. *Elaborat stanja okoliša na području buduće plaže na području bivše Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku (TEF)*. URL: [https://www.sibenik.hr/upload/dokumenti/2011/Elaborat%20stanja%20okoli%C5%A1a%20na%20podru%C4%8Dju%20budu%C4%87e%20pla%C5%BEe%20na%20podru%C4%8Dju%20biv%C5%A1e%20Tvornice%20elektroda%20i%20ferolegura%20u%20%C5%A0ibeniku%20\(TEF\).pdf](https://www.sibenik.hr/upload/dokumenti/2011/Elaborat%20stanja%20okoli%C5%A1a%20na%20podru%C4%8Dju%20budu%C4%87e%20pla%C5%BEe%20na%20podru%C4%8Dju%20biv%C5%A1e%20Tvornice%20elektroda%20i%20ferolegura%20u%20%C5%A0ibeniku%20(TEF).pdf) (12.06.2023.)
6. JADRIJEVIĆ, A., BERMANEC, V., ORŠULIĆ, D., ŽIGOVEČKI GOBAC, Ž. 2010. *Silikomanganska troska kao agregat za asfalt i beton*. GRAĐEVINAR 63 (2011) 5, 441-447. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/102339> (02.08.2023.)
7. LEKSIKOGRAFSKI ZAVOD MIROSLAV KRLEŽA. 2022. *Tvornica elektroda i ferolegura d.d.* URL: <https://tehnika.lzmk.hr/tef-d-d/> (10.06.2023.)
8. NARODNE NOVINE br. 69/16. *Pravilniku o građevnom otpadu i otpadu koji sadrži azbest*. Zagreb: Narodne novine d.d.
9. NARODNE NOVINE br. 22/19. *Pravilnika o gospodarenju otpadom iz rudarske industrije*. Zagreb: Narodne novine d.d.
10. NARODNE NOVINE br. 117/07, 111/11, 17/13, 62/13. *Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada na odlagalištima*. Zagreb: Narodne novine d.d.

11. NARODNE NOVINE br. 53/18. *Pravilniku o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja*. Zagreb: Narodne novine d.d.
12. NARODNE NOVINE br. 84/21. *Zakonu o gospodarenju otpadom*. Zagreb: Narodne nove d.d.
13. POLJIČAK, I. 2014. *Urbana obnova područja bivše Tvornice elektroda i ferolegura (TEF) u Šibeniku*
14. SELANEC, M. 2015. *Troska iz procesa proizvodnje čelika elektropećnim postupkom kao mineralni agregat u cestogradnji*. Završni rad. Zagreb: Metalurški fakultet
15. SLUŽBENE STRANICE GRADA ŠIBENIKA. N.D. Plaža Banj. URL: <https://www.sibenik.hr/projekti/plaza-banj/9.html> (10.06.2023.)
16. SOFILIC, U. 2010. *Komparativna istraživanja procesa usitnjavanja elektropećne troske i dolomita*. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
17. ŠOŠTARIĆ, M. 2017. *Radiološka svojstva tla u Republici Hrvatskoj*. Doktorski rad
18. ŠPLJAN, I. 2014. *Industrijski objekti u Šibeniku*. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/219716> (10.06.2023.)