Zbrinjavanje tehnološkog otpada na eksploatacijskom polju "Žutica"

Baričević, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:169:961572

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

ZBRINJAVANJE TEHNOLOŠKOG OTPADA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU "ŽUTICA"

Diplomski rad

Marko Baričević
R 90

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

ZBRINJAVANJE TEHNOLOŠKOG OTPADA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU "ŽUTICA"

MARKO BARIČEVIĆ

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

Sažetak

Kroz povijest naftnog rudarstva pa sve do danas korištene su različite metode za obradu otpadnog materijala nastalog bušenjem i za sanaciju isplačnih jama. Isplačnu jamu, kao sastavni dio postrojenja za bušenje, potrebno je nakon završetka izrade bušotine sanirati na siguran i ekološki prihvatljiv način. Primjena određene metode za sanaciju je uvjetovana fizikalno-kemijskim značajkama obrađivanog materijala, značajkama lokacije i drugim parametrima. U radu su prikazani suvremeni postupci zbrinjavanja tehnološkog otpada nastalog u procesu izrade bušotina i posebno mogućnost zbrinjavanja otpada na primjeru radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica". Otpadni materijal iz isplačne jame Hrastilnica-4 planira se nakon izvršenih laboratorijskih analiza sanirati metodom solidifikacije/stabilizacije; miješanjem s vapnom u omjeru određenom na osnovu interpretacije dobivenih rezultata laboratorijskih analiza. Postupak se provodi uz standardnu proceduru opisanu u radu, sukladno važećim zakonskim propisima RH u cilju zaštite i očuvanja okoliša.

Ključne riječi: naftne bušotine, utjecaj na okoliš, tehnološki otpad, isplačna jama, sanacija.

Diplomski rad sadrži:	89 stranica, 16 tablica, 28 slika i 44 referenci.
Jezik izvornika:	hrvatski
Diplomski rad pohranjen:	Knjižnica RGN fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb
Voditelj:	dr. sc. Ivan Sobota, docent RGNF-a
Ocjenjivači:	dr. sc. Ivan Sobota, docent RGNF-a dr. sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, red. prof. RGNF-a dr. sc. Želimir Veinović, docent RGNF-a

Datum obrane: 19. veljače 2016.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

DRILLING WASTE MANAGEMENT IN THE EXPLOITATION FIELD "ŽUTICA"

MARKO BARIČEVIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Throughout the history of oil extraction until today various methods have been used for treatment of waste materials generated by drilling and for the mud pit closures. Mud pit as part of the drilling plant must be remediated after the completion of drilling works in a safe and environmentally friendly manner. The use of certain remediation methods is influenced by the physical and chemical characteristics of treated material, specific location characteristics and many other parameters. Thesis describes contemporary waste management procedures applied to waste generated during drilling operations and in particular the possibility of waste treatment in the case of the oil wells Hrastilnica-4 in the exploitation field of hydrocarbons "Žutica". After laboratory analysis, waste material from mud pit Hrastilnica-4 is planned to be treated by Solidification/Stabilization method, mixing with lime in a ratio determined on the basis of the interpretation of laboratory analysis results. The method is carried out by a standard procedure described in thesis, in accordance with relevant Croatian regulations in order to protect and preserve the environment.

Keywords: oil well, environmental impact, drilling waste, mud pit, pit closure.

Thesis contains: 89 pages, 16 tables, 28 pictures and 44 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Ivan Sobota, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Ivan Sobota, PhD, Assistant Professor
Nediljka Gaurina-Međimurec, PhD, Full Professor
Želimir Veinović, PhD, Assistant Professor

Date of defence: February 19, 2016

Zahvaljujem se INA d. d., SD Istraživanje i proizvodnja nafte i plina na ustupljenoj dokumentaciji bez koje izrada ovog diplomskog rada ne bi bila moguća.

Posebno se zahvaljujem svom mentoru dr. sc. Ivanu Soboti, na ukazanom povjerenju, pruženoj pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se Hrvoju Živkoviću, dipl. ing. naft. rud. na pruženoj pomoći i savjetima tijekom izrade diplomskog rada.

Najveće hvala mojim roditeljima na strpljenju i moralnoj podršci, te povjerenju koje su mi ukazali tijekom studija.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....III
POPIS TABLICA.....V
1. UVOD.....1
2. UTJECAJ TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE BUŠOTINA I EKSPLOATACIJE UGLJIKOVODIKA NA OKOLIŠ.....3
2.1. Opis tehnološkog procesa izrade i opremanja bušotina.....4
2.2. Vrste i osnovne značajke radnih i pomoćnih medija.....9
2.3. Vrste i značajke otpadnih tvari i otpadne energije.....12
2.4. Pregled mogućih utjecaja procesa bušenja na okoliš i osnovnih mjera zaštite.....14
2.4.1. Prenamjena zemljišta i utjecaj na krajobraz.....14
2.4.2. Utjecaj na zrak.....16
2.4.3. Utjecaj na površinske i podzemne vode.....17
2.4.4. Utjecaj na tlo.....18
2.4.5. Utjecaj na floru i faunu.....20
2.4.6. Utjecaj buke.....21
2.4.7. Utjecaj na prirodne i kulturne vrijednosti.....23
2.4.8. Utjecaj u slučaju ekološke nesreće (akcidenta).....23
3. POSTUPCI ZBRINJAVANJA TEHNOLOŠKOG OTPADA NASTALOG U PROCESU IZRADE BUŠOTINA I EKSPLOATACIJE UGLJIKOVODIKA.....26
3.1. Smanjenje nastajanja otpada (izbjegavanje stvaranja otpada na izvoru).....27
3.1.1. Tehnologije bušenja.....29
3.1.2. Isplake i aditivi.....32
3.2. Recikliranje ili ponovna uporaba nastalog otpada.....34
3.3. Odlaganje otpada u isplačne jame.....35
3.4. Utiskivanje otpadnog mulja kroz bušotine u podzemne formacije.....37
3.5. Ispuštanje u mora i oceane.....40
3.6. Postupci obrade otpada.....41
3.6.1. Separacija isplačnog fluida od krutih čestica (krhotina) stijene.....41
3.6.2. Solidifikacija i stabilizacija.....42
3.6.3. Ostali postupci obrade otpada.....46
4. SANACIJA ISPLAČNIH JAMA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU UGLJIKOVODIKA "ŽUTICA".....48

4.1. Opis lokacije zahvata 48
4.2. Analiza "nultog stanja" tla na lokaciji bušotinskog radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 51
4.3. Opis bušaćeg postrojenja i konstrukcije bušotine 58
4.4. Utjecaji zahvata na okoliš i mjera zaštite 63
4.5. Prijedlog sanacije isplačne jame na lokaciji bušotine Hrastilnica-4 66
4.5.1. Analiza uzoraka ugušćene faze iz isplačne jame prije početka sanacije 69
4.5.2. Opis predloženog postupka obrade otpadnog materijala iz isplačne jame 74
4.5.3. Mjere sigurnosti i zaštite pri radovima sanacije isplačne jame 81
5. ZAKLJUČAK 83
6. LITERATURA 85

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Shematski prikaz bušaćeg postrojenja (Matanović, 2006) 5
Slika 2-2. Naftna eruptivna i plinska eruptivna bušotina (Pletikapić et al., 2015)..... 8
Slika 2-3. Naftna bušotina s plinskim podizanjem (Pletikapić et al., 2015)..... 8
Slika 2-4. Naftna bušotina s dubinskom sisaljkom (Pletikapić et al., 2015) 8
Slika 3-1. Hijerarhija gospodarenja otpadom (Mariscina.com, 2015)..... 26
Slika 3-2. Shematski prikaz tehnologije bušenja (ANL, 2008)..... 28
Slika 3-3. Napredne tehnologije bušenje (ANL, 2008)..... 30
Slika 3-4. Pomoćna otpadna jama uz bušaći toranj (Ramirez, 2009)..... 36
Slika 3-5. Pomoćna otpadna jama uz završenu bušotinu (Ramirez, 2009) 36
Slika 3-6. Pomoćna otpadna jama nakon isparavanja fluida (Ramirez, 2009)..... 37
Slika 3-7. Utiskivanje otpadne kaše kroz kolonu uzlaznih cijevi i utiskivanje otpadne kaše kroz prstenasti prostor bušotine (ANL, 2008)..... 38
Slika 3-8. In-situ solidifikacija/stabilizacija: primjer miješanja otpadnog materiijala onečišćenog arsenom stabilizirajućim sredstvom (sulfatno-cementnim muljem) (Sobota, 2014) 43
Slika 3-9.Postupak stabilizacije otpadne mase (Maijala et al., 2009) 44
Slika 3-10. Primjeri različitih izvedbi strojeva sa radnim alatom za miješanje *(auger)* (Al-Tabbaa i Perera, 2006)..... 44
Slika 3-11. Miješalica i radni stroj s konstrukcijom nosača za miješanje otpadnog materijala (Al-Tabbaa i Perera, 2006) 45
Slika 3-12. Sustav mješača (augera) (Al-Tabbaa i Perera, 2006)..... 45
Slika 3-13. *Ex-situ* solidifikacija/stabilizacija 46
Slika 4-1. Prikaz lokacije radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (INA - industrija nafte d.d., 2013). 50
Slika 4-2. Rezultati SPP-a za lokaciju radnog prostora bušotine Hra-4: ispitivanja na površini terena (crvena linija) i na dubini od 80 cm (plava linija) (Milčić et al., 2014) 57
Slika 4-3. Radni prostor istražne bušotine Hra-4 (Milčić, et al., 2014) 59
Slika 4-4. Konstrukcija bušotine Hrastilnica-4 (Biletić, 2014) 61
Slika 4-5. Shematski prikaz položaja isplačne jame na prostoru bušotine prema Glavnom tipskom rudarskom projektu (Rukavina et al., 1990) 67
Slika 4-6. Presjeci isplačne jame s položajem piezometara i sondi (Rukavina et al., 1990) 67

Slika 4-7. Raspored postrojenja s položajem isplačne jame na radnom prostoru bušotine Hrastilnica-4 (120 m × 90 m) prema Pojednostavljenom rudarskom projektu (INA - industrja nafte d.d., 2013) 68
Slika 4-8. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – miješanje ugušćene faze u pomoćnoj jami (Rukavina et al., 1990)..... 77
Slika 4-9. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – miješanje preostale ugušćene faze u isplačnoj jami (Rukavina et al., 1990) 78
Slika 4-10. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – vraćanje deponiranog izmiješanog materijala u isplačnu jamu te ponovno miješanje (Rukavina et al., 1990) 79
Slika 4-11. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – zatrpavanje izmiješanog materijala u isplačnoj jami (Rukavina et al., 1990) 80

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Sadržaj ukupnog dušika u tlu na području radnog prostora za izradu istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014) 52
Tablica 4-2. Sadržaj mineralnog dušika u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014) 52
Tablica 4-3. Kriteriji za određivanja sadržaja humusa u tlu (Milčić et al., 2014) 53
Tablica 4-4. Sadržaj humusa u tlu na području radnog prostora za izradu istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014) 53
Tablica 4-5. Kriteriji za određivanje pH vrijednosti tla (Milčić et al., 2014) 54
Tablica 4-6. Reakcija tla na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014) 54
Tablica 4-7. Sadržaj ukupnih ulja u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Miličić et al., 2014) 55
Tablica 4-8. Sadržaj mineralnih ulja u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014) 55
Tablica 4-9. Sadržaj alkalnih i zemnoalkalnih metala u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014) 56
Tablica 4-10. Osnovni podaci o bušotini Hrastilnica-4 (Biletić et al., 2014) 60
Tablica 4-11. Podaci o zaštitnim cijevima ugrađenim u bušotinu Hrastilnica-4, promjerima i dubinama ugradnje (Biletić et al., 2014) 60
Tablica 4-12. Osnovni parametri isplake za pojedinu fazu izrade kanala bušotine (Biletić et al., 2014; Lukačević et al., 2014) 63
Tablica 4-13. Rezultati analize kompozitnog uzorka otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4 (INA - Industrija nafte d.d., 2015a) 70
Tablica 4-14. Rezultati analize uzorka otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4, provedene u svrhu određivanja recepture za solidifikaciju (INA - Industrija nafte d.d., 2015b) 71
Tablica 4-15. Uzorak otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4 (INA - Industrija nafte d.d., 2015b) 71
Tablica 4-16. Popis otpada iz podgrupe " Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja" prema *Pravilniku o katalogu otpada* (NN 90/2015) 73

1. UVOD

Nafta, crno zlato, jedan od najvažnijih prirodnih resursa, primarni je izvor energije za industriju i kućanstva, te vrlo važna industrijska sirovina za proizvodnju cijelog niza industrijskih proizvoda bez kojih bi današnji život bio nezamisliv. Međutim, gotovo svaki proces pri eksploataciji nafte i plina ima određeni utjecaj na okoliš. Procesi izrade bušotina i pridobivanja ugljikovodika uključuju stvaranje velike količine tehnološkog otpada koji čini jedan od glavnih potencijalnih izvora onečišćenja okoliša. Do 1980-ih, malo se pažnje obraćalo nastajanju i sigurnom zbrinjavanju velikih količina čvrstih čestica (krhotina) razrušenih stijena i tekućeg dijela otpadne isplake. Najčešće je taj otpadni materijal ispuštan u mora i oceane pri bušenju bušotina na morskim lokacijama, dok se pri bušenju na kopnu otpad najčešće odlagao zakopavanjem na lokaciji bušotine bez veće kontrole i zaštite okoliša od zagađenja. Globalna ekološka svijest u kasnim 1980-im do ranih 1990-ih godina i sve stroža zakonska regulativa iz područja zaštite okoliša, potaknuli su naftnu industriju na bolje razumijevanje velikog potencijalnog utjecaja procesa bušenja i otpada nastalog bušenjem na okoliš, te na razvoj tehnologija za njegovo zbrinjavanje (Sellassie, 2011).

Svi radovi na bušotinama, počevši od projektiranja bušotine, izrade i kontrole tehničke dokumentacije, izgradnje kanala bušotine, opremanja i održavanja bušotina, kao i ostale potrebne radnje, sustavno se provode u skladu sa važećom regulativom i pravilima tehničke prakse. Kako bi mogući negativni utjecaji na okoliš pri izradi i korištenju bušotina bili što manji, potrebno je sustavno provoditi mjere zaštite okoliša. Zatvoreni sustav pridobivanja ležišnih fluida, kojim se onemogućava istjecanje fluida u okoliš, predstavlja temeljnu mjeru zaštite. Obzirom da se osnovni utjecaj na okoliš pri izradi i korištenju bušotina ogleda u prenamjeni površine bušotinskog kruga (zemljište u potpunosti gubi svoju prvobitnu funkciju), potrebno je provesti mjere koje osiguravaju da površine bušotinskih krugova kod bušenja, opremanja i održavanja bušotina, te eksploatacije budu što manje (INA-CNP, 1993).

U procesu bušenja koristi se isplaka koja može sadržavati aditive vrlo štetne po okoliš. Stoga je potrebno voditi računa o zaštiti okoliša, posebice u fazi bušenja kroz zone podzemnih voda, planiranjem i provođenjem preventivnih mjera kao što su (INA-CNP, 1993): korištenje bentonitne isplake bez aditiva ili ekološki prihvatljivih aditiva koji se dodaju isplaci, ugradnja zaštitne uvodne kolone kroz zonu podzemnih voda, poticanje izgradnje kanala bušotine bez isplačne jame, te općenito mjere za smanjivanje nastajanja

tekućeg i krutog tehnološkog otpada na minimum i druge mjere opisane u narednim poglavljima rada.

U nastojanju smanjenja utjecaja otpada nastalog bušenjem na okoliš, objavljene su brojne publikacije i inovirani brojni tehnološki postupci. Tehnologije poput koso usmjerenog bušenja, bušenja kanala bušotina manjih promjera, pneumatskog bušenja (bušenje s ispuhivanjem tj. s primjenom zraka ili prirodnog plina kao cirkulacijskih bušaćih fluida) u ekološki osjetljivim zonama, samo su dio novijih stremljenja u procesima bušenja pri kojima je cilj stvaranje manje količine otpadnog materijala (ANL, 2008; Perić, 2007). Niz planova i programa gospodarenja otpadom osmišljeno je s ciljem sigurnog i ekološki što prihvatljivijeg zbrinjavanja otpada. Smanjenje nastajanja otpada je ključno, ne samo iz aspekta zaštite okoliša, već i zbog smanjenja operativnih troškova istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Prije odlučivanja o načinu zbrinjavanja otpada, potrebno je identificirati, klasificirati i procijeniti količinu otpada koji se generira. Primarni otpad koji nastaje tijekom procesa izrade, opremanja i održavanja bušotina, te tijekom eksploatacije ugljikovodika čine: krhotine razrušenih stijena, otpadna isplaka onečišćena raznim aditivima i slojna voda. Taj tehnološki otpad sadrži razne onečišćujuće tvari kao što su teški metali, ugljikovodici, radioaktivne tvari i dr. Tijekom procesa bušenja i eksploatacije također dolazi do emisije plinovitih i krutih onečišćujućih tvari u zrak. Volumen tehnološkog otpada posebno je važan utjecajni faktor kada je otpad potrebno transportirati do mjesta za sigurno odlaganje (Sellassie, 2011).

Cilj ovog rada je prikazati značajke, mogućnosti smanjenja nastajanja i postupke zbrinjavanja tehnološkog otpada nastalog u procesu izrade bušotina i eksploatacije ugljikovodika. U 2. poglavlju dan je općenit pregled potencijalnih utjecaja na okoliš koji su prisutni pri procesima izrade bušotina i pridobivanja ugljikovodika, te mjera zaštite kojim se ti utjecaji mogu smanjiti ili potpuno eliminirati. U 4. poglavlju prikazana je mogućnost zbrinjavanja otpada i sanacije isplačne jame na primjeru radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica". Pri izradi rada korištena je, pored ostale literature, dostupna relevantna dokumentacija tvrtke INA - Industrija nafte d.d.

2. UTJECAJ TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE BUŠOTINA I EKSPLOATACIJE UGLJIKOVODIKA NA OKOLIŠ

Procesi istraživanja i eksploatacije nafte i plina imaju veliki potencijal utjecaja na okoliš. Utjecaji će ovisiti o fazi procesa, veličini i složenosti projekta, značajkama i osjetljivosti okoliša, te učinkovitosti poduzetih mjera planiranja, sprječavanja, ublažavanja i nadzora onečišćenja (Borthwick et al., 1997). Učinci procesa bušenja, te pridobivanja nafte i plina na okoliš tijekom normalnog rada uključuju:

- prenamjenu zemljišta i utjecaj na krajobraz
- utjecaj na zrak
- utjecaj na površinske i podzemne vode
- utjecaj na tlo
- utjecaj na floru i faunu
- utjecaj na prirodne i kulturne vrijednosti
- utjecaj u slučaju ekološke nesreće (akcidenta).

Pored navedenih utjecaja na okoliš tijekom normalnog rada postrojenja, postoji mogućnost ekološke nesreće (akcidenta) i negativnog utjecaja na okoliš većeg razmjera u slučajevima kvarova, nekontroliranog izlaženja slojnih fluida, prolijevanja goriva, elementarnih nepogoda, te u drugim izvanrednim slučajevima.

Navedeni se utjecaji poduzimanjem odgovarajućih mjera zaštite okoliša u skladu s relevantnom zakonskom regulativom mogu izbjeći, ublažiti ili smanjiti na najmanju moguću mjeru. Pri izgradnji, opremanju i održavanju bušotina, te eksploataciji provodi se čitav niz zaštitnih mjera koje su usmjerene na zatvoren sustav pridobivanja ležišnih fluida, što je ustvari osnovna mjera zaštite, i bitan element u ekološkom smislu (INA-CNP, 1993). Kako bi mogući negativni utjecaji na okoliš kod izrade bušotina bili što manji, potrebno je također sustavno provoditi mjere zaštite okoliša opisane u potpoglavljima 2.4.1.-2.4.8.

Osim spomenutih utjecaja, djelatnost istraživanja i eksploatacije nafte i plina vjerojatno će utjecati na gospodarske, društvene i kulturne promjene na lokalnoj ili regionalnoj razini. Opseg tih promjena je osobito važan za lokalne skupine, posebice autohtono stanovništvo i njihov tradicionalan način života. Ključni utjecaji mogu uključivati promjene u uporabi zemljišta i prirodnih resursa u blizini lokacije zahvata (utjecaj na poljoprivrednu djelatnost, ribolov, lov, sječa drva, itd.) kao izravnu posljedicu. Kao sekundarna posljedica može se javiti neplanirano naseljavanje i povećana eksploatacija prirodnih resursa uslijed izgradnje novih pristupnih puteva i novih

mogućnosti zapošljavnja, te niz drugih društveno-gospodarskih promjena (Borthwick et al., 1997; TEEIC, 2015).

U nastavku su ukratko opisani tehnološki proces izrade i opremanja bušotina, osnovne značajke radnih i pomoćnih medija te otpadnih tvari u procesu, mogući utjecaji na okoliš u pojedinim fazama procesa i mjere za njihovo sprječavanje odnosno smanjivanje.

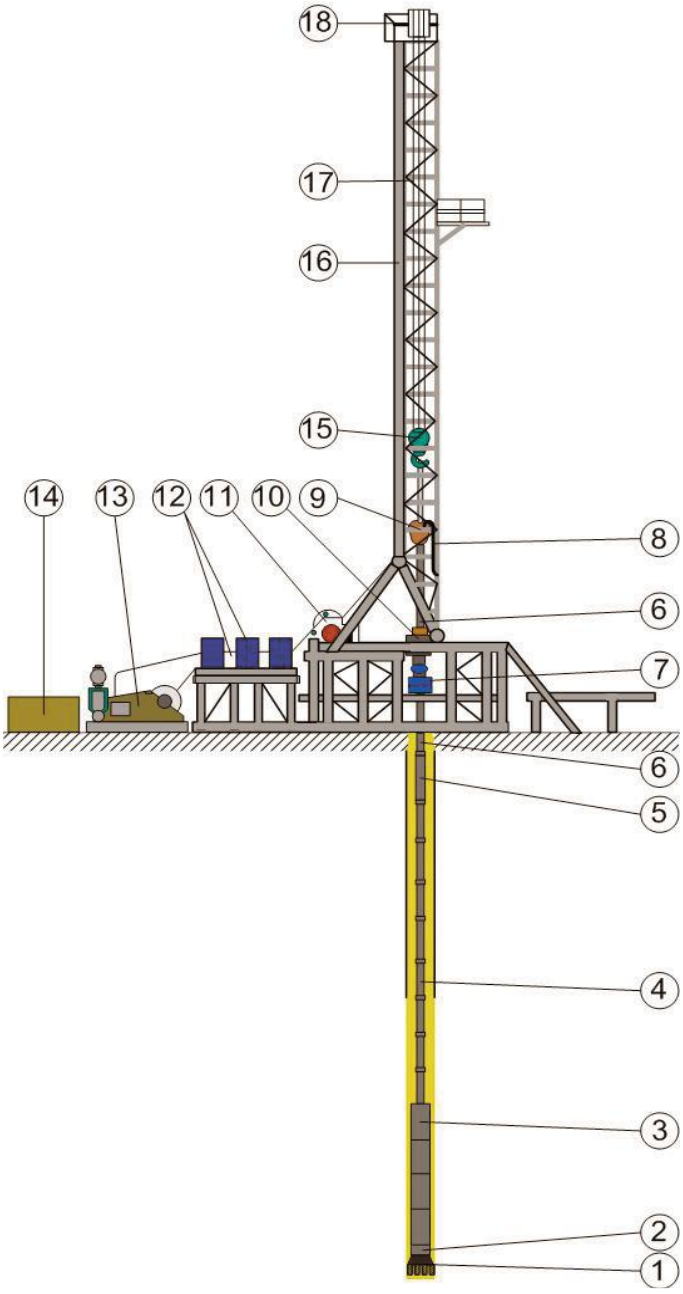
2.1. Opis tehnološkog procesa izrade i opremanja bušotina

Pri izboru lokacije bušotine uzimaju se u obzir, osim geoloških uvjeta, brojni činitelji o kojima ovisi zaštita okoliša. Nakon izrade pristupnog puta, pripreme bušotinskog kruga, dovoženja i postavljanja bušaćeg postrojenja sa pripadajućom opremom, pristupa se bušenju odnosno izradi kanala bušotine. Samo bušenje obavlja se bušaćim postrojenjem (slika 2-1.) kojem je funkcionalno pridružena mnogobrojna pomoćna oprema. Bušenje stijena obavlja se rotacijom bušaćih šipki koje na kraju imaju bušaće dlijeto. Iznošenje krhotina razrušenih stijena omogućeno je optokom isplake (INA-CNP, 1993).

U toku bušenja, dijelovi kanala bušotine zaštićuju se nizovima zaštitnih cijevi. Prvi niz naziva se uvodna kolona. Prstenasti prostor između ovih cijevi i stjenki kanala bušotine popunjava se cementnom kašom od dubine ugradnje (pete) do površine (ušća). Nakon stvrdnjavanja cementne kaše u cementni kamen, na ušće se montira sigurnosna oprema, tj. temeljna prirubnica bušotinske glave i preventerski sklop. Zadaća je preventerskog sklopa da tijekom izrade kanala bušotine omogući sigurno zatvaranje ušća bušotine u slučaju dotoka slojnih fluida. Preventerski sklop se sastoji od dva čeljusna i jednog anularnog preventera. Jedan od čeljusnih preventera može zatvoriti prstenasti prostor oko bušaćih šipki, a drugi puni profil. Anularni preventer ima obje funkcije. Zatvaranje preventera se aktivira hidraulički. Uvodna kolona, pored osiguranja od izbacivanja ležišnih fluida, ima i drugu važnu zadaću - sprječavanje zagađivanja podzemnih voda ležišnim fluidima ili isplakom u kojoj ima štetnih dodataka. Sljedeći niz zaštitnih cijevi naziva se tehnička kolona. Tehnička kolona se cementira od 50 m do 150 m unutar prethodne kolone, a ponekad i do ušća. Nakon cementiranja ušće se oprema s dodatnim dijelovima bušotinske glave (prirubnicom tehničke kolone) i prventerskim sklopom. Postupak izbora materijala i dimenzioniranja opreme ušća bušotine i zaštitnih cijevi, u ovisnosti o ležišnom tlaku, temperaturi, proizvodnosti ležišta i sastavu ležišnih fluida, te postupci ispitivanja hermetičnosti i kvalitete vezanja cementnog kamena za zaštitne cijevi i za stijenke kanala

bušotine, detaljno se prikazuju u Pojednostavljenom rudarskom projektu bušotine (INA-CNP, 1993).

Tehnološki proces izgradnje istražne i eksploatacijske bušotine u principu je isti. Specifičnost izgradnje istražne bušotine sastoji se u manjem stupnju poznavanja geološke građe, te fizikalnih značajki stijena i fluida u odnosu na druge vrste bušotina. Navedena činjenica uzima se u obzir kako u projektnim rješenjima, tako i u izvođenju radova, u smislu provođenja odgovarajućih mjera zaštite.



Dijelovi bušaćeg postrojenja:

1 - Dlijeto
2 - Prijelaz: dlijeto - teška šipka
3 - Teške šipke
4 - Bušaće šipke
5 - Prijelaz: bušaća šipka - radna
6 - Radna šipka ili gornji pogon
7 - Sklop preventera
8 - Gibljivo isplačno crijevo
9 - Isplačna glava
10 - Vrtaći stol
11 - Dizalica
12 - Pogonski motori s prijenosnicima
13 - Isplačne sisaljke
14 - Isplačni bazeni
15 - Kuka i pomično koloturje
16 - Toranj
17 - Bušaće uže
18 - Nepomično koloturje

Slika 2-1. Shematski prikaz bušaćeg postrojenja (Matanović, 2006)

U ovisnosti o tome da li je istražna bušotina u potpunosti ili djelomično ostvarila očekivane geološke ciljeve, ona se nakon izgradnje privodi najpodobnijoj namjeni, tj. postaje proizvodna (naftna, plinska ili geotermalna), utisna (vodna ili plinska), mjerna ili utisna bušotina za otpadne fluide. Ako je istražna bušotina pozitivna, ugrađuje se proizvodna kolona (npr. do dubine cca 50 m) ispod najdubljeg pozitivnog ležišta i cementira do ulaska u prethodnu kolonu (cca 100 m). Nakon ugradnje proizvodne kolone, preventerski sklop se skida, a bušotinska glava se kompletira. U slučaju da istražna bušotina ne može poslužiti niti za jednu od spomenutih namjena odnosno kada je negativna, ona se odgovarajućim tehničkim postupkom likvidira (proizvodna kolona se ne ugrađuje). Likvidacija se izvodi postavljanjem potrebnog broja cementnih mostova u otvorenom kanalu bušotine, čiji je zadatak sprječavanje pretakanja ležišnih fluida među različitim ležištima, tj. hidrodinamičkim cjelinama. U tehničkoj koloni postavlja se najmanje jedan cementni most i na taj način sprječava bilo kakav izlazak ležišnih fluida na površinu. Bušotinska glava se demontira, a na vrh kolone se zavari čelična ploča. Površina bušotinskog kruga se sanira i vraća prvotnoj namjeni (INA-CNP, 1993).

U slučaju da se istražnim bušenjem potvrde geološke rezerve ugljikovodika, pristupa se bušenju, osvajanju i opremanju niza proizvodnih bušotina. Broj bušotina koje je potrebno izbušiti na ležištu kako bi se osigurala ekonomična eksploatacija nafte i plina ovisi o veličini podzemnog ležišta, hidrodinamičkim uvjetima koji vladaju u ležištu, karakteristikama fluida i nizu drugih faktora. Sama dubina i namjena bušotine, te ležišni uvjeti određuju konstrukciju bušotine. Pod konstrukcijom bušotine kod proizvodnih bušotina podrazumijeva se ugradnja u podzemlje više nizova kolona čeličnih cijevi (kolona), koje istovremeno omogućavaju da se bušotina izbuši do ciljane dubine, te da se omogući pridobivanje ugljikovodika.

Tehnologija podizanja nafte i plina iz podzemlja na površinu uvijek ovisi o uvjetima koji vladaju u samom ležištu. Kako se nafta i plin nalaze u ležištu pod relativno visokim tlakovima, nužno je da ležište u kojem se nalaze bude porozno i permeabilno, tako da ih razlika tlakova može pokrenuti. Izradom proizvodne bušotine moguće je ostvariti potrebne razlike tlakova koje omogućavaju kretanje nafte i plina iz ležišta u bušotinu. Ovisno o veličini ležišne energije, u praksi se primjenjuju tri osnovne metode pridobivanja nafte: eruptivna metoda, plinski lift (plinsko podizanje) i dubinska sisaljka. Eruptivnu metodu moguće je primijeniti kada je ležišna energija dovoljno velika da ostvari razliku tlakova koja osigurava pritjecanje nafte od dna bušotine do njezina ušća, te od ušća do mjesta

separacije, odnosno sabiranja nafte. Ukoliko je ležišna energija manja i ne može se osigurati dotok i prodiranje nafte do sabirnog mjesta, primjenjuje se jedna od mehaničkih metoda za podizanje nafte, a to su plinski lift ili dubinska sisaljka. Pored racionalnosti podizanja nafte, najvažniji preduvjet za ostvarivanje proizvodnje nafte je postizanje maksimalne sigurnosti na radu, tj. zaštite ljudi i okoliša. Ovisno o primijenjenoj metodi, bušotine se razlikuju po ugrađenoj površinskoj i dubinskoj opremi (INA-CNP, 1993).

Eruptivne bušotine (slika 2-2.) su bušotine iz kojih se nafta proizvodi ležišnim tlakom, tj. eruptiranjem. Pod eruptiranjem se podrazumijeva podizanje kapljevine od dna do ušća bušotine i otprema priključnim naftovodom do sabirnog mjesta vlastitom energijom ležišta. Eruptivne bušotine opremljene su na površini erupcijskim uređajem. Erupcijski uređaj neposredno se nastavlja na bušotinsku glavu, odnosno povezan je prirubničkim spojem na *tubing* glavu. Na prirubnički spoj postavlja se glavni bušotinski zasun kojim se osigurava otvaranje i zatvaranje bušotine.

U bušotine koje proizvode plinskim liftom (slika 2-3.) dovodi se stlačeni plin pod odgovarajućim tlakom koji se kroz prstenasti prostor preko posebno ugrađenih dubinskih ventila utiskuje u *tubing* (uzlazne proizvodne cijevi) na odgovarajućoj razini. Dolaskom u *tubing*, akumulirana energija iz stlačenog plina svojom ekspanzijom podiže kapljevinu sa određene dubine bušotine sve do ušća bušotine, te dalje do sabirnog sustava za naftu. Za metodu pridobivanja pomoću plinskog lifta, potrebno je izgraditi odgovarajući sustav za podizanje nafte. Pravilnim izborom i ugradnjom površinske i dubinske opreme i kod eruptivnog postupka i plinskog lifta postižu se stalna kontrola i sigurnost u radu bušotine (INA-CNP, 1993).

Pridobivanje nafte pomoću dubinskih sisaljki s klipnim šipkama (slika 2-4.) upotrebljava se onda kad je ležišna energija premala da se nafta podigne od dna do ušća bušotine, odnosno do mjesta sabiranja. Ovisno o mogućnosti davanja bušotine, određuje se željena ili optimalna proizvodnja koja se može ostvariti pravilnim izborom: tipa dubinske sisaljke i njezinog promjera, dubine ugradnje dubinske sisaljke i odgovarajuće njihalice (INA-CNP, 1993).



Slika 2-2. Naftna eruptivna i plinska eruptivna bušotina (Pletikapić et al., 2015)



Slika 2-3. Naftna bušotina s plinskim podizanjem (Pletikapić et al., 2015)



Slika 2-4. Naftna bušotina s dubinskom sisaljkom (Pletikapić et al., 2015)

2.2. Vrste i osnovne značajke radnih i pomoćnih medija

U tehnološkom procesu izrade naftnih i plinskih bušotina koriste se različiti, po okoliš štetni, radni i pomoćni mediji.

Bitan, uvijek prisutan radni medij prilikom izrade bušotine je isplaka, koji se često naziva i "radni" fluid. Osnovni sastojci isplake su: voda, mljeveni bentonit (glina), barit i različiti aditivi. Naziv radni fluid proizlazi iz funkcionalnog djelovanja u zatvorenom ciklusu: isplačni bazen - sisaljka - visokotlačni cjevovodi - isplačna glava - niz bušaćih alatki s dlijetom - kanal bušotine - niz zaštitnih cijevi - ušće bušotine - izljevna cijev - vibrator - uređaji za pročišćavanje i kondicioniranje isplake - isplačni bazen. U toku cirkulacije isplaka obavlja sljedeće funkcije: podmazivanje i hlađenje bušaćih alatki, ispiranje bušaćih alatki i dna bušotine, sprječavanje korozije ugrađenih zaštitnih cijevi i bušaćih alatki, iznošenje krutih čestica nabušenih stijena (krhotina), zaštitu stjenki kanala bušotine (oblog) i ostvarenje potrebnog hidrostatskog stupca koji osigurava stabilnost kanala bušotine i sprječava nekontrolirano izlaženje ležišnih fluida na površinu. Iskorištena, tehnološki nepodobna za daljnji proces izrade kanala bušotina, isplaka se odlaže u za to posebno izgrađenu isplačnu jamu čiji su dno i bokovi nepropusni. Nepropusnost se postiže izvedbom brtvenog sloja od odgovarajućeg prirodnog ili umjetnog materijala. Kao prirodni brtveni materijal koristi se glina odnosno glinoviti materijal određenih fizikalno-mehaničkih značajki (granulometrijski sastav, indeks plastičnosti, koeficijent vodopropusnosti, stišljivost, posmična čvrtoća i dr.), a od umjetnih materijala geosintetici - geomembrana (npr. polietilenska membrana visoke gustoće - PEHD) ili geokompozit (npr. geosintetički bentonitni tepih - GCL). Osim otpadne isplake, u isplačnu jamu se odlažu i krhotine razrušenih stijena (Rukavina et al., 1990; INA-CNP, 1993; EPA, 1987).

Ovisno o značajkama bušenih stijena, načinu i specifičnim uvjetima bušenja, u praksi se primjenjuju različite vrste isplaka, od jednostavnih do vrlo kompleksnih, a mogu se podjeliti na četiri osnovne skupine: isplake na bazi vode (najčešća upotreba), isplake na bazi ulja, sintetičke isplake i posebne isplake male gustoće (Bokulić, 2012). Isplake na bazi vode sadrže 40-70% vode, a u vodu se dodaju različiti aditivi ovisno o njihovoj funkciji, dok je osnovna komponenta isplaka na bazi ulja najčešće diesel ulje koje je relativno toksično zbog visokog sadržaja aromata. Općenito, isplake na bazi ulja i sintetičke isplake skuplje su i imaju veći štetan utjecaj na okoliš od isplaka na bazi vode.

Isplake odgovarajućih značajki omogućavaju izradu kanala bušotine i u vrlo složenim uvjetima (velike dubine, visoke temperature i slojni tlakovi, prisustvo kiselih sastojaka u plinu (H_2S, CO_2), nestabilnost kanala bušotine, mogući gubici cirkulacije, itd.). Potrebna fizikalno-kemijska svojstva isplake (gustoća, viskoznost, pH vrijednost, mazivost, filtracijska svojstva i dr.) postižu se i održavaju dodavanjem različitih aditiva isplaci. U tehnologiji bušenja koriste se sljedeće vrste isplačnih aditiva (Rukavina et al., 1990; Bokulić, 2012):

- Oteživači isplake – dodaju se radi povećanja gustoće isplake kako bi se ostvario potreban hidrostatički tlak. Oteživači isplake čine glavninu krutih tvari u isplaci. Kao oteživači isplake najviše se koriste barit (barij sulfat, $BaSO_4$ - mineral visoke gustoće), zatim hematit ili njihova kombinacija. Barit je praktički netopiv u vodi, biološki inertan i netoksičan, pa do sada u literaturi i praksi nisu zabilježena onečišćenja vode (površinske i podzemne vode) i tla. Pri rukovanju nisu potrebne nikakve posebne mjere zaštite. Hematit je vrlo raširena i najvažnija ruda željeza, po kemijskom sastavu željezni oksid (Fe_2O_3). U vodi je praktički netopiv, biološki je inertan i netoksičan.
- Regulatori filtracije i viskoznosti isplake – omogućavaju formiranje isplačnog obloga na stjenkama kanala bušotine i na taj način onemogućavaju prodor filtrata isplake u formaciju. Aditivi za povećanje viskoznosti osiguravaju održavanje krhotina stijena u isplaci odnosno sposobnost njihovog iznošenja. Kao aditivi za povećanje viskoznosti i smanjenje filtracije koriste se prirodne ili obrađene gline. Najčešće se koristi bentonit (natrij montmorilonit), ali se upotrebljavaju i druge vrste glina što ovisi o vrsti isplake. Ponekad se glinama dodaju i male količine polimera topivih u vodi, pa se na taj način poboljšavaju svojstva isplake. U prošlosti se u tu svrhu najviše koristio škrob, a danas se osim škroba koriste natrij-karboksi-metilceluloza, zatim različiti polianionski polimeri na bazi celuloze, terpolimeri i poliakrilati. Treba naglasiti, da su gline prirodni materijali, pa pri rukovanju nisu potrebne nikakve mjere zaštite. Prirodne gline i gline obrađene polimerima vrlo su niske toksičnosti. Toksičnost karboksi-metilceluloze i poliakrilata je detaljno ispitana, a dobiveni rezultati pokazali su da su ti materijali praktički netoksični. Prirodni polimeri su biološki razgradivi, te se u svrhu stabilnosti i očuvanja kvalitete u isplake dodaju baktericidi (npr. paraformaldehid, pentolat). Dodatkom formaldehida, značajno se povećava toksičnost škroba i isplake. Sintetski polimeri su biološki stabilni, pa nije potrebno štititi ih dodatkom baktericida
- Antiflokulanti (dispergatori) – dodaju se radi smanjenja viskoznosti i čvrstoće gela. U isplakama se koriste polifosfati, tanini, ligniti, lignosulfonati i nisko-molekularni

polimeri. Danas su ligniti i lignosulfonati najčešće upotrebljavani antiflokulanti. Lignosulfonati, koji sadrže kompleksno vezani krom, su toksični i ne smiju se nekontrolirano ispuštati u okoliš. Stoga se koriste lignosulfonati bez kroma. Dosadašnjim istraživanjima nije utvrđena bioakumulacija bikromata ili kromata koji bi potjecali iz isplake.

- Aditivi za smanjenje gubitka isplake – osiguravaju začepljenje mjesta gubljenja isplake. To su uglavnom u vodi netopivi, granulirani materijali prirodnog porijekla. Najčešće se koriste ljuske oraha, pijesak i celofan. Ovi prirodni materijali su kemijski inertni i nisu toksični u količinama u kojima se koriste za pripremu isplaka.
- Aditivi za podešavanje pH-vrijednosti – natrijeva lužina (NaOH), vapno (CaO), natrijev karbonat (Na_2CO_3), natrijev bikarbonat ($NaHCO_3$).
- Specijalni aditivi. U isplaku, čija je osnovna komponenta voda, dodaju se i ulja za podmazivanje, koja sprječavaju lijepljenje i smanjuju trenje kolone bušaćih cijevi o stijenke kanala. Diesel ulja i neke vrste sirove nafte koriste se za oslobađanje diferencijalnog prihvata alatki tijekom bušenja. Diesel ulje i nafta su relativno toksični, a toksičnost isplaka povećava se porastom koncentracije diesel ulja u isplaci. Isplaka koja sadrži navedene aditive prihvaća se u posebne bazene.
- Ostali aditivi. Pored navedenih, u isplake se po potrebi dodaju i razni drugi aditivi, npr.: glikol te soli kalija i kalcija za kontroliranje hidratacije šejlova (koja uzrokuje bubrenje i urušavanje stijenki kanala bušotine), soli cinka, amini i fosfati kao inhibitori korozije (sredstva za sprječavanje korozije i zaštitu bušaćih alatki od kiselina i kiselih plinova), emulgatori i površinski aktivne tvari (deterdženti, sapuni, organske kiseline), antipjenušavci (alkoholi, Al-stearat, alkil fosfati), i dr. Navedene kemikalije su toksične i njihova primjena mora biti strogo kontrolirana.

Razvoj tehnologije pripreme isplake odvijao se u pravcu sve većih potreba za isplakom na bazi sintetskih polimera, te poboljšanju kemijskih svojstava isplake prilagođenih zahtjevima zaštite čovjekove okoline. Posebna pažnja posvećuje se izboru materijala i kemikalija iz kojih se pripremaju isplake i drugi radni fluidi s ciljem, da se potpuno eliminira upotreba toksičnih tvari.

Ukupna količina isplake i pomoćnih fluida (pogonskih goriva, maziva, lužine, i dr.) ovisi o nizu faktora kao što su dubina bušotine, geološke značajke i dr. U pojednostavljenom rudarskom projektu za izradu bušotine kojim se, između ostalog, definira uređenje radilišta i raspored opreme, posebna se pažnja posvećuje skladištenju i

manipuliranju opasnim fluidima (medijima) s ciljem zaštite ljudi i okoliša. Isplaka, pogonska goriva i maziva skladište se unutar bušotinskog kruga u posebnim spremnicima, na propisnom mjestu i u količinama u skladu s projektnom dokumentacijom.

Tijekom tehnološkoh procesa izrade bušotina, ležišni fluidi (nafta, plin, voda) su povremeno prisutni. Ti fluidi dolaze na površinu samo u manjim količinama, na strogo kontroliran način, i tijekom iskušavanja ležišta. Pri tome se dobivene količine nafte ili vode prihvaćaju u posebne spremnike i odvoze na sabirne i otpremne stanice, a plin odvodi na baklju gdje se spaljuje. Tijekom eksploatacije iz bušotina se pridobiva smjesa nafte, plina i vode, a ukupna količina fluida koji se dobiva iz pojedine bušotine ovisi o uvjetima u ležištu. Pomoćni mediji u procesu eksploatacije su različite kemikalije (aditivi): depresanti, deparafinatori, itd. koji se doziraju u prstenasti prostor, kolonu uzlaznih cijevi ili u priključne cjevovode (INA-CNP, 1993).

2.3. Vrste i značajke otpadnih tvari i otpadne energije

U tehnološkom procesu izrade bušotina, kao i tijekom eksploatacije ugljikovodika, nastaje tehnološki otpad koji može imati znatan negativan utjecaj na okoliš ukoliko se ne provode odgovarajuće mjere zaštite okoliša. Glavni otpad koji nastaje tijekom procesa bušenja čine:

- otpadna isplaka i
- krhotine razrušenih stijena.

Znatne količine otpada nastaju i tijekom opremanja i održavanja bušotina pri kojima se, pored isplake, koriste i ostali fluidi kao što su (Rukavina et al., 1990):

- anorganske i organske kiseline, gelovi na bazi nafte ili celuloznih derivata, cementna kaša i tehnološka voda (tijekom specijalnih radova - stimulacijski, cementacijski i drugi radovi),
- vodene otopine soli ("otežana voda") - otopine $CaCl_2$, $CaBr_2$, $ZnBr_2$ ili kombinacija, uljna isplaka i otplinjena nafta (tijekom remontnih radova),
- vodena otopina soli s dodatkom polimera (tijekom interventnog gušenja proizvodne bušotine tj. zatvaranja bušotine radi remontnih radova ili u slučaju akcidenta).

U normalnom tehnološkom procesu, za manipuliranje (dovoz-odvoz), pripremu, upotrebu, prihvat poslije upotrebe, svih gore navedenih "ostalih fluida" koriste se: vozila i auto-cisterne posebne namjene, posebni otvoreni ili zatvoreni rezervoari, cjevovodi, oprema i uređaji za sigurno izvođenje radova. Na taj način osiguravaju se uvjeti da se u

normalnom tehnološkom procesu "ostali fluidi" ne odlažu u isplačnu jamu. U slučaju potrebe za njihovim odlaganjem, treba obvezno koristiti namjenski projektirane i izgrađene jame (tzv. "centralne otpadne jame") za prihvat fluida. "Ostali fluidi" mogu se odlagati u isplačnu jamu samo u slučaju akcidenta, na osnovi procjene situacije s aspekta sigurnosti (Rukavina et al., 1990).

Tijekom procesa eksploatacije, pored nafte i plina dobiva se i slojna voda koja se na površini izdvaja i utiskuje ponovo u podzemlje kroz utisne bušotine s ciljem povećanja tlaka u proizvodnoj formaciji ili se injektira u bušotinu koja je namijenjena za utiskivanje i prihvat otpadnih fluida.. Slojna voda je slana (mineralizirana) voda koja se nalazi u ležištu zajedno s naftom i plinom, a osim natrij-klorida (1% do 35%), u značajnim količinama sadrži i druge otopljene tvari kao što su teški metali, ugljikovodici, radioaktivne tvari (Ra-226 i Ra-228), sulfati i bromidi (Perić, 2007; TEEIC, 2015).

Krhotine razrušenih stijena količinom stvaranja u procesu najveći su odlagališni problem. Ukoliko su nabušene korištenjem isplake na bazi vode, nakon njihove separacije od ostataka isplake i nafte, krhotine se mogu upotrijebiti kao materijal za ispunu, agregat ili punilo u građevinskoj industriji, ili kao dnevni pokrovni sloj na odlagalištima otpada. Krhotine razrušenih stijena proizvedene bušenjem uz uporabu isplaka na bazi ulja moraju se tehnološkim procesima očistiti od ugljikovodika kojim su obavijeni i slijepljeni u konzistentnu smjesu. Tehnološki proces pranja krhotina je puno zahtjevniji ali je nužan kako bi se krhotine očistile i dovele u stanje koje je pogodno za daljnju uporabu ili odložile kao neopasan materijal (ANL, 2008).

Tijekom istražnih radova i procesa izrade bušotine generira se i određena količina krutog otpada koji ne spada u opasni otpad, a sastoji se od ambalažnog otpadnog materijala, raznog otpada nastalog pri montaži postrojenja i uslijed aktivnosti zaposlenih radnika na lokaciji. Sekundarni otpad nastao prilikom procesa izrade i održavanja bušotina također uključuje manje količine otpadnih boja, premaza i otapala, motornih ulja i uljnih filtera, prolivena pogonska goriva, tekući otpad od pranja postrojenja i opreme, metalne otpatke kao posljedicu brušenja, rezanja i bušenja metalnih ploča i cijevi, sredstava za pjeskarenje, itd. Većina tog otpadnog materijala transportira se na odlagališta izvan mjesta nastanka (TEEIC, 2015).

Tijekom rada strojeva s unutrašnjim izgaranjem dolazi do emisije ispušnih plinova (SO_x, NO_x, CO_2, CO, hlapljivi organski spojevi, i dr.) u atmosferu, čiji iznos i sastav ovisi o kvaliteti i količini utrošenog goriva, te održavanju strojeva i vozila.

Otpadna energija koja se prenosi u okoliš najvećim dijelom se odnosi na otpadnu toplinu od vrućih ispušnih plinova, isijavanje topline iz dijelova radnih strojeva (kompresori, pumpe, elektromotori) i otpadnu toplinu pri izgaranju plina na baklji tijekom ispitivanja ležišta. Tehnološka (rashladna) voda koja služi za hlađenje uređaja u radu također predaje toplinu okolišu. Vrsta i količina emitirane otpadne energije tijekom procesa bušenja i eksploatacije nema značajniji utjecaj na okoliš (INA-CNP, 1993).

Ukoliko se sa stvorenim otpadom postupa nepravilno odnosno ako se otpad nekontrolirano (nepropisno) odlaže i/ili ispušta u okoliš, može doći do znatnog zagađenja okoliša. Značajke i postupci zbrinjavanja tehnološkog otpada nastalog bušenjem detaljnije su obrađeni u 3. poglavlju rada.

2.4. Pregled mogućih utjecaja procesa bušenja na okoliš i osnovnih mjera zaštite

Ako se izuzme mogućnost ekoloških nesreća (akcidenata) u slučajevima kvarova i nekontroliranog izlaženja slojnih fluida (nafta, plin, voda), utjecaj tehnološkog procesa izrade bušotina svodi se na učinke vezane za prenamjenu zemljišta bušotinskog kruga i pristupne ceste, te emisiju onečišćujućih tvari u normalnom radu bušaćeg postrojenja. U slučaju negativnih istražnih bušotina provodi se postupak sanacije i likvidacije, odnosno vraćanja zemljišta u prvobitno stanje. Ukoliko je bušotina pozitivna provodi se sanacija isplačne jame, a likvidacija bušotina po završetku eksploatacije.

Proizvodna bušotina u normalnom radu predstavlja u potpunosti zatvoren sustav s minimalnim utjecajem na zrak, vodu i tlo. Do značajnijeg utjecaja na okoliš može doći u slučaju izlaženja slojnih fluida iz zatvorenog sustava, uslijed različitih poremećaja i kvarova (INA-CNP, 1993).

2.4.1. Prenamjena zemljišta i utjecaj na krajobraz

Bušotine su rudarski objekti kod kojih se neposredni utjecaj na okoliš pri normalnom radu očituje kroz privremeno zauzimanje i prenamjenu zemljišta bušotinskog radnog prostora (npr. površina bušotinskog radnog prostora istražne bušotine Hra-4 na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica" iznosi 120 m × 90 m). Površina bušotinskog kruga prilikom izvođenja procesa bušenja ovisi o vrsti postrojenja za izradu bušotine. Budući da zemljište u potpunosti gubi svoju prvobitnu funkciju bez obzira na karakter (šumsko, poljoprivredno ili građevinsko zemljište), potrebno je već u fazi ishođenja

lokacijske dozvole uzeti u obzir sve prisutne sadržaje lokacije. Izgradnjom nasutog platoa bušotinskog kruga, kao i pristupne ceste do bušotine, mogući su utjecaji na migraciju površinskih tokova vode, a samim time i značajan utjecaj na ekosustav u cjelini (INA-CNP, 1993).

Uklanjanjem postojeće vegetacije i površinskog sloja tla tijekom uređenja pristupnih putova i bušotinskih radnih prostora, te postavljanjem bušaćeg postrojenja dolazi do vizualno-estetske degradacije krajolika. Taj utjecaj ima negativne posljedice pogotovo u slučaju da se bušeće postrojenje nalazi u blizini ugostiteljsko-turističkih i sportsko-rekreacijskih zona. Stoga se lokacija postrojenja treba nalaziti izvan tih zona. Neki od negativnih učinaka mogu se ublažiti nakon proizvodnog ciklusa bušotine ali ukoliko se ne provode pravovremene, učinkovite preventivne i/ili sanacijske mjere, jednom ogoljeli prirodni okoliš zauvijek može izgubiti svoju prvobitnu kvalitetu uključujući i vizualno-estetske značajke krajobraza koje je nemoguće nadoknaditi (Darin i Stills, 2002).

Negativni utjecaj naročito se očituje u prenamjeni osobito vrijedno obradivih (P1) i vrijedno obradivih (P2) poljoprivrednih površina, definiranih *Pravilnikom o mjerilima za utvrđivanje osobito vrijednog obradivog (P1) i vrijednog obradivog (P2) poljoprivrednog zemljišta* (NN 151/2013). Bavljenje ekološkom poljoprivredom u krugu od 200 m od zahvata onemogućeno je usljed emisije onečišćujućih tvari u tlo, čije su maksimalne koncentracije definirane *Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja* (NN 9/14). Zemljište je trajno prenamjenjeno izgradnjom pristupnih cesta, dok se za izgradnju infrastrukture na bušotinskom radnom prostoru za potrebe bušenja i eksploatacije prostor prenamjenjuje privremeno (Pletikapić et al., 2015).

Obzirom da se osnovni utjecaj na okoliš kod izrade i korištenja bušotina ogleda u prenamjeni površine bušotinskog kruga, potrebno je provesti mjere koje osiguravaju da površine bušotinskih krugova kod bušenja, opremanja i održavanja bušotina, te eksploatacije, budu što manje. Efekti prenamjene najizraženiji su u šumskom području, pri čemu je potrebno obratiti posebnu pažnju već pri planiranju i razradi projekta. U slučajevima gdje je, nakon izgradnje bušotinskog kruga i pristupne ceste u šumskom području, moguće lokalno oštećenje šume zbog narušavanja mikroklimatskih prilika, potrebno je provoditi odgovarajuće mjere zaštite (primjerice zatvaranje ruba šume brzorastućim vrstama i sl.). U odabiru lokacije bušotine potrebno je voditi računa o svim mnogobrojnim značajkama prostora gdje se bušotina locira, kao i o mogućem međuutjecaju sa postojećim i budućim objektima, definiranjem uvjeta uređenja prostora, odnosno mikrolokacije objekta (INA-CNP, 1993; Pletikapić et al., 2015).

2.4.2. Utjecaj na zrak

Problem onečišćenja atmosfere i mogućih posljedica na klimatske promjene privlači sve veći interes naftne industrije i vladinih tijela širom svijeta. Globalna briga za smanjenje onečišćenja atmosfere i sve stroža zakonska regulativa iz područja zaštite okoliša potaknula je naftnu industriju da se usredotoči na razvoj postupaka i tehnologija za smanjivanje emisija onečišćujućih tvari u atmosferu na najmanju moguću mjeru. Kako bi se ispitali mogući utjecaji koji proizlaze iz procesa istraživanja i eksploatacije, važno je razumjeti izvore i prirodu emisija te njihov utjecaj na Zemljinu atmosferu uključujući globalne utjecaje kao što su smanjenje (prorjeđenje) ozonskog sloja i klimatske promjene (Borthwick et al., 1997).

Primarni izvori emisija u zrak koji proizlaze iz procesa izrade bušotina i pridobivanja nafte i plina su (Borthwick et al., 1997; Pletikapić et al., 2015):

- spaljivanje na baklji viška plinova izdvojenih iz pridobivenog fluida, ispuštanje *(venting)* i čišćenje plinova,
- procesi izgaranja pogonskog goriva u dizelskim motorima i plinskim turbinama,
- isparavanje plinova prilikom transporta i skladištenja i gubici procesne opreme (otpadna toplina),
- prašina emitirana u zrak tijekom izgradnje i transporta,
- lebdeće čestice i plinovi iz drugih izvora izgaranja, npr. pri ispitivanjima na bušotini i požarima.

Glavne emisije plinova uključuju ugljikov dioksid, ugljikov monoksid, metan, hlapljive ugljikovodike i dušikove okside. Također su moguće emisije sumporovog dioksida i sumporovodika koje ovise o sadržaju sumpora u ugljikovodicima i dizel gorivu, osobito kada se koriste kao izvor energije. Tvari koje oštećuju ozonski sloj koriste se u nekim protupožarnim sustavima i uređajima za hlađenje (haloni i freoni). Iznosi emisija u atmosferu i njihov mogući utjecaj ovise o značajkama procesa koji se razmatra. Utjecaj istraživačkih aktivnosti na atmosferu općenito se smatra niskim. Međutim, tijekom eksploatacije, uz intenzivnije aktivnosti, povećati će se iznosi emisija u neposrednoj blizini tehnoloških procesa. Emisije iz proizvodnih procesa promatraju se u kontekstu ukupne emisije iz svih izvora i većinom se kreću ispod 1% od ukupnih emisija na regionalnoj i globalnoj razini (Borthwick et al., 1997).

Spaljivanje proizvedenog plina je najznačajniji izvor emisija u zrak, osobito na lokacijama koje nemaju infrastrukturu ili dostupno tržište za potrošnju plina. Na

lokacijama koje to omogućuju, plin se prerađuje i distribuira kao energetski proizvod. Na taj način će se kroz cjelokupni razvoj i osiguravanjem tržišta za sve proizvode, potreba za spaljivanjem plina bitno smanjiti. Spaljivanje plina na baklji, ispuštanje *(venting)* i izgaranje su primarni izvori emisija ugljikovog dioksida tijekom proizvodnih procesa, ali i druge plinove također treba uzeti u obzir. Na primjer, emisije metana prvenstveno proizlaze iz procesnih ispusta te u manjoj mjeri propuštanjem, spaljivanjem plina na baklji i izgaranjem. Praktični primjeri poboljšanja tehnoloških postupaka nužni su i stimulirani zakonskom regulativom a posebno se to odnosi na smanjenje spaljivanja plina na baklji i ispuštanje *(venting)*, poboljšanje energetske učinkovitosti, razvoj turbina s niskim emisijama NO_x, kontroliranje emisija isparavanja i ispitivanja zamjenskih sredstava u sustavima za gašenje požara (Borthwick et al., 1997).

2.4.3. Utjecaj na površinske i podzemne vode

Glavni potencijalni izvor onečišćenja površinskih i podzemnih voda su nekontrolirana izljevanja i procjeđivanja sljedećih otpadnih tekućih fluida koji proizlaze iz procesa istraživanja i eksploatacije (Borthwick et al., 1997):

- slojna voda,
- isplake i kemikalije za obradu bušotina,
- goriva i maziva,
- tehnološke, oborinske i sanitarne otpadne vode,
- rashladna voda.

Količina proizvedenog otpada ovisi o fazi procesa istraživanja i eksploatacije. U istražnom bušenju glavni otpadni fluid je isplaka s krhotinama razrušenih stijena, dok u procesu eksploatacije nakon izrade bušotina, najveću količinu tekućeg otpada čini slojna voda. Isplake na bazi vode su pokazale ograničeno djelovanje na okoliš. Glavne komponente su glina i bentonit koji su kemijski inertni i netoksični, dok su neki drugi sastojci biorazgradivi. Učinci teških metala povezanih s isplakama (Ba, Cd, Zn, Pb) pokazali su se minimalnim jer su metali u mineralima kemijski vezani unutar kristalne rešetke i stoga su ograničene biodostupnosti. Isplake na uljnoj bazi imaju veći štetni učinak na okoliš zbog toksičnosti i povećanog redoks potencijala. Visok pH i povećan sadržaj soli u određenim isplakama i slojnoj vodi predstavlja potencijalni uzrok onečišćenja izvora slatke vode i tla. Slojna voda može u različitim količinama sadržavati anorganske soli, teške metale, krute tvari, proizvodne kemikalije, ugljikovodike, benzen, policikličke

aromatske ugljikovodike (PAU), a ponekad i prirodne radioaktivne tvari. Utjecaj slojnih voda ispuštenih u okoliš ovisi o njihovoj količini i sastavu i značajkama okoliša u koji se ispuštaju. Opseg utjecaja može se procjeniti samo kroz postupak procjene utjecaja na okoliš. Ispuštanje otpadne tekućine u male vodotoke i jezera zahtijeva posebnu pažnju i kontrolu. Količina dobivene slojne vode značajno ovisi i o tipu eksploatacije (nafta ili plin) i životnom vijeku eksploatacijskog polja. Tipične vrijednosti za polja Sjevernog mora se kreću u rasponu od 2400 do 40 000 m^3/dan kod naftnih postrojenja i od 2 do 30 m^3/dan kod eksploatacije plina. Često je udio vode nizak u ranoj proizvodnoj fazi polja ali s vremenom eksploatacije taj udio se povećava i prema kraju životnog vijeka polja može porasti na više od 80% (Borthwick et al., 1997).

Pri normalnom radu proizvodne bušotine nema izlaženja fluida iz zatvorenog sustava, a time ni negativnog utjecaja na okolne vodene ekosustave. U slučaju propuštanja ili akcidenata, vode su najugroženiji resurs jer se nafta kao laši medij širi po površini vode i telativno male količine nafte mogu zahvatiti veću površinu.

Istjecanje i procjeđivanje ostalih tehnoloških otpadnih fluida i onečišćenih oborinskih voda u okoliš također može dovesti do značajnog onečišćenja podzemnih i površinskih voda. Učinci mogu biti osobito opasni kada se podzemne i površinske vode koriste u kućanstvu ili primjerice gdje postoji mogućnost onečišćenja ribogojilišta ili nekog ekološki značajnog područja.

U procesu bušenja koristi se isplaka koja može sadržavati aditive vrlo štetne po okoliš (vidi potpog. 2.2.). O tome je potrebno voditi računa, pogotovo u fazi bušenja kroz zone podzemnih voda, na način da se pojednostavljenim rudarskim projektom za svaku pojedinu bušotinu odredi upotreba bentonitne isplake bez aditiva ili s ekološki prihvatljivim aditivima pri bušenju, kao i ugradnja zaštitne uvodne kolone kroz zonu podzemnih voda. Obzirom na suvremene tendencije zaštite okoliša, potrebno je također poticati izgradnju kanala bušotine bez isplačne jame. Na vrijednom poljoprivrednom, kao i šumskom zemljištu, te u vodozaštitnim zonama, izrada kanala bušotine izvodi se isključivo bez isplačne jame, što ima svoje ekološko i ekonomsko opravdanje (INA-CNP, 1993).

2.4.4. Utjecaj na tlo

Osnovni utjecaj na tlo sastoji se u prenamjeni tla u okviru bušotinskog kruga i pristupnih puteva, te je detaljnije je opisan u potpoglavlju 2.4.1. Pored tog utjecaja koji se

ne može izbjeći, može doći i do onečišćenja tla, što će uzrokovati neželjene utjecaje na floru i faunu lokaliteta. Mogući izvori onečišćenje tla su:

- izlijevanje/istjecanje i procjeđivanje nafte i kemikalija (radnih i/ili pomoćnih fluida) na/u tlo (npr. uslijed nekontroliranog istjecanja bušotinskog fluida izvan zatvorenog sustava ili nesavjesnog rukovanja pomoćnim fluidima)
- nepropisno odlaganje krutog otpada,
- procjeđivanje otpadnog fluida iz isplačne jame u okolno tlo u slučaju nepropisno projektiranih, izgrađenih i/ili održavanih isplačnih jama (npr. propusno dno i bokovi isplačne jame),
- transporta ugljikovodika od bušotine do sabirne i otpremne stanice.

Onečišćenje tla može posredno utjecati na zdravlje ljudi kroz onečišćenje vodonosnika ili neposredno kroz bioakumulaciju u biljkama koje konzumiraju ljudi ili uzgojne životinje. Povećanje koncentracije ugljikovodika u tlu, npr. uslijed izlijevanja i procjeđivanja nafte i kemikalija tijekom rada na rudarskim objektima ili pri transportu, može rezultirati promjenom mikrobiološke slike tla, opadanjem ukupne mikrobiološke aktivnosti, smanjenjem broja aerobnih bakterija i naglim povećanjem anaerobnih bakterija u zagađenom tlu, padom redoks potencijala u tlu i postupnom redukcijom spojeva željeza, mangana, sumpora i dr. (Pletikapić et al., 2015).

Potencijalni utjecaji koji mogu proizaći iz loše izvedenog projektiranja i/ili izgradnje rudarskog objekta također uključuju eroziju uvjetovanu strukturom tla, nagibom terena i hidrološkim karakteristikama lokacije. Neporemećena i prekrivena vegetacijom tla imaju održiv integritet, međutim uklanjanjem vegetacije tlo postaje izloženo eroziji. Promjene značajki tla uslijed erozije mogu rezultirati mnogobrojnim sekundarnim utjecajima, kao što su: promjene površinske hidrologije i odvodnjavanja, povećano zamuljivanje prirodnih voda, oštećenja staništa i općenito smanjenje kapaciteta okoliša za podršku vegetaciji i životinjskom svijetu. Uklanjanje vegetacije u krugu koji je nužan za bušaće postrojenje i prateće objekte može potaknuti lokalno stanovništvo na daljnje uklanjanje vegetacije, što može biti pogubno za svekoliku floru i faunu na lokaciji zahvata (Borthwick et al., 1997).

Teška mehanizacija i transportni kamioni mogu svojom velikom težinom narušiti strukturne osobine tla zbijanjem podpovršinskog dijela tla i narušiti vodozračne odnose tla, posebno u doba velikih oborina.

Zbog svoje jednostavnosti, odlaganje u jame ili prekrivanje otpada zemljištem na bušotinskim i proizvodnim pogonima bio je čest način odlaganja otpada u prošlosti. Povijesno gledano, otpadne jame su bile korištene za odlaganje inertnih, nereciklirajućih

materijala i čvrstih tvari nastalih bušenjem. Jame su također korištene za evaporaciju i skladištenje slojne vode i otpadnih fluida nastalih pri remontu postrojenja, te za odlaganje stabiliziranog/solidificiranog otpada. U slučaju isplake i krhotina razrušenih stijena bitno svojstvo je sadržaj soli koji može biti vrlo visok. Sušna područja su više sklona štetnim učincima u odnosu na vlažnija područja, odnosno alkalna tla ili tla s visokim sadržajem gline u usporedbi s kiselim, visoko organskim ili pjeskovitim tlima (Borthwick et al., 1997). Mogućnost istjecanja i/ili procjeđivanja onečišćujućih tvari odloženih u otpadnim jamama nosi potencijalnu opasnost od onečišćenja tla i vodnih resursa, što posredno ugrožava floru, faunu i ljudsko zdravlje. Kako bi se ta mogućnost svela na minimum, potrebno je odlagalište projektirati, izgraditi i održavati u skladu s važećim propisima i pravilima struke (detaljnije o tome u narednim poglavljima).

2.4.5. Utjecaj na floru i faunu

Utjecaj na ekološke resurse je proporcionalan veličini zone u kojoj se provodi tehnološki proces pridobivanja nafte i plina. S obzirom da se sve aktivnosti bušaćeg postrojenja odvijaju u okviru bušotinskog kruga, ne dolazi do značajnijeg utjecaja na floru i faunu izvan tog dosega. Vegetacija i površinski sloj tla uklanjanju se u svrhu izgradnje radnog platoa, pratećih objekata, cjevovoda i pristupnih cesta što rezultira neposrednom fragmentacijom i gubitkom staništa divljih životinja, smanjivanjem raznolikosti biljaka i životinjskih vrsta, povećanom erozijom i potencijalnim uvođenjem invazivnih biljaka. Neizravni utjecaji na vegetaciju uključuju povećano stvaranje i taloženje prašine, širenje invazivnih i štetnih korova i povećani rizik od požara. Prašina štetno utječe na vegetaciju ograničavanjem fotosinteze, a time i smanjenjem rasta i rasprostiranja, što rezultira osiromašivanjem autohtone vegetacije i smanjenjem bioraznolikosti (TEEIC, 2015). Iz navedenog proizlazi da značajniji utjecaj na biljni i životinjski svijet dolazi do izražaja ukoliko se bušotina s pristupnom cestom izgrađuje u šumi. U tom slučaju dolazi do narušavanja prirodnog mikroklimatskog režima šume (svjetlo, vlaga, temperatura, itd.) i procesa degradacije šume. Mikroklimatski uvjeti također se mogu poremetiti skretanjem površinskih vodenih tokova. O tome je potreno voditi računa u postupku određivanja lokacije bušotine (INA-CNP, 1993).

Promjene u okolišu, kao što su promjene kvalitete vode, zraka i tla, promjene vegetacijskog pokrova, prekomjerna buka i svjetlosno onečišćenje izravno utječu i na biljne i životinjske zajednice, odnosno na njihova staništa, izvore hrane i hranjivih tvari,

mogućnost razmnožavanja, migracijske putove životinjskih vrsta, izloženost nižih vrsta u prehrambenom lancu grabežljivcima, način ispaše biljojeda s posrednim utjecajem na predatore, itd. Višegodišnje iscrpljivanje površinskih voda u svrhu potreba postrojenja uzrokuje smanjen protok vode, što može prouzročiti gubitak staništa, odnosno nestajanje vodene i priobalne flore i faune. Kao što je prethodno spomenuto, procesi oštećenja tla, uklanjanje vegetacije i sekundarni učinci poput erozije tla i zamuljivanja voda mogu utjecati na ekološku cjelovitost i dovesti do posrednih negativnih učinaka poremećajem ravnoteže hranjivih tvari i mikrobiološke aktivnosti u tlu. Ukoliko se ne poduzmu odgovarajuće mjere zaštite, potencijalni dugoročni učinak je gubitak staništa flore i faune i promjene u sastavu vrsta, a time neizravno dolazi do promjena u biološkom okruženju lokalnog stanovništva. Negativne ekološke promjene mogu prouzročiti i drugi antropogeni utjecaji kao što su požari, te povećani lov, ribolov i mogući krivolov uslijed izgradnje pristupnih puteva. Također je važno uzeti u obzir činjenicu da promjene biološkog okruženja (flore i faune) u značajnoj mjeri utječu na lokalno stanovništvo (Borthwick et al., 1997; TEEIC, 2015).

U slučaju akcidenata može doći do izlijevanja hidrauličkog fluida, isplake, slojne vode, nafte te curenja plina što rezultira onečišćenjem okoliša te utjecajem na staništa i vrste. Slojna voda sadrži ostatke policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAU), hlapljivih organskih tvari, teških metala te radioaktivnih tvari. Biljke koje apsorpcijom određenih metala i radioaktivnih tvari predstavljaju opasnost za zdravlje životinja i ljudi koji ih konzumiraju. Direktna izloženost slojnoj vodi dovodi do akutne toksičnosti. Barit iz isplake sadrži određene koncentracije teških metala (živa, kadmij) koji imaju svojstva bioakumulacije. Isplačni muljevi također mogu sadržavati povišene koncentracije ugljikovodika koje imaju akutno djelovanje, a nakon dugog vremena izloženosti organizama nižim koncentracijama može doći i do subletalnih efekata. Policikličke aromatske ugljikovodike karakterizira visoka toksičnost i direktna izloženost rezultira letalnim učinkom na divlje životinje. Obzirom na postojanost PAU u okolišu i bioakumulativnost, štetni učinci mogu se ispoljiti tek nakon nekoliko generacija uslijed dugotrajnog izlaganja nižim koncentracijama (Pletikapić et al., 2015).

2.4.6. Utjecaj buke

Transportni i proizvodni sustavi proizvodit će buku i utjecati na ljude kao i na svekoliku faunu rezultirajući napuštanjem staništa i smanjenjem bioraznolikosti. Buka

može na ljude i životinje djelovati izravno i neizravno. Izloženost buci može, osim oštećenja sluha, izazvati umor, razdražljivost, povišeni tlak, smanjenje koncentracije, smanjenje radne sposobnosti, smetnje u komunikaciji i poremećaj normalnog sna. Izloženost buci općenito je stresogena i štetna po ljudsko zdravlje. Negativan utjecaj buke pogotovo je izražen ukoliko je bušotina locirana u blizini naselja, dok u nenaseljenom području može djelovati na životinjski svijet (osobito na divljač). Buka vrlo negativno utječe na lokacije životinjske populacije i rezultira primarno napuštanjem staništa.

Tijekom pripremnih i građevinskih radova na lokaciji buku stvaraju radni strojevi i transportna sredstva (rovokopači, bageri, transportni kamioni, itd.), a u fazi izrade bušotina pogonski motori u sastavu bušaćeg postrojenja. Pri tome, treba uzeti u obzir da je proces bušenja ograničenog trajanja. Proizvodne bušotine, bez obzira na način pridobivanja, ne predstavljaju značajan izvor buke. Buka radnih strojeva može varirati i ovisi o: karakteristikama, radnom režimu i održavanju motora, te zahtjevnosti građevinskih zahvata (Pletikapić et al., 2015).

Utjecaje buke na okoliš treba procijeniti uporabom osnovnih metoda procjene utjecaja buke. U slučaju značajnih izvora buke potrebno je koristiti modele disperzije buke za određivanje razina buke. Razina buke može se smanjiti propisnim projektiranjem zvučnih barijera ili zvučnih izolacija na tehnološkim segmentima kao što su kompresori, pumpe, baklja za spaljivanje plinovite faze, te poduzimanjem drugih mjera za smanjenje emeisije buke (IL&FS Ecosmart Limited, 2009). Razine buke izmjerene na radnom podištu tornja i kojoj su djelatnici na postrojenju izloženi kreću se od 84 dB do 94 dB, a s obzirom da je kao granica štetnog djelovanja na sluh određen ekvivalentni nivo trajnog zvuka od 80 dB, djelatnici su dužni nositi zaštitna sredstva za zaštitu sluha sa svrhom zaštite sluha. U ostalim radnim prostorima buka se kreće između 84 i 88 dB što ukazuje da na svim dijelovima postrojenja buka prelazi granicu izloženosti buci propisanu *Pravilnikom o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu* (NN 46/08) stoga je obavezna upotreba osobnih zaštitnih sredstava za zaštitu sluha. Promatrajući bušotinu kao točkasti izvor zvuka, odnosno buke, očekivana razina buke iznosi 65 dB (A) za zonu radijusa 58 m, odnosno 55 dB (A) za zonu radijusa 82 m. Ispitivanja su pokazala da su izmjerene vrijednosti buke u eksploatacijskom režimu rada bušotine oko 50 dB čime zadovoljavajuzakonski propisane vrijednosti propisane *Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave* (NN 145/04), stoga nije potrebno propisivati dodatne mjere zaštite, ali je potrebno provoditi monitoring razina buke (Pletikapić et al., 2015).

2.4.7. Utjecaj na prirodne i kulturne vrijednosti

S aspekta kulturno-povijesne baštine najveći utjecaj rudarsko geoloških zahvata odnosi se na arheološku baštinu. Utjecaj je pozitivan, ako tijekom prethodnog arheološkog istraživanja dođe do pronalaska novih arheoloških nalaza, dokumentiranja i prezentacije novih arheoloških lokaliteta dok je negativan utjecaj prisutan ukoliko dođe do promjene prostornog i vizualnog integriteta pojedinačnih povijesnih građevina i povijesnih cjelina (urbanih i ruralnih) te do narušavanja autentičnosti kulturnog dobra i povijesnog ambijenta ili do oštećenja arheološkog nalazišta.

Krajobrazno gledano, kao polazište za procjenu utjecaja treba uzeti u obzir da su prirodni uvjeti povoljniji što je promatrani prostor udaljeniji od antropogenog utjecaja, što je veća bioraznolikost, što je kategorija zaštite veća te što je teren nepristupačniji. Planiranjem izvođenja rudarsko geoloških zahvata na osobito vrijednim prirodnim područjima i područjima sa značajnim udjelom tradicijskih elemenata, realizacijom zahvata može doći do ugrožavanja izvornosti takvih područja. Ugroženo je očuvanje područja s visokom kategorijom nacionalne ili međunarodne zaštite. Realizacijom zahvata narušava se prirodnost područja, a blizina lokacije zahvata utječe na atraktivnost područja na kojemu su zastupljeni elementi vodenih površina i elementi prirodne i kulturne baštine (Pletikapić et al., 2015).

2.4.8. Utjecaj u slučaju ekološke nesreće (akcidenta)

Planovi za sve seizmičke, bušaće i proizvodne procese trebaju uključivati mjere za rješavanje potencijalnih izvanrednih slučajeva koji ugrožavaju ljude, okoliš ili imovinu (Borthwick et al., 1997). Međutim, čak i uz pravilno planiranje, projektiranje i provedbu ispravnih postupaka i obuku djelatnika, može doći do izvanrednih situacija kao što su:

- razlijevanje/istjecanje goriva, nafte, plina i kemikalija,
- nekontrolirana erupcija ugljikovodika iz naftnih ili plinskih bušotina,
- eksplozije i požari (na postrojenju ili prostoru koji ga okružuje),
- iznenadni, neplanirani kvarovi i poremećaji u radu postrojenja,
- elementarne nepogode i njihov utjecaj na izvođenje tehnoloških procesa (poplave, potresi, udar groma i itd.),
- rat i sabotaža.

Nepravilno izvođenje radova tijekom procesa izrade, opremanja i održavanja bušotina, te eksploatacije, kao i nepropisno zbrinjavanje otpadnog materijala, skladištenje i transport, mogu rezultirati ispuštanjem određenih količina nafte, slojne vode, isplake, goriva i drugih po okoliš štetnih fluida u okolno tlo, površinske i podzemne vode.

Tijekom izrade bušotine pod djelovanjem slojnog tlaka može doći do dotoka nafte i njenog izbacivanja iz bušotine na površinu bušotinskog radnog prostora. Primjenom isplake odgovarajuće gustoće uspostavlja se primarna kontrola tlaka u bušotini i sprječava dotok nafte iz sloja u kanal bušotine. Ukoliko ipak dođe do dotoka nafte, njeno izlijevanje na površinu sprječava se sekundarnom kontrolom tlaka, tj. aktiviranjem preventerskog sklopa koji zatvara ušće bušotine (Pletikapić et al., 2015).

U slučaju nekontroliranog istjecanja slojnog fluida, utjecaj na okoliš ovisi o količini i sastavu iscurjelog fluida. Drugim riječima, utjecaj može varirati od neznatnog, pri manjim tehnološkim propuštanjima, pa do većih ekoloških nesreća u slučaju nekontrolirane erupcije ugljikovodika iz bušotine. Nekontrolirane erupcije, kao događaji s najvećim potencijalnim utjecajem na okoliš, moguće su kod bušotina samo u slučaju grubog fizičkog oštećivanja nadzemnog dijela opreme. Ukoliko je uz proizvodnu bušotinu postavljen uređaj za doziranje aditiva, postoje dodatne mogućnosti negativnog utjecaja na okoliš vezane za otrovne, zapaljive i eksplozivne tvari, osobito prilikom transporta i pretakanja tih aditiva.

Požari i eksplozije posebno su štetni po okoliš jer svojom razornom moći mogu oštetiti ili uništiti šumske površine, tlo, graditeljsku i/ili arheološku baštinu na lokaciji bušotine, te direktno ugroziti ljudsko zdravlje, biljni i životinjski svijet. Utjecaji na zrak u slučajevima akcidenata mogu kratkotrajno biti veliki (povišene koncentracije onečišćujućih tvari u zraku uslijed emisija pri gorenju fluida) ali dugoročne posljedice na okoliš i okolno stanovništvo nisu očekivane (Pletikapić et al., 2015).

Opasnost od požara i/ili eksplozije prisutna je zbog značajki (zapaljivost, eksplozivnost) slojnih fluida (nafta, plin) i pomoćnih medija (pojedini aditivi u isplaci, gorivo i sl.). Osnovna zaštitna mjera je sprječavanje nekontroliranog izlaženja slojnih fluida i ostalih navedenih medija u okoliš. Mjesta gdje je moguća pojava eksplozivne smjese plinova i para ili zapaljivih tvari definirana su kao izvori opasnosti oko kojih se, Pojednostavljenim rudarskim projektom, definiraju odgovarajuće zone opasnosti od požara odnosno eksplozije. U zonama opasnosti od eksplozije zabranjeno je odlaganje zapaljivih tvari, rad s otvorenim plamenom, rad s alatima i uređajima koji pri upotrebi mogu izazvati iskru, te upotreba električnih uređaja koji nisu u skladu s normativima propisanim za

protueksplozijsku zaštitu. Operativnim planom zaštite od požara za bušaće postrojenje definirana je sva vatrogasna oprema i svi potrebni postupci za gašenje požara (INA-CNP, 1993).

Pravilnim izborom opreme i materijala u fazi projektiranja s obzirom na uvjete rada (radne temperature i tlakovi, korozijska agresivnost medija itd.), sprječavaju se i oštećenja uslijed korozije koja bi se mogla pojaviti u tehnološkom procesu, a koja bi u zoni nekontroliranog izlaženja opasnih fluida mogla utjecati na sigurnost izvođenja procesa. Nadzemni dijelovi opreme štite se od korozije, osim izborom odgovarajućeg materijala, i primjenom različitih premaza (INA-CNP, 1993).

Jedna od bitnih preventivnih mjera zaštite je ograđivanje bušotina u posebnim uvjetima, npr. kada su bušotine izložene opasnosti od oštećenja, ili one same mogu biti izvor opasnosti za okoliš ("teški" uvjeti eksploatacije, bušotine u naseljenim mjestima, utisne bušotine i dr.). U slučaju kada se u procesu pridobivanja koriste uređaji za doziranje aditiva, isti moraju biti ograđeni, ukoliko nema ograde. U pojednostavljenom rudarskom projektu svake bušotine potrebno je obraditi slijed geoloških slojeva u kojem su naznačena moguća ležišta plitkih pripovršinskih plinova, a koji u toku izgradnje kanala bušotina mogu biti izvor mogućeg akcidenta (INA-CNP, 1993).

U svrhu sigurnog rada i zaštite okoliša potrebno je bušotinski krug opremiti jasno vidljivim standardnim oznakama obavještenja, upozorenja i zabrane. Nužno je za slučaj akcidenta imati pripremljene i razrađene odgovarajuće planove, obučeno ljudstvo i adekvatnu opremu za intervenciju čime se ublažavaju posljedice moguće nesreće. U slučaju onečišćenja okoliša, potrebno je mjesto onečišćenja sanirati na siguran i trajan način.

Za svako eksploatacijsko polje izrađuje se Glavni rudarski projekt, a za svaku bušotinu u sklopu polja Pojednostavljeni rudarski projekt. Ovim se dokumentima definiraju se sve opasnosti koje proizlaze iz tehnološkog procesa i svi osnovni parametri u pogledu tehničkih rješenja kojima se te opasnosti uklanjaju ili smanjuju na minimum u skladu s važećom zakonskom regulativom, odnosno osigurava zaštita okoliša, zaštita na radu, sigurnost pogona i ljudi, te podzemnih i površinskih objekata u cjelini. Svi radni postupci tijekom izvođenja radova na bušotinama, a naročito postupci koji mogu biti povezani s ugrožavanjem okoliša, strogo su definirani odgovarajućom tehničkom dokumentacijom (INA-CNP, 1993).

3. POSTUPCI ZBRINJAVANJA TEHNOLOŠKOG OTPADA NASTALOG U PROCESU IZRADE BUŠOTINA I EKSPLOATACIJE UGLJIKOVODIKA

Gospodarenje otpadom na ekološki način počiva na hijerarhiji mjera kojima se prvo nastoji maksimalno smanjiti količina nabušenog otpada i njegov utjecaj na okoliš, slijedeći korak je maksimalno upotrijebiti ili reciklirati otpad koji je ipak nastao pri procesima pridobivanja nafte i plina, a tek se na kraju ono što se nikako nije moglo ni spriječiti, ni upotrijebiti, obrađuje se ili direktno odlaže na odlagališta za zbrinjavanje tehnološkog otpada. Promatrano organizacijski i tehnološki, tvrtkama koje proizvode otpadni materijal odlaganje ili spaljivanje otpada mnogo je jednostavnija i jeftinija metoda u odnosu na zbrinjavanje nastalog otpada u sofisticiranim tehnološkim sustavima koji na okolišno prihvatljiv način suvremenim tehnološkim procesima prevode opasan i toksičan otpad u neopasan i ekološki neškodljiv proizvod.

Strogi hijerarhijski slijed zbrinjavanja otpada koji definiraju europske direktive i Europski Zakon o otpadu shematski je prikazan na slici 3-1.



Slika 3-1. Hijerarhija gospodarenja otpadom (Mariscina.com, 2015)

Koncept zbrinjavanja otpada uključuje slijedeće opcije, redom od najpovoljnije do najnepovoljnije:

- ponovno korištenje
- recikliranje
- dobivanje energije iz otpada (npr. električne/toplinske energije spaljivanjem otpada)
- odlaganja ostatnog otpada

Ovaj je strogi redoslijed uspostavljen s obzirom na ukupnu ocjenu održivosti, odnosno ekološke prihvatljivosti. Navedena rješenja koriste se i primjenjuju navedenim redoslijedom, smanjujući u svakom ciklusu količinu otpada za dalju obradu. Primjer regeneracije korištene isplake i njeno ponovno korištenje u procesu bušenja kanala bušotine uvelike utječe na smanjenje otpada nastalog bušenjem.

Odlaganje mora biti posljednji korak u hijerarhiji zbrinjavanja otpada. Neiskoristivi ili stabiliziran otpad može se odlagati ili trajno skladištiti na zakonski propisana odlagališta. Povećanje broja odlagališta otpada baziranih na suvremenim konceptima odlaganja će biti nužno za bližu, predvidivu budućnost, ali se mogu značajno unaprijediti na način da ne ugrožavaju podzemne vode i tlo uz značajno smanjenje emisija štetnih plinova kao rezultat primjene novih tehnoloških rješenja (TEEIC, 2015).

Paralelno s razvojem novih tehnologija bušenja i pridobivanja nafte i plina razvijene su tehnološki inovativne metode sanacije koje tehnološkim unapređenjima zasnovanim na najnovijim znanstvenim spoznajama u sferi naftnog rudarstva postavljaju nove standarde u kvaliteti i kvantiteti obrade nabušenog otpadnog materijala. Primjena određene metode za sanaciju je uvjetovana fizikalno-kemijskim značajkama obrađivanog materijala, značajkama lokacije i drugim parametrima.

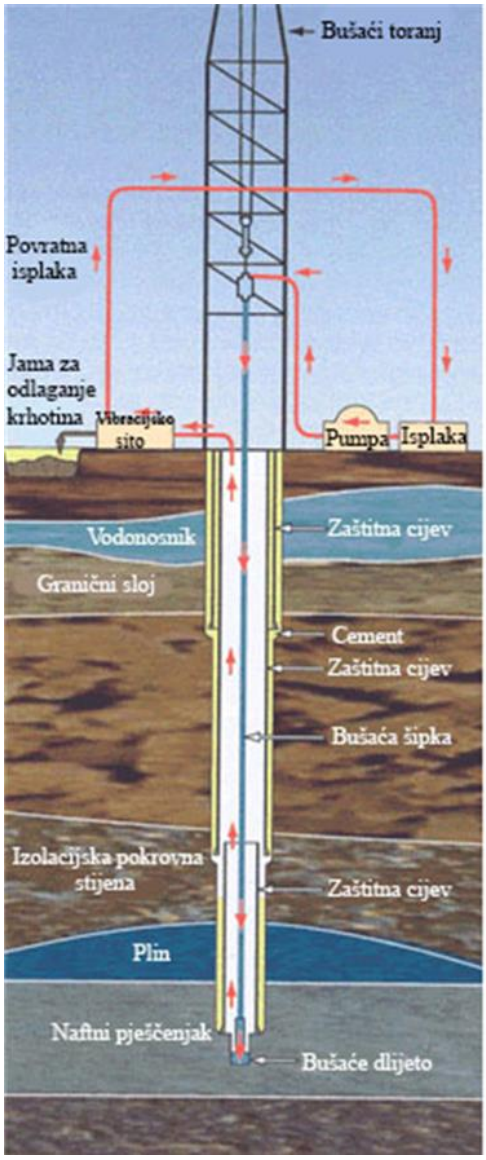
U nastavku su opisane mogućnosti smanjenja nastajanja i postupci zbrinjavanja tehnološkog otpada u procesu izrade i korištenja naftnih bušotina, koji se koriste u današnjoj praksi.

3.1. Smanjenje nastajanja otpada (izbjegavanje stvaranja otpada na izvoru)

Konvencionalni proces bušenja naftnih i plinskih bušotina koristi rotacijsko bušaće dlijeto koje se podmazuje isplakama. Rotacijsko bušaće dlijeto bušenjem i prodiranjem kroz slojeve stijena stvara velike količine samljevenih stijena poznate kao krhotine razrušenih stijena. Naftne i plinske bušotine su konstruirane s više slojeva cijevi poznatih

kao zaštitne cijevi. Tradicionalne bušotine nisu izbušene od vrha do dna istim promjerom već u serijama s postupnim intervalima manjih promjera cijevi, gornji interval bušotinskog kanala ima najveći promjer bušotine (slika 3-2.).

Bušaća dlijeta su dostupna u raznim veličinama za potrebe bušenja različitih promjera, dubljim bušenjem promjeri cijevi se smanjuju. Promjer bušotine može biti 0,51 m (20") ili veći za najgornje dijelove bušotine, zatim različitih kombinacija postupno manjih promjera. Neki od uobičajenih promjera kanala bušotine su: 0,44 m (17,5 inch), 0,37 m (14,75 inch), 0,31 m (12,25 inch), 0,22 m (8,5 inch), 0,20 m (7,875 inch), i 0,16 m (6,5 inch) (ANL, 2008).



Slika 3-2. Shematski prikaz tehnologije bušenja (ANL, 2008)

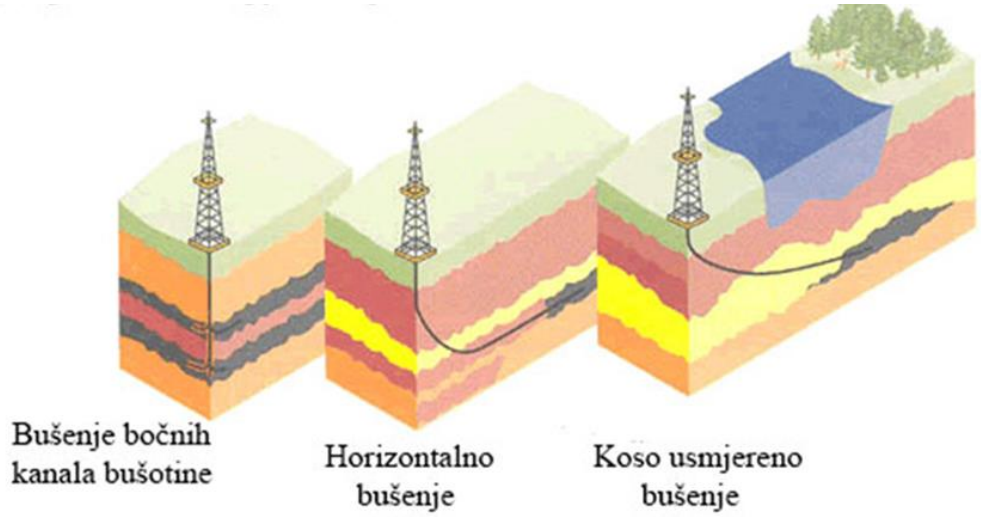
Povijesno gledano, bušotine su izbušene da budu relativno okomite i završene su na dubini na kojoj sijeku jednu formaciju. Moderna tehnologija omogućava izmjene nekoliko aspekata ovog postupka, omogućavajući veću proizvodnju nafte i plina s manje bušenja uz smanjenje nastajanja nabušenog otpada. Bušenje može biti provedeno na način da se iz glavne bušotine vrši bušenje u više smjerova, bušotina može biti izbušena korištenjem manjeg promjera cijevi u bušotinama. Bušenje može biti obavljeno koristeći tehnologije sa smanjenom količinom isplake. Razvijeni su isplačni bušotinski sustavi upotrebom kojih se bitno smanjuje količina nužno nastalog otpada. Ako je to izvedivo, korištena bazna isplaka može se ponovno koristiti u drugom procesu bušenja. Rezultat čega su značajne uštede troškova procesa bušenja i smanjenje količine otpada kojeg je potrebno ekološki zbrinuti (ANL, 2008).

Ako tvrtka koja je proizvela otpadnu isplaku nije u mogućnosti obnoviti rabljenu isplaku, postoje nekoliko tvrtki koje su specijalizirane za revitalizaciju isplake i njenu doradu u svrhu ponovne uporabe u procesu bušenja. Što također ima vrlo dobar ekonomski efekt, obzirom se otpadni fluid za koji je bilo potrebno platiti odlaganje, ponovno koristi uz dodatni prihod (Sellassie, 2011).

Američki odjel za energiju *(Department of Energy (DOE))* opisuje ekološki prihvatljive tehnologije na naftnom polju u izvješću iz 1999. g., „Ekološke prednosti uspješnog istraživanja nafte i plina i tehnologije proizvodnje“ (ANL, 2008).

3.1.1. Tehnologije bušenja

Sredinom 1970-ih, počinje razvoj novih tehnologija za poboljšanje i optimizaciju procesa bušenja poput upravljivih bušaćih sklopova opremljenih konstrukcijskim dubinskim motorima. Kao posebnost koja je znatno olakšala izradu horizontalnih bušotina je otkriće i primjena uređaja koji omogućuju kontinuirano mjerenje, kako neophodnih bušaćih parametara, tako i osnovnih geoloških podataka za vrijeme samog bušenja, tj. *(„Measurement While Drilling“ – (MWD))* uređaja. Nova tehnologija u kombinaciji dopušta nastavak procesa bušenja pri različitim kutovima izvan vertikale. Bušenje je danas moguće duž proizvodnog sloja pod različitim odmacima od vertikale kao i duž horizontalnog pružanja proizvodnog sloja što mnogostruko pospješuje proizvodnju ugljikovodika i smanjuje troškove procesa. Slika 3-3. prikazuje napredne tehnologije bušenja koje uključuju bušenje bočnih kanala bušotine iz jedne primarne bušotine, horizontalno bušenje i koso usmjereno bušenje (ANL, 2008).



Slika 3-3. Napredne tehnologije bušenje (ANL, 2008)

Nove tehnologije za poboljšanje i optimizaciju procesa bušenja obuhvaćaju (ANL, 2008):

- Bušenje produženog dosega

U nekim situacijama, nepraktično je ili preskupo bušenje bušotina na mjestima koja se nalaze direktno iznad ciljne formacije. Bušenje na moru puno je skuplje u odnosu na bušenje sa postrojenja stacioniranog na obali. Ako je ciljna formacija miljama od obale, bilo bi mnogo učinkovitije koso usmjereno bušenje s mjesta na kopnu. Druga opcija uključuje korištenje platforme ili bušaćeg platoa za bušenje bušotina višestruko produljenog dosega u različitim smjerovima ili na različitim dubinama, umanjujući broj površinskih postrojenja bušaćih platoa.

- Horizontalno bušenje

Neke proizvodne formacije se nalaze u relativno tankom sloju, ali protežu se duž velike horizontalne površine. Prije pojave koso usmjerenog bušenja, takve formacije su bile ili neekonomične ili su zahtijevale više bušotina za značajan iscrpak. Tehnologijom horizontalnog bušenja moguće je bušenje u tankom horizontalnom sloju. Jedna horizontalna bušotina može vezati više izvora ugljikovodika čime se potpuno anulira potreba za izgradnjom nekoliko tradicionalnih vertikalnih bušotina. Interval bušotine od površine do proizvodne formacije čini jedan proizvodni kanal, horizontalnim bušenjem stvara se daleko manje nabušenog otpada u odnosu na bušenje nekoliko vertikalnih bušotina za isti iscrpak ugljikovodika.

- Bušenje bočnih kanala bušotine

Neke formacije sadrže više, manjih naftnih ležišnih zona ili zona sa nekoliko različitih dubina. Za pridobivanje takvih resursa korištenje tradicionalnih vertikalnih bušotina zahtijevalo bi izvedbe s mnogo bušotina. Sa tehnologijom koso usmjerenog bušenja, bočni kanali bušotine mogu biti izbušeni izvan glavne vertikalne bušotine kako bi se dosegle pojedinačne ciljane točke. Glavna bušotina je izbušena jednom, nakon čega slijedi bušenje nekoliko bočnih kanala bušotina manjeg promjera. Ukupna količina otpada nastalog bušenjem je puno manja no što bi nastala bušenjem nekoliko bušotina s jednim kanalom bušotine (ANL, 2008).

Usmjerenim bušenjem smanjuje se broj bušotinskih platoa i pristupnih cesta potrebnih za opskrbu i održavanje bušotinske opreme. Ova strategija je posebno poželjna pri procesima bušenja u ekološki osjetljivim područjima (NPS, 2006).

- Bušenje bušotina manjeg promjera

Količina nastalih čvrstih krhotina probušenih stijena izravno je povezana sa promjerom bušotine koja je izbušena. Kombinacijom više tehnologija moguće je bušenje bušotina manjeg promjera.

- Bliži razmak kolona zaštitnih cijevi

Veličina i ukupni volumen krhotina su u funkciji tipa bušaćeg dlijeta i promjera korištenih cijevi. U prošlosti su samo standardne veličine bušaćeg dlijeta i zaštitnih cijevi bile na raspolaganju, tako da je svako smanjenje veličine otvora bušotine bilo vrlo dramatično. U posljednjih nekoliko godina raznovrsnost dostupnih bušaćih dlijeta i izbor veličina cijevi višestruko je povećan. Sada, susjedne unutarnje zaštitne kolone mogu stajati bliže zajedno, tako da vanjska zaštitna kolona ne mora biti toliko udaljena od unutarnjeg niza čime se smanjuje volumen nastalih krhotina.

- Bušenje bušotina malih promjera

Prema DOE (1999), bušotine malih promjera su definirane kao bušotine u kojoj je najmanje 90 % bušotine izbušeno sa promjerom 0,15 m (6 inch) ili manjim. Iako je tehnologija bušenja bušotina malih promjera dostupna od 1950-ih, nije se uobičajeno koristila zato što su mali promjeri bušotina ograničavali stimulaciju, proizvodnju i ostale procese u proizvodnoj bušotini. Primjenom suvremenih tehnoloških rješenja prevladani su navedeni nedostaci. Stvaranjem manje količine otpada nastalog bušenjem bušaćeg dlijeta za bušenje bušotina malih promjera smanjuje se potrebna veličina bušaćeg platoa.

- Bušenje savitljivom kolonom uzlaznih cijevi:

Ova vrsta bušenja ne koristi pojedinačne dijelove za bušaće šipke koje su povezane zajedno već je kontinuirana duljina cijevi uzlazne kolone spiralno namotana na bubanj i spuštena niz bušotinu. Savitljive kolone uzlaznih cijevi imaju manji promjer od tradicionalne bušaće šipke, posljedica čega je nastajanje manjeg volumena probušenih krhotina stijena. Osim smanjenja volumena otpada, površina platoa je manja, razina buke je niža i smanjene su emisije u atmosferu.

- Tehnologije bušenja koje koriste manje količine tekuće isplake

Isplake igraju važnu ulogu u konvencionalnom bušenju bušotina. Nakon završetka bušenja fludi budu zagađeni i potrebno ih je reciklirati ili zbrinuti na siguran način. Za neke vrste bušotina moguće je bušenje s minimalnom količinom ili bez tekuće isplake.

- Pneumatsko bušenje

U odabranim formacijama, bušotine se mogu bušiti korištenjem zraka ili drugih plinova kao fluida koji kruže kroz bušotinski sustav. DOE (1999) opisuje četiri različita tipa pneumatskih bušenja: pneumatsko udarno bušenje, bušenje koristeći sustav zrak/aerosol, bušenje korištenjem pjene i bušenje aeriranom isplakom. Ovi se tipovi isplačnih sustava baziraju na plinu ili mješavini plina i isplake za podizanje krhotina probušenih stijena na površinu. Pneumatsko bušenje ne zahtijeva površinske jame velikih dimenzija za odlaganje nabušenog otpada stoga je ova tehnika pogodna za korištenje u ekološki osjetljivim područjima.

Opisane tehnologije i prakse nisu univerzalno primjenjive. Neke od njih prikladne su za uporabu u specifičnim situacijama, druge mogu funkcionirati dobro u mnogim situacijama, ali nisu ekonomski isplative, stoga ne budu odabrane. Ukupan trošak bušenja bušotine prosječno se kreće od stotinu tisuća do milijun dolara. Prilikom obavljanja rutinskih poslova bušenja uporabom novih tehnologija i tehnoloških inovacija direktno se utječe na smanjivanje nastajanja onečišćenog otpada, samim tim smanjuju se štetni učinci na okoliš, uz povećanje proizvodnje nafte i plina (ANL, 2008).

3.1.2. Isplake i aditivi

Povijesno gledano, bušaća industrija koristila je prvenstveno isplake na bazi vode *(WBMs)* zbog prihvatljivije cijene. Iskorištena isplaka s krhotinama probušenih stijena na bazi vode može lako biti odložena *on site* metodom na kopnu. Isplake na bazi vode i krhotine mogu također biti otpuštene s platformi u mnogim američkim otvorenim vodama,

dokle god one ispunjavaju trenutne smjernice ograničenja otpadnih voda *(Effluent Limitations Guidelines (ELGs))*, standarde ispuštanja i druga propisana ograničenja. Isplake na bazi vode ne predstavljaju ekološke probleme za organizme koji žive u vodi ili probleme za organizme koji žive na morskom dnu.

Međutim, za teške situacije prilikom bušenja, kao što su bušotine izbušene u reaktivnim škriljcima, duboke bušotine, horizontalne bušotine i bušotine produženog dosega, isplake na bazi vode ne pružaju dovoljno dobra zahtijevana svojstva tijekom procesa bušenja. Za navedene situacije prilikom bušenja na kopnenim lokacijama, bušaće tvrtke koriste prvenstveno isplake na bazi ulja *(Oil Based Muds (OBMs)).* Isplake na bazi nafte ispunjavaju dobro svoju funkciju, ali su zbog svog baznog sastava predmet mnogo složenijih odlagališnih zahtjeva.

Isplake na bazi nafte sadrže diesel ili mineralno ulje kao bazni fluid i njihovo ispuštanje u more može biti štetno za okoliš. *OBMs* isplake poskupljuju cijenu investicije, skuplje je zbrinjavanje otpadnog fluida nakon završetka tehnološkog procesa bušenja i mogu biti potencijalno štetne za okoliš u akcidentnim situacijama prolijevanja ili neadekvatne obrade i zbrinjavanja pri *in-situ* metodama (ANL, 2008).

Nove tehnologije omogućile su naftnoj industriji ekološki sigurne kemikalije koje omogućuju visoku učinkovitost *WBMs* isplaka u usporedbi s *OBMs* isplakama. Na primjer, visoke performanse *WBMs* isplaka koje sadrže dvije nove kemikalije, amin-polimer i aluminijev kompleks, uspješno su testirane na području Liuhua u Južnom kineskom moru (NPC, 2011).

U 1990-im, bušaće tvrtke su inovativno formulirale nove vrste isplaka koje koriste bezvodne fluide (osim ulja) kao svoju bazu. Primjeri ovih baznih fluida uključuju olefine, estere, linearne alfa-olefine, poli alfa-olefine i linearne parafine. Isplake bazirane na sintetičkoj osnovi imaju poželjna svojstva pri bušenju, ne sadrže policikličke aromatske ugljikovodike i imaju manju toksičnost, bržu biorazgradivost i manji bioakumulacijski potencijal. Pri procesu bušenja koriste se manje količine *SBMs* isplake u odnosu na konvencionalne *WBMs* isplake, stvarajući manji volumen krhotina probušenih stijena i samo izvođenje procesa je čišće u odnosu na bušenje s isplakom na bazi vode. Isplake bazirane na sintetičkoj bazi se recikliraju u najvećoj mogućoj mjeri.

Naftne tvrtke razvijaju različite sustave fluida koji bi bili pogodni za biološki postupak razgradnje tehnološkog otpada. Vrlo je vjerojatno da će tvrtke i dalje razvijati fluide s pogodnim bušaćim svojstvima koji sadrže manje komponenti i aditiva i koji bi bili podobni za kasniju biorazgradnju. U nekim okolnostima, sastojci isplake zapravo mogu

poslužiti kao dodatak tlu ili hortikulturno pomoćno sredstvo. Razvoj isplačnih fluida mogao bi dovesti do posve različitih formulacija. Isplake na bazi otopine mravlje kiseline su predložene kao ekološki prihvatljivije. Otopine na bazi mravlje kiseline su nastale reakcijom mravlje kiseline s metalnim hidroksidom. Uobičajeni primjeri su cezijev format ($HCOO^-Cs^+$), kalijev format ($HCOO^-K^+$) i natrijev format ($HCOO^-Na^+$)

3.2. Recikliranje ili ponovna uporaba nastalog otpada

Većina isplaka na bazi vode *(WBMs)* je odložena kada je posao bušenja završen. Nasuprot tome, isplake na bazi nafte *(OBMs)* i isplake bazirane na sintetičkoj osnovi *(SBMs)* recikliraju se kada je god to moguće. Isplake koje su degradirane do stupnja kada je njihovo obnavljanje ekonomski neisplativo prenamjenjuju se za uporabu u druge svrhe.

Obnavljanje isplake tijekom čišćenja spremnika također dopušta ponovnu upotrebu isplake. Za uklanjanje krutih tvari iz kružeće isplake koriste se centrifuge. Nove formulacije isplačnih tekućina su sastavljene od komponenti koje potpomažu vegetativni rast, čime je isplaka primjenjiva na zemljištima za uzgoj hortikultura, za obnavljanje oštećenih tala ili za obogaćivanje tala niske kvalitete.

Nakon primarnog odvajanja na vibracijskim sitima za čišćenje isplake, krhotine su obložene isplakom i relativno se teško ponovno upotrebljavaju u građevinske svrhe. Daljnji koraci obrade idu u smjeru prevođenja krhotina u što bezopasniji oblik. Neke krhotine su podvrgnute toplinskim postupcima kako bi se uklonile frakcije ugljikovodika, rezultirajući relativno čistim krutim materijalom. Drugi dio krhotina se prosijava ili filtrira kako bi se uklonila većina priljubljenih isplačnih čestica i tekućina. Ako krhotine sadrže previše tekućine stabiliziraju se dodatkom letećeg pepela, cementa, ili nekih drugih materijala u svrhu poboljšanja jednostavnosti u korištenju.

Obrađene krhotine mogu biti iskorištene kao:

- materijal za ispunu u grđevinarstvu
- dnevni pokrovni materijal na odlagalištima otpada
- agregat ili punilo u betonu, cigli, ili proizvodnji građevinskih blokova

Druge moguće primjene u građevinarstvu uključuju primjenu u izgradnji cestovnih kolnika, kao bitumen i asfalt ili kao sirovina u proizvodnji cementa. Otpad nastao bušenjem može se koristiti kao punilo ili osnovni materijal, međutim, pravna odgovornost će uvijek ostati na tvrtki koja je proizvela otpad.

Krhotine probušenih stijena su usitnjeni dijelovi stijena obloženi slojem isplake. Većina krhotina probušenih stijena dospijeva do odlagališta, tek se manji dio ponovno upotrebljava. Kako bi se krhotine mogle ponovno upotrijebiti potrebno je osigurati da sadržaj ugljikovodika, sadržaj vlage, salinitet i sadržaj gline u krhotinama budu prikladni za namjeravanu uporabu. Neke krhotine, osobito pri obradi isplaka s bušotina na morskim lokacijama zahtijevaju pranje otopljenih soli kako bi se uklonio njihov sadržaj za daljnje namjensko korištenje. Voda korištena za pranje može se odložiti u utisnu bušotinu. Obnova močvarnih područja korištenjem krhotina razrušenih stijena još je jedna nova primjena otpada nastalog bušenjem koristeći ga kao podlogu za obnavljanje priobalnih močvara (ANL, 2008).

Ispitivanja uporabe krhotina na bazi nafte kao goriva za elektrane provedena su nekoliko puta u Velikoj Britaniji (ANL, 2008). Krhotine su bile pomiješane u malom omjeru s ugljenom, primarnim izvorom goriva. Nastali pepeo je bio gotovo isti kao i pepeo nastao gorenjem ugljena (ANL, 2008).

3.3. Odlaganje otpada u isplačne jame

Kao što je spomenuto u prethodnom poglavlju, iskorištena i tehnološki nepodobna isplaka za daljnji proces izrade bušotina, zajedno s krhotinama nabušenih stijena, odlaže se u privremene isplačne jame čiji su nasipi i dno nepropusni. Po završetku izgradnje bušotine, nakon što se istalože kruti sastojci isplake, kompletna se jama sanira prema Pojednostavljenom rudarskom projektu sanacije isplačne jame. U slučaju negativnih istražnih bušotina (prije likvidacije) tekuća faza se utiskuje u bušotinu u dublje propusne slojeve koji nisu povezani s ležištima podzemnih voda. U slučaju proizvodnih bušotina, tekuća faza se transportira do utisne bušotine za otpadne fluide (INA-CNP, 1993). Ovisno o fizikalno-kemijskim značajkama otpadnog materijala i specifičnim uvjetima lokacije zahvata, kruta faza se može obraditi jednim od postupaka ili kombinacijom postupaka opisanim u narednom potpoglavlju, a nakon konačne sanacije (rekutivacije) lokacija se vraća prvobitnoj namjeni ili prenamjenjuje za drugu svrhu.

Dimenzioniranje isplačne jame obavlja se ovisno o predviđenoj količini i vrsti isplake, što je specifično za svaku bušotinu.

Jame su uglavnom izložene atmosferskom utjecaju, stoga akumuliraju oborinsku i tehnološku vodu iz postrojenja. Strateški položaj malih isplačnih jama u blizini bušaćeg

mjesta također može pomoći u smanjenju izlijevanja otpada. Slika 3-4. prikazuje isplačnu jamu uz bušaći toranj, dok je na slici 3-5. prikazana isplačna jama uz završenu bušotinu.



Slika 3-4. Pomoćna otpadna jama uz bušaći toranj (Ramirez, 2009)



Slika 3-5. Pomoćna otpadna jama uz završenu bušotinu (Ramirez, 2009)

Mjere opreza potrebno je posebno provoditi kako bi se spriječilo odlaganje kemikalija, otpadaka, krhotina, ili drugih tvari koje nisu namijenjene za jamsko odlaganje. Na kraju procesa bušenja, bilo koji plutajući ugljikovodični proizvod na vrhu jame zbrinjava se procesom recikliranja, slobodna voda i druge tekućine prikupljaju se i utiskuju u utisnu bušotinu. Preostale krhotine probušenih stijena (slika 3-6.) prekrivaju se izvornim tlom (ANL, 2008).



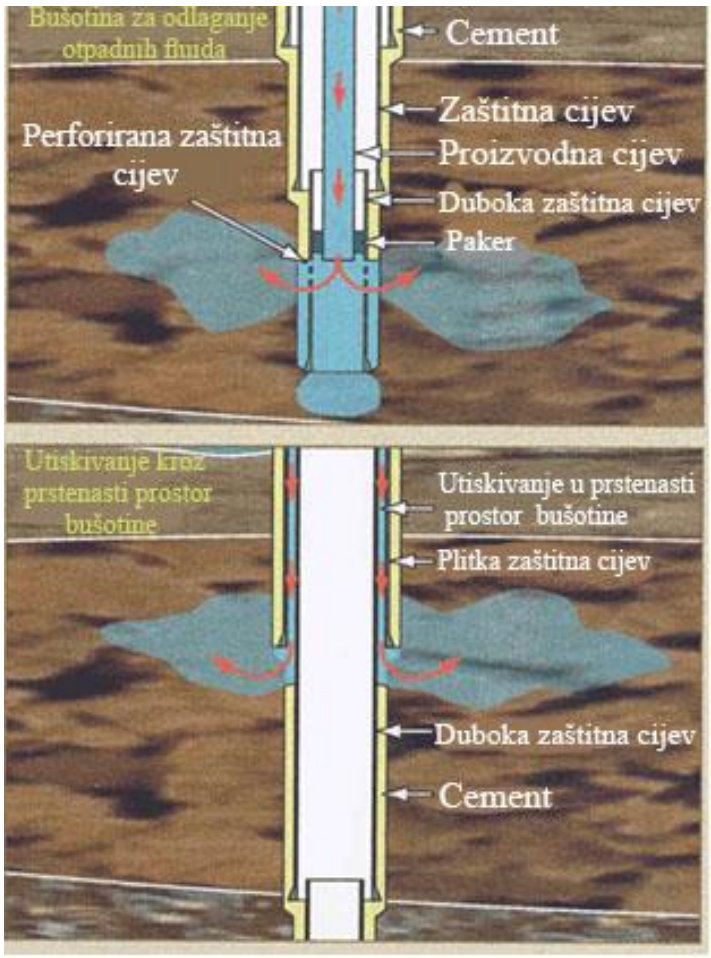
Slika 3-6. Pomoćna otpadna jama nakon isparavanja fluida (Ramirez, 2009)

3.4. Utiskivanje otpadnog mulja kroz bušotine u podzemne formacije

Nekoliko različitih pristupa se koristi za utiskivanje otpada nastalog bušenjem u podzemnu formaciju za trajno zbrinjavanje. Tehnologija utiskivanja fluida s česticama (otpadne kaše), uključuje mljevenje ili preradu krute tvari u male čestice, miješanje s vodom ili nekom drugom tekućinom kako bi se pripremila kaša i injektiranje kaše u podzemnu formaciju na tlakovima dovoljno visokim da izazovu frakturiranje stijene u utisnoj formaciji. Dva su oblika utiskivanja, utiskivanje kroz prstenasti prostor između dva

niza zaštitnih cijevi (*anularno* utiskivanje) i utiskivanje u bušotinu kroz kolonu uzlaznih cijevi odnosno *tubing* (*tubularno* utiskivanje) (slika 3-7). *Anularnim* utiskivanjem otpadna kaša se uvodi kroz prostor između dva niza cijevi. Na donjem kraju vanjske kolone zaštitnih cijevi, kašasti otpad ulazi u formaciju. Opcija bušotine za odlaganje otpadnih fluida uključuje injektiranje na dijelu izbušene bušotine koja je ispod svih kolona zaštitnih cijevi, ili na dijelu zaštitne cijevi koji je perforiran s nizom rupa na dubini utisne formacije.

Utiskivanje kašastog otpada provodi se na način da se otpadni materijal sakuplja i prosijava kako bi se uklonile velike čestice koje mogu uzrokovati začepljenje pumpi ili perforacije u bušotini. Otpadna kaša za utiskivanje mora se pripremiti s određenim reološkim svojstvima te se po potrebi kruti dio unutar kaše mora dodatno usitniti ili na neki drugi način obraditi kako bi se smanjila veličina krutih čestica. Prije utiskivanja kaši se dodaju po potrebi aditivi za poboljšanje viskoznosti ili drugih zahtijevanih fizikalnih svojstava.



Slika 3-7. Utiskivanje otpadne kaše kroz kolonu uzlaznih cijevi i utiskivanje otpadne kaše kroz prstenasti prostor bušotine (ANL, 2008)

Početak utiskivanja počinje utiskivanjem čiste vode kojom se stlačuje i inicira frakturiranje podzemne formacije u koju će se utisnuti pripremljena otpadna kaša. Pri tlaku loma formacije počinje utiskivanje otpadne kaše u bušotinu. Utiskivanje kaše traje sve dok se ne utisne cijela serija kašastog materijala. Na kraju serije dodatno se injektira voda za ispiranje krutih tvari iz bušotine čime je proces injektiranja završen. Sljedećih nekoliko sati tlak u formaciji postupno pada, pukotine unutar formacije se zatvaraju i kruti dio utisnutog otpada ostaje zarobljen u formaciji. Utiskivanje kašastog otpada može se provesti kao kontinuirani proces ili niz naizmjeničnih ciklusa manjeg volumena (diskontinuirani proces) (ANL, 2008).

Utiskivanje kašastog otpada bazira se na lomu i propusnosti formacije koja prima utisnuti kašasti otpad. Ključni parametri za sposobnost prihvata određene količine utisnute kaše su veličina loma, određivanje smjera širenja i oblika loma geološke formacije predviđene za utiskivanje (ANL, 2008).

Tri faktora su ključna pri određivanju isplativosti utiskivanja kašastog otpada (ANL, 2008):

- Volumen materijala koji treba biti odložen – što je veći volumen, utiskivanje postaje više privlačnije u mnogim slučajevima.
- Zahtjevi regulatorne agencije – što su stroži zahtjevi ispuštanja, to je veća vjerojatnost da će utiskivanje kašastog otpada biti isplativo. Ako se krhotine mogu ispuštati po razumnoj cijeni obrade, tada je ispuštanje često najatraktivnija metoda. Regulatorni zahtjevi koji zabranjuju ili potiču utiskivanje kašastog otpada igraju važnu ulogu u odabiru opcija odlaganja.
- Dostupnost isplative odlagališne infrastrukture na kopnu.

Argonne National Laboratory (ANL) razvio je bazu podataka s informacijama o 334 zahvata utiskivanja iz cijelog svijeta. Tri vodeća područja koja zastupaju utiskivanje kašastog otpada u bazi podataka su Aljaska (129 zahvata), Meksički zaljev (66 zahvata) i Sjeverno more (35 zahvata). Većina zahvata utiskivanja uključena u bazi podataka ističu *anularno* utiskivanje (296 zahvata, ili više od 88 %), a ostatak (36 zahvata ili 11 %) koristi namjenske utisne bušotine. Većina zahvata utiskivanja je provedena na dubinama manjim od 1524 m (ANL, 2008).

Većina bušotina u bazi podataka je korištena kako bi se utisnule krhotine probušenih stijena. Mnoge bušotine su također korištene za utiskivanje drugih vrsta otpada sa naftnih polja, uključujući proizvedeni pijesak, otpad s dna spremnika, zauljenu otpadnu vodu, sadržaj iz isplačnih jama, kamenac i mulj koji sadrži prirodni radioaktivni materijal.

Ekološki problemi povezani s utiskivanjem otpadne kaše su rijetki, ali su od vrlo velike važnosti. Postoji nekoliko dokumentiranih slučajeva onečišćenja okoliša uzrokovanih utiskivanjem otpadne kaše. Nekoliko velikih zahvata utiskivanja je rezultiralo propuštanjem bilo na površini tla ili morskog dna u slučaju bušotina na moru. Najvjerojatniji uzrok tih događaja propuštanja je kretanje loma formacije prema vertikali i bočno od mjesta utiskivanja te presijecanje različitih bušotina koje nisu bile ispravno cementirane ili je postojao prirodni geološki rasjed ili pukotina.

3.5. Ispuštanje u mora i oceane

Početkom razvoja industrije za pridobivanje nafte i plina na odobalju, otpad nastao bušenjem je uglavnom bio ispuštan s platformi izravno u mora i oceane. Do prije nekoliko desetljeća, oceani su se smatrali odlagalištima neograničene veličine. Međutim, tijekom 1970-ih i 1980-ih, dokazi su pokazali da neke vrste ispuštanja otpada nastalog bušenjem u more mogu imati neželjene učinke na lokalnu ekologiju, posebno u plitkoj vodi. Kada su korištene isplake na bazi vode *(WBMs)*, vjerojatnost je bila da će se pojaviti samo ograničena šteta za okoliš, ali kada su operateri upotrebljavali isplake na bazi nafte *(OBMs)* na dubljim dijelovima bušotina, nastala hrpa krhotina stvorila je oštećena područja u morskom dnu i na području ispod i uz platforme. Na nekim lokacijama na Sjevernom moru, velike količine krhotina na bazi nafte su ostale na morskom dnu u blizini platformi. Velike količine krhotina na bazi nafte utječu na lokalni ekosustav na tri načina: gušenjem organizama, direktnim toksičnim učinkom otpada nastalog bušenjem, te aerobnim uvjetima uzrokovanim mikrobiološkom razgradnjom organskih sastojaka u otpadu. Trenutno regulatorna kontrola smanjuje utjecaj dopuštenog ispuštanja krhotina.

U kasnim 1970-im, Američka agencija za zaštitu okoliša *(EPA)* počela je postavljati stroža ograničenja za ispuštanje isplaka i krhotina u ocean putem dozvole Sustav eliminacije ispuštanja nacionalnog onečišćivača *(NPDES).* Među ranim ograničenjima su bili zabrana ispuštanja isplaka na bazi nafte i krhotina. Godine 1993., EPA je usvojila poboljšane nacionalne standarde ispuštanja za proizvodnu industriju nafte i plina na morskim lokacijama. Uspostavljeni su dodatni zahtjevi za dozvolu ispuštanja isplaka na bazi vode i krhotina iz bušotina bušenih najmanje 4,8 km od obale, a zabranjeno je ispuštanje nabušenog otpada unutar radijusa od 4,8 km od obale(ANL, 2008).

Općenito, troškovi obrade i ispuštanja otpada nastalog bušenjem su niži u odnosu na transport otpada i njegovo zbrinjavanje na kopnu. Tamo gdje je ispuštanje u more opcija

koja je odobrena od strane regulatorne agencije, većina operatera odabire tu opciju (ANL, 2008).

3.6. Postupci obrade otpada

Prvi korak u upravljanju otpadom nastalim bušenjem je odvajanje čvrstih krhotina probušenih stijena iz isplačnog fluida. Nakon što su kruti i tekući otpad nastali bušenjem separirani, tvrtke mogu koristiti različite tehnologije i prakse za upravljanje separiranim krutim i tekućim otpadom. U nekim slučajevima otpad nastao bušenjem bude solidifciran ili stabiliziran prije konačnog korištenja u daljnje svrhe. Tehnologije i prakse upravljanja mogu se svrstati u tri glavne kategorije: smanjenje nastajanja otpada, recikliranje/uporaba i zbrinjavanje (odlaganje) (ANL, 2008).

U slijedećim podpoglavljima bit će navedeni i detaljnije opisani postupci obrade otpada u sve tri navedene kategorije od kojih se neki postupci primjenjuju kroz vrlo dug vremenski period uz male modifikacije, dok su neki postupci rezultat tehnoloških inovacija s naglaskom na što manji utjecaj na onečišćenje okoliša.

3.6.1. Separacija isplačnog fluida od krutih čestica (krhotina) stijene

Isplaka se koristi za kontrolu podpovršinskih tlakova, podmazivanje bušaćeg dlijeta, stabilizaciju bušotine, i odnošenje krhotina probušenih stijena na površinu. Isplaka se pumpa s površine šuplje bušaće kolone, izlazi kroz mlaznice bušaćeg dlijeta te se vraća na površinu kroz prstenasti prostor između bušaće kolone i stjenki bušotine. Kako bušaće dlijeto usitnjava stijenu na krhotine zahvaćene cirkulacijom isplake, nabušeni dijelovi stijena odnose se na površinu. U svrhu vraćanja isplake u kružeći sustav isplake potrebno je odvojiti kruti dio stijena i separirati ga iz isplačnog fluida.

Prvi korak u razdvajanju krhotina stijena iz isplake uključuje kruženje mješavine isplake i krhotina preko površine isplačnog vibracijskog sita. Isplačna tekućina prolazi kroz otvore sita i ponovno se vraća nazad u spremnike. Krhotine probušenih stijena zaostaju na vrhu otvora isplačnog vibracijskog sita. Vibracijsko djelovanje sita pokreće krhotine niz otvore sita i s kraja samoga sita do točke u kojoj mogu biti prikupljene i uskladištene u spremnik ili jamu za daljnju obradu. Često se koriste dva vibracijska sita za čišćenje isplake. Prvo vibracijsko isplačno sito (primarno sito) koristi grublje otvore sita za uklanjanje većih komada krhotina. Drugo vibracijsko isplačno sito (sekundarno sito)

koristi fine mrežne otvore sita za uklanjanje mnogo sitnijih čestica. Općenito, krhotine probušenih stijena su obložene s velikom količinom isplake podjednakog volumena u odnosu na volumen krhotina. Dodatna mehanička obrada (odmuljivanje) se često koristi u sustavu isplačne jame za dodatno uklanjanje što je više moguće fine krute faze, jer te čestice ometaju samo izvođenje bušenja.

Ova mehanička oprema obično pripada jednom od tri tipa:

- odvajanje i pranje krupnijih frakcija materijala (> 1 mm) na prosjevnoj površini vibracijskog sita,
- hidrociklon – odvajanje mulja odnosno pijeska,
- rotacijske centrifuge za odvodnjavanje

Izdvojene sitne čvrste čestice su pomiješane s većim komadima krhotina razrušenih stijena uklonjenih isplačnim vibracijskim sitima. Ako su krhotine prikupljene na vibracijskim isplačnim sitima i dalje obložene s količinom mulja neprikladnom za sljedeću ponovnu uporabu, odlaganje ili ako je iskorišteni mulj dovoljno vrijedan za prikupljanje, krute tvari se mogu dalje obraditi suhim vibracijskim sitima koja koriste visoki stupanj gravitacijske separacije, vertikalnim ili horizontalnim rotirajućim sušionicima za krhotine, prešama za procjeđivanje vijčastog tipa ili centrifugama. Sušionici za krhotine stijena dodatno obrađuju mulj i prevode ga u suhi materijal (ANL, 2008).

3.6.2. Solidifikacija i stabilizacija

Solidifikacija i stabilizacija (S/S) je pojam koji podrazumijeva skup tehnologija i/ili postupaka koji uključuju primjenu veznih sredstava i aditiva u cilju sanacije onečišćenog tla. Kao vezni materijali i aditivi primjenjuju se: cement, vapno, termoplastična veziva (bitumen, polietilen, parafin), te sorbenti kao što su aktivni ugljen, gline, zeoliti i silikati. Otpadni materijal, vezni materijali, aditivi i voda miješaju se u odgovarajućim omjerima.

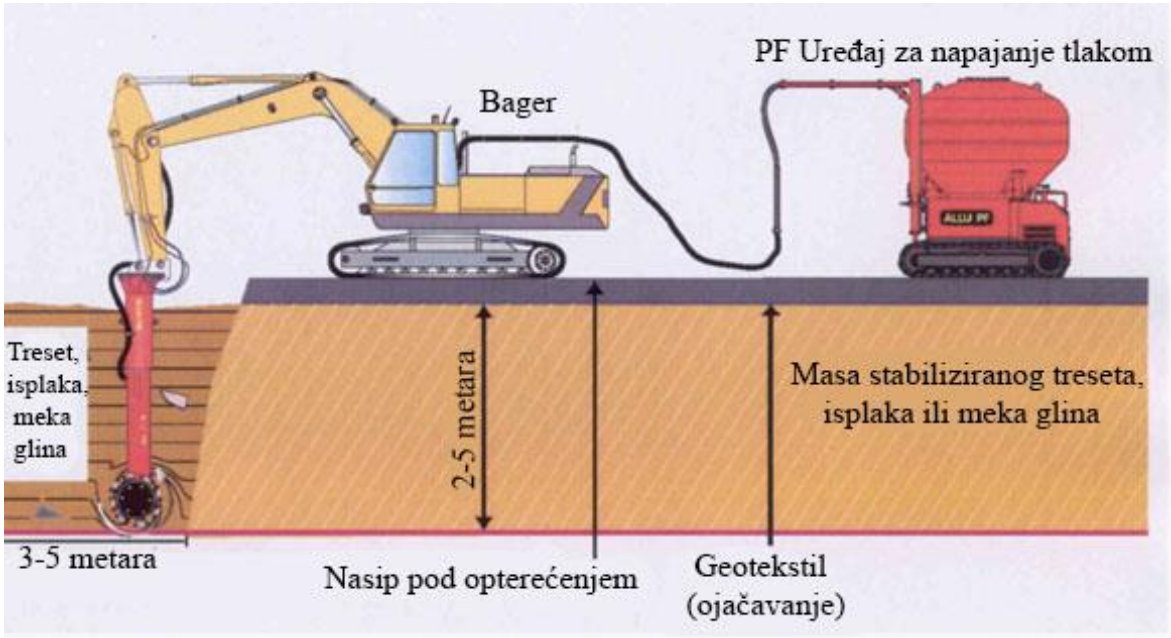
Postupak solidifikacije se sastoji u vezanju opasnih tvari u čvrsti materijal visoke stabilnosti (visoke čvrstoće i niske propusnosti), npr. miješanjem onečišćenog tla s cementom, aditivom i vodom. Postupak stabilizacije podrazumijeva kemijsku reakciju između stabilizirajućeg sredstva i onečišćujućih tvari kako bi se smanjila njihova mobilnost. Stabilizacijom se ne postiže nužno čvrsta, nego kemijski stabilna forma. Dobiveni visokostabilni materijal ima bitno smanjenu toksičnost, topivost i mobilnost, a podrazumijeva se da u takvom obliku ostane trajno bez opasnosti od razgrađivanja prirodnim procesima i naknadnog onečišćavanja okoliša (Sobota, 2014).

Postupak solidifikacije isplačnih jama često se koristi kao sanacijski postupak u naftnom rudarstvu. Postupak je pogodan jer znatno smanjuje količinu materijala koja se mora transportirati na odlagalište, materijala koji nastaje kao proizvod solidifikacije (solidifikat) znatno je manje opasan ili potpuno neopasan po okoliš. Solidifikat je čvrst, mehanički stabilan materijal, znatno manje podložan eroziji i slabo topljiv u vodi. Onečišćujuće tvari kao što su teški metali i/ili organske onečišćujuće tvari vezane su za solidificiranu masu i ne ugrožavaju ili manje ugrožavaju okoliš (okolno tlo i podzemne vode).

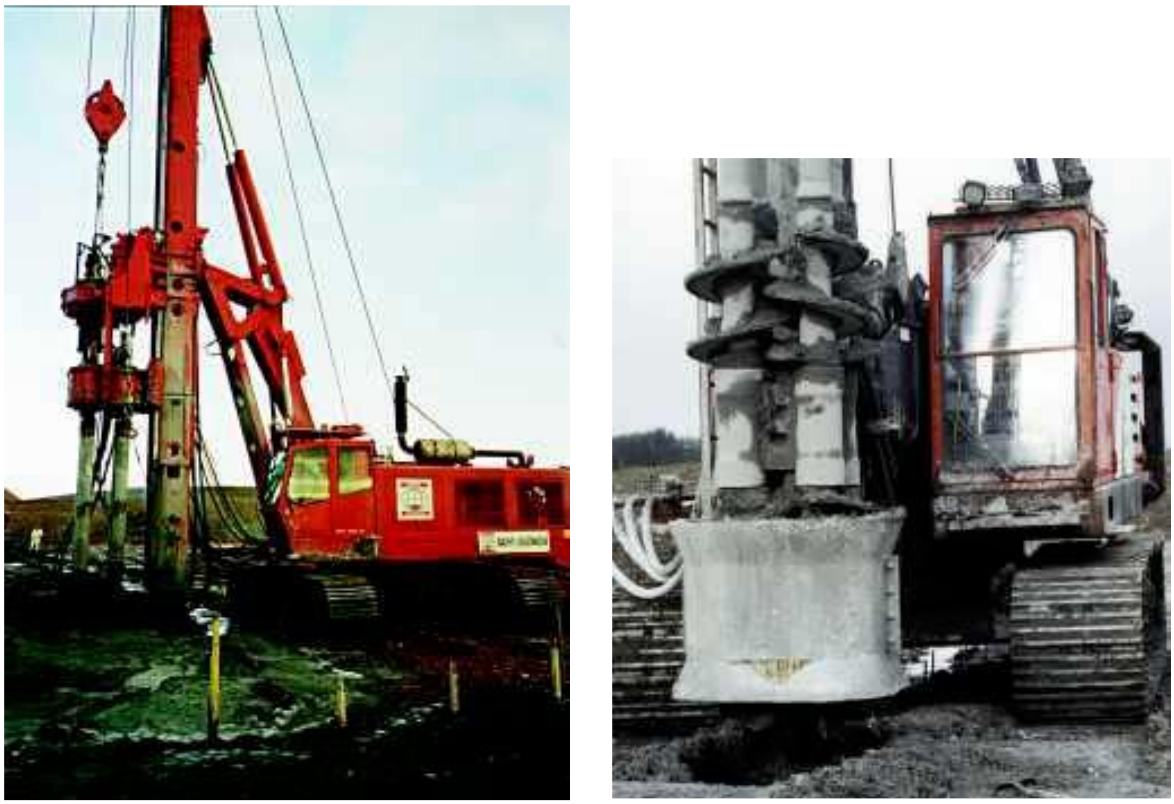
Slike 3-8. do 3-12. shematski prikazuje standardnu mehanizaciju i procesne uvjete kod *in-situ* postupka solidifikacije/stabilizacije. Neki postupci prethodne obrade mogu biti potrebni za tlo s otpadom koji ima visok sadržaj ulja i masti ili površinski aktivnih tvari. Visoke koncentracije organskih tvari, sulfata ili klorida mogu također ograničiti postupak očvršćivanja krutog produkta (Reis et al., 2008).



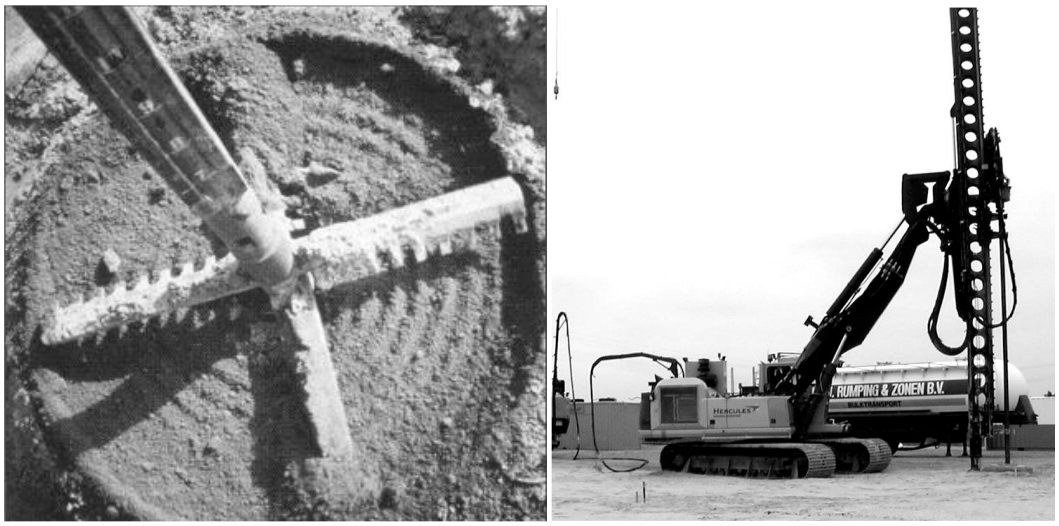
Slika 3-8. In-situ solidifikacija/stabilizacija: primjer miješanja otpadnog materiijala onečišćenog arsenom stabilizirajućim sredstvom (sulfatno-cementnim muljem) (Sobota, 2014)



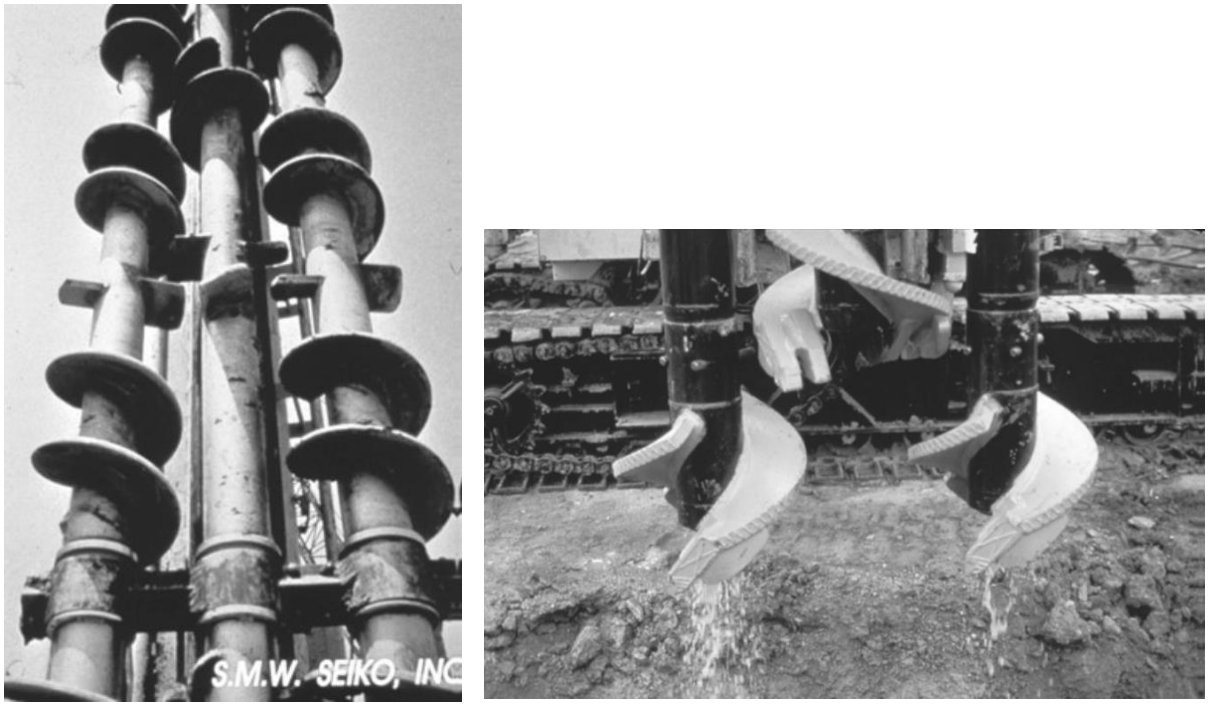
Slika 3-9.Postupak stabilizacije otpadne mase (Maijala et al., 2009)



Slika 3-10. Primjeri različitih izvedbi strojeva sa radnim alatom za miješanje *(auger)* (Al-Tabbaa i Perera, 2006)

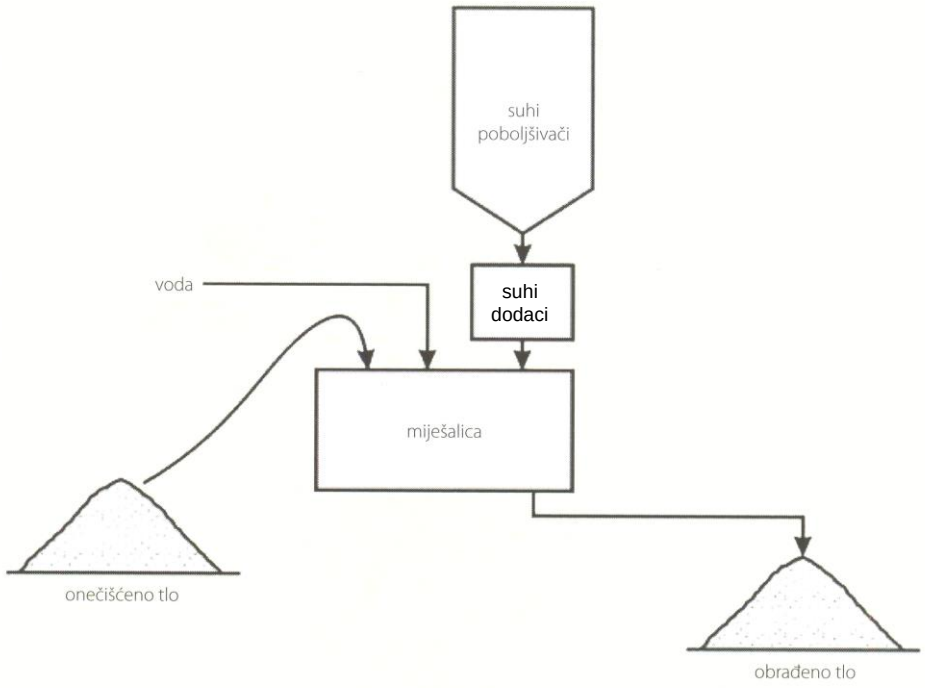


Slika 3-11. Miješalica i radni stroj s konstrukcijom nosača za miješanje otpadnog materijala (Al-Tabbaa i Perera, 2006)



Slika 3-12. Sustav mješača (augera) (Al-Tabbaa i Perera, 2006)

Postupak solidifikacije se može primjeniti samostalno ili u kombinaciji s drugim sanacijskim postupcima, *in-situ* ili *ex-situ*. U slučaju *ex-situ* postupka (slika 3-13), nakon solidifikacije materijal (solidifikat) obično se vraća u iskop, a otpadne (npr. zauljene) vode zbrinjavaju izvan mjesta sanacije.



Slika 3-13. *Ex-situ* solidifikacija/stabilizacija

Solidifikacija/ stabilizacija se primjenjuje u slučajevima onečišćenja tla anorganskim tvarima (npr. teškim metalima i radionuklidima), te određenim organskim tvarima (npr. otpadni ugljikovodici, zauljeni otpaci). Prednosti postupka su što je relativno jeftin, može biti vrlo jednostavan i što se njime postiže smanjena mobilnost onečišćujućih tvari. Nedostaci su što solidifikacija općenito rezultira većim volumenom tretirane mase tla u odnosu na prvobitni, a dubina na kojoj su prisutne onečišćujuće tvari, visok sadržaj vode, glina ili organskih tvari mogu biti ograničavajući faktori primjene.

Različite inovacije uvedene su u ovu tehnologiju sanacije, posebice u korištenju različitih aditiva s ciljem što bolje imobilizacije opasnih onečišćujućih tvari u tlu.

3.6.3. Ostali postupci obrade otpada

Od ostalih postupaka fizikalno-kemijskih, bioloških i termičkih postupaka obrade tehnološkog otpada, moguća je priimjena (ANL, 2008; Reis, 2008; Sobota, 2014):

- kemijske ekstrakcije (*ex-situ* kemijski postupak)
- bioloških postupaka (*in-situ* biološki postupci: površinska obrada zemljišta *(Landfarming)*, rasprostiranje po tlu *(Land Spreading)*; *ex-situ* biološki postupci:

kompostiranje, primjena bioreaktora, biološke hrpe *(Biopiles/Bioheaps)*, vermi-kompostiranje (vermikultura))

- termičkih postupaka (*ex-situ* termički postupci: spaljivanje u rotacijskoj peći ili peći s fluidiziranim slojem, termalna desorpcija, vitrifikacija)

Pojedini postupci su učinkoviti za uklanjanje određenih vrsta onečišćujućih tvari, međutim ne postoji univerzalni postupak čišćenja kojim se postiže učinkovito uklanjanje svih vrsta onečišćujućih tvari. S obzirom na složenost onečišćenja i građe tla, te činjenicu da je onečišćenje posljedica prisustva kombinacije različitih onečišćujućih tvari u velikom broju slučajeva u praksi, često je u procesu čišćenja neophodno primjeniti nekoliko sanacijskih postupaka kako bi se koncentracija neželjenih tvari smanjila na prihvatljivu vrijednost. Glavni cilj svih postupaka čišćenja je očistiti otpadni materijal do stupnja koji omogućava ponovo korištenje tla na ishodišnoj ili nekoj drugoj lokaciji bez opasnosti po okoliš i zdravlje. Izdvojene onečišćujuće tvari zbrinjavaju se kao poseban otpad, te se dalje obrađuju ili odlažu na posebna odlagališta (Sobota, 2014).

Biološki postupci (bioremedijacijski postupci) su postupci gdje se onečišćujuće tvari u tlu, mulju ili podzemnoj vodi putem mikroorganizama razlažu (transformiraju ili degradiraju) u neopasne tvari kao što su CO_2, H_2O, masne kiseline i biomasa. Prednost im je što se njima onečišćenje gotovo u potpunosti uklanja tako da nije potrebna dodatna obrada a tlo po završetku obrade ostaje biološki aktivno. Troškovi ovih postupaka relativno su niski. Nedostatak je: dugotrajnost postupka (npr. u odnosu na fizikalno-kemijske postupke), osjetljivost mikroorganizama na otrovne tvari ili visokokoncentrirane onečišćujuće tvari, te je teško utvrditi da li su onečišćujuće tvari u potpunosti uklonjene (Sobota, 2014).

Termički postupci su oni kod kojih se primjenom visoke temperature u kontroliranim uvjetima mijenjaju fizikalna, kemijska i/ili biološka svojstva i sastav onečišćenog tla, tj. dolazi do volatizacije, izgaranja, razlaganja, uništenja i taljenja štetnih tvari. Općenito su termički postupci pogodni za čišćenje otpadnog materijala ili tla onečišćenog organskim tvarima (npr. naftom i njenim derivatima). Prednost im je visoka učinkovitost i brzo uklanjanje onečišćenja (kratkotrajnost postupka) ovisno o kapacitetu peći, količini i vrsti onečišćenog materijala i onečišćujućih tvari, a glavni nedostatak što je tlo nakon termičke obrade biološki mrtvo, a troškovi opreme i utrošene energije, kao i zahtjevi za održavanjem i osposobljenim kadrovima visoki (Sobota, 2014).

4. SANACIJA ISPLAČNIH JAMA NA EKSPLOATACIJSKOM POLJU UGLJIKOVODIKA "ŽUTICA"

Na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica" izrađeno je do kraja 2012. godine ukupno 310 kanala bušotina (Lukačević et al., 2014). Po završetku rada s bušaćim postrojenjem, sukladno *Zakonu o rudarstvu* (NN 56/13 i 14/14) i *Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika* (NN 94/13 i 14/14), koncesionar ima obvezu urediti (očistiti) lokaciju i izvršiti sanaciju terena prema Glavnim tipskim i Pojednostavljenim rudarskim projektima sanacije odlagališta tehnološkog otpada (INA - industrija nafte d.d., 2013).

U ovom poglavlju je prikazan postupak zbrinjavanja tehnološkog otpada odnosno sanacije isplačne jame na primjeru radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica". Izrada bušotine Hrastilnica-4 započela je 27. studenog 2013., a završena 13. veljače 2014. Osnovni zadatak bio je potvrditi ležišta nafte u pješčenjacima Ivanić Grad formacije (IVA pješčenjacima), ispitati potencijalno ležište nafte u Prkos formaciji i potencijalno ležište plina u Prečec formaciji. Ukupne rezerve nafte za ležišta IVA GAMA A, B i C za prospekt Hrastilnica-4 procijenjene su na 6 931 075 m^3, dok su uvjetno pridobivene rezerve procijenjene na 1 507 238 m^3 (INA - industrija nafte d.d., 2013).

4.1. Opis lokacije zahvata

Eksploatacijsko polje ugljikovodika "Žutica" nalazi se oko 45 km jugoistočno od grada Zagreba između autoceste Zagreb - Lipovac sjeverno i rijeke Save južno. Zapadnu prirodnu granicu čini rijeka Lonja, a istočnu granicu rijeka Česma. S autocestom je povezano asfaltnom cestom duljine 2,5 km. Eksploatacijsko polje ugljikovodika "Žutica" katastarski pripada Ivanić Gradu u Zagrebačkoj županiji. Površina koju obuhvaća eksploatacijsko polje ugljikovodika "Žutica" iznosi 56 km^2 (Živković et al., 2015).

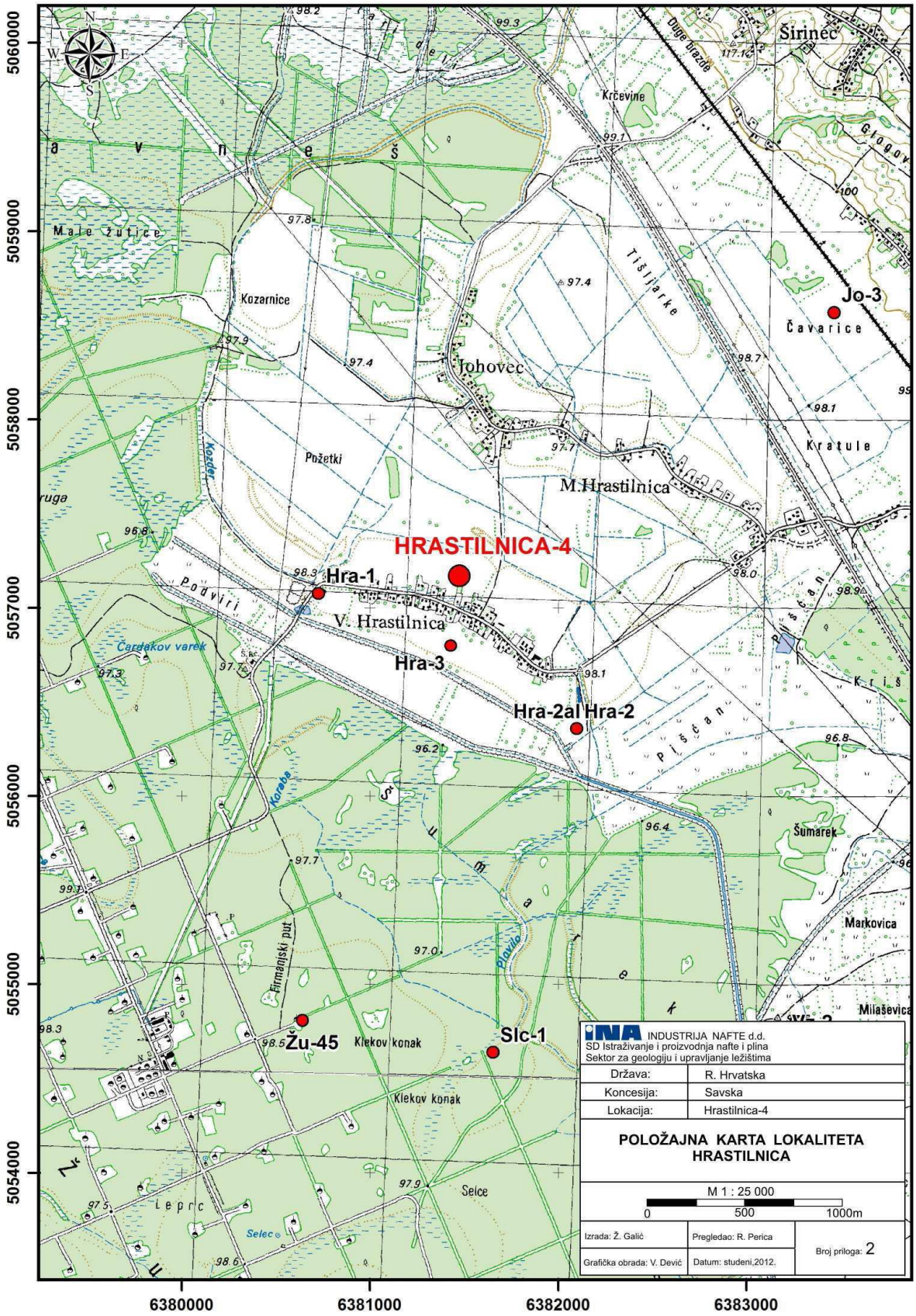
Teren je ravničarski, blago valovit s neznatnim razlikama u nadmorskoj visini od 97 m do 101 m. Prekriven je šumom, ispresijecan plitkim jarcima, koji su gotovo tijekom cijele godine puni vode. U kišnom razdoblju i kod viših vodostaja, teren je često poplavljen. Područje eksploatacijskog polja ugljikovodika "Žutica" je klimatski prijelazan prostor umjereno kontinentalnih obilježja. Zime u ovom području su umjereno hladne, a ljeta su topla. Pretežno je povoljan raspored padalina, a iznosi 860 mm godišnje. Prosječna temperatura iznosi 11,6 °C. Od vjetrova puše sjevernjak, koji je

karakterističan za zimu, a istočnjak postaje jači u proljetnim mjesecima i vrlo je hladan (može puhati i nekoliko dana neprekidno). U ljetnom razdoblju od lipnja do kolovoza, puše topli južni vjetar koji povećava relativnu vlagu i prethodi kiši (Lukačević et al., 2014).

Na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica" izdvojeno je više serija pješčanih slojeva. Najdublje zaliježe serija gama koja je glavni nosilac ugljikovodika na polju. Pješčani slojevi ove serije formirani su u gornjem panonu (IVA pješčenjaci i Okoli pješčenjaci). Strukturni oblik pješčanog tijela gama serije predstavljen je antiklinalom s dva nadsvođenja, južnim i sjevernim sa strukturnim sedlom između njih. Glavni smjer pružanja strukture je sjeverozapad-jugoistok (Lukačević et al., 2014).

Šire područje radnog prostora istražne bušotine Hra-4 uvidom u pedološku kartu spada u tip pseudoglej na zaravni, dolinski. Na dubini 40-50 cm nalazi se slabo propusni horizont koji sprečava prolazak oborinskih voda, već se na njemu voda zadržava i izaziva pseudoglejavanje. Tla su ilovaste teksture u površinskom horizontu do dubine od oko 35 cm, a niže su teksture za stupanj teže, praškasto-glinasto ilovaste. Praškaste su do sitno mrvičaste strukture, ograničenog vodo-zračnog odnosa u korist mikro pora. Siromašna su sa hranjivima, posebno fosforom i kalijem, a prema količini humusa su slabo humozna. Kapacitet adsorpcije je slab, a stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama je osrednji. Prema *Pravilniku o mjerilima za utvrđivanje osobito vrijednog obradivog (P1) i vrijednog obradivog (P2) poljoprivrednog zemljišta* (NN 151/2013), ovo tlo spada tek u P3 klasu, što znači da se nesmetano može otkupiti i koristiti za sve urbane i industrijske svrhe (Milčić et al., 2014).

Lokacija radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 (Hra-4), koji se nalazi se unutar granica eksploatacijskog polja ugljikovodika "Žutica", prikazana je na slici 4-1. Lokacija bušotinskog radnog prostora (BRP) bušotine Hra-4 nalazi se u blizini naselja Velika Hrastilnica i Johovec (općina Križ, Zagrebačka županija). Os ušća bušotine udaljena je oko 100 m odnosno 150 m od najbližih kuća. Ukupna površina BRP-a iznosi 22 660 m^2. Radni prostor za izradu istražne bušotine zauzima površinu dimenzija oko 120 m × 90 m (10 800 m^2), dok preostala površina služi za smještaj humusa i zemlje iz iskopa (INA - industrija nafte d.d., 2013; Milčić et al., 2014).



Slika 4-1. Prikaz lokacije radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (INA - industrija nafte d.d., 2013).

4.2. Analiza "nultog stanja" tla na lokaciji bušotinskog radnog prostora bušotine Hrastilnica-4

U svrhu utvrđivanja stanja kvalitete tla prije izvođenja radova izrade istražne bušotine Hrastilnica-4, provedena je agroekološka analiza "nultog stanja" tla. Rezultati te analize služe kao temelj i polazna ocjena uspješnosti provedene sanacije i dovođenja tla u prvobitno stanje. Nakon završetka svih radova na sanaciji radnog prostora, potrebno je također obaviti završnu agroekološku analizu kvalitete tla radi usporedbe s "nultim stanjem", te dati prijedlog za rekultivaciju tla ukoliko je to potrebno.

Agroekološka analiza nultog stanja tla uključuje utvrđivanje sljedećih pokazatelja kvalitete: ukupnog i mineralnog dušika, sadržaja humusa, pH-vrijednosti, sadržaja ukupnih ulja i ulja mineralnog porijekla, sadržaja alkalnih (Na, K) i zemnoalkalnih metala (Ca), te nosivosti tla (Milčić, et al. 2014).

Uzorkovanje tla je obavljeno pedološkom sondom, a metodologija uzorkovanja je provedena uzimajući u obzir *Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta* (NN 43/14). Uzorkovanje tla je provedeno uzimanjem prosječnog uzorka koji se sastoji od 20-ak pojedinačnih uzoraka, od kojih je pripremljen prosječni uzorak za agroekološku analizu. Prosječni uzorak tla je uzet na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4, te s okolnog područja koje okružuje radni prostor istražne bušotine Hra-4. Pojedinačni uzorci su uzeti iz sloja tla do 60 cm dubine. Uzeta su dva prosječna uzorka tla, od kojih jedan unutar granica radnog prostora istražne bušotine Hrastilnica-4 (oznaka uzorka: Hra-4 1/A), a drugi na okolnom poljoprivrednom tlu koje okružuje predmetni bušotinski radni krug (oznaka uzorka: Hra-4 1/B) (Milčić, et al. 2014).

Laboratorijskim ispitivanjima prosječnih uzoraka tla, provedenim u Zavodu za javno zdravstvo "Dr. Andrija Štampar", Služba za zaštitu okoliša i zdravstvenu ekologiju, utvrđene su vrijednosti gore navedenih pokazatelja. Ispitivanje nosivosti tla provedeno je metodom standardnog penetracijskog pokusa na terenu na lokaciji radnog prostora istražne bušotine. Rezultati obavljenih ispitivanja prikazani su u nastavku teksta.

a) Sadržaj ukupnog i mineralnog dušika u tlu

Dušik se u tlu nalazi u obliku anorganskih i organskih spojeva. Organski dušik nalazi se u humusu i nepotpuno razloženim biljnim i životinjskim ostacima. Mineralni dio, koji je potpuno raspoloživ biljci za usvajanje, samo je mali dio ukupnog dušika u tlu, uglavnom u količini koja je nedovoljna za dobru ishranu poljoprivrednih vrsta biljaka. Količina

mineralnog dušika u tlu kreće se oko 2 % do 3 % od ukupne količine dušika (Milčić et al., 2014).

U tablicama 4-1. i 4-2. prikazane su količine ukupnog i mineralnog dušika u tlu radnog prostora istražne bušotine (Hra-4 1/A) i u okolnom poljoprivrednom tlu (Hra-4 1/B). Može se zaključiti da su količine ukupnog i mineralnog dušika u tlu na lokaciji radnog prostora istražne bušotine Hra-4 približno jednake onima u okolnom poljoprivrednom tlu, izvan lokacije radnog prostora. Tlo radnog prostora istražne bušotine, kao i okolno poljoprivredno tlo, dobro je opskrbljeno dušikom.

Tablica 4-1. Sadržaj ukupnog dušika u tlu na području radnog prostora za izradu istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**Ukupni dušik** g/kg s.t.	**Metoda analize**
Hra-4 1/A	1,5	HRN ISO 13878:2004
Hra-4 1/B	1,01	

s.t. = suha tvar

Tablica 4-2. Sadržaj mineralnog dušika u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**Mineralni dušik** g/kg s.t.	**Metoda analize**
Hra-4 1/A	0,0086	HRN ISO 7150-1:1998; HRN ISO 7890-3:1998; HRN EN 2677:1998
Hra-4 1/B	0,00895	

b) Sadržaj humusa u tlu

Humus je kompleksna, stabilna, amorfna, smeđa do crna smjesa koloidnih supstanci organskog porijekla stvorenih razgradnjom i transformacijom biljnog i životinjskog tkiva i sintetiziranih u kompleksne humusne tvari - humusne kiseline, fulvokiseline i humine. Proces razgradnje i sinteze je potpomognut mikro i makro zemljišnim organizmima. Sadrži ugljik, ali također i dušik te manje količine fosfora, kalija i drugih elemenata (kisik, vodik,

sumpor). Humus u tlu povoljno utječe na fizikalne, kemijske i biološke značajke tla. Od fizikalnih značajki, utječe na poboljšanje agregacije, povećanje vodnog kapaciteta, povećanje otpornosti tla prema eroziji i povisuje propusnost tla za vodu i infiltraciju. Poboljšanja kemijskih značajki sastoje se u tome da osigurava kontinuirani dotok hranjivih tvari za rast biljaka, izvor je hrane za sve mikro i makro organizme, te dušika, fosfora, sumpora i nekih mikrohranjiva, povećava kapacitet adsorpcije kationa, te je pufer naglih promjena pH. Utjecaj humusa na biološke značajke sastoji se u slijedećem: humus je izvor energije za mikro i makroorganizme, povećava mikrobiološku raznolikost i pomaže u sprječavanju bolesti.

U tablici 4-3. su prikazani kriteriji određivanja udjela humusa u tlu prema Gračaninu, a u tablici 4-4. sadržaj humusa u tlu na lokaciji radnog prostora istražne bušotine i okolnom poljoprivrednom tlu. Usporedbom vrijednosti u tablicama, vidljivo je da su s obzirom na sadržaj humusa, tlo radnog prostora istražne bušotine Hra-4, kao i okolno poljoprivredno tlo, slabo humozna tla, što i je karakteristika poljoprivrednih tala šire ispitivanog područja.

Tablica 4-3. Kriteriji za određivanja sadržaja humusa u tlu (Milčić et al., 2014)

Humoznost tla	**Maseni udio humusa u tlu** %
Vrlo slabo humozno	<1
Slabo humozno	1-3
Dosta humozno	3-5
Jako humozno	5-10
Vrlo jako humozno	>10

Tablica 4-4. Sadržaj humusa u tlu na području radnog prostora za izradu istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**Maseni udio humusa u tlu** %	**Ocjena tla s obzirom na sadržaj humusa**
Hra-4 1/A	2,31	Slabo humozno
Hra-4 1/B	2,05	Slabo humozno

c) pH-vrijednost tla

pH-vrijednost tla je indikator kiselosti ili alkalnosti tla i ima značajan utjecaj na fizičke, kemijske i biološke procese u tlu. Uvjetuje raspoloživost hranjivih makro- i mikroelemenata biljkama, a utječe i na pristupačnost i ispiranje toksičnih elemenata. Kako je pH-vrijednost indikator kiselosti odnosno alkalnosti tla, indirektno je povezan i s agrotehničkom mjerom kalcizacije koja je obavezna mjera kod sanacije kiselih tala. Ona se uobičajeno koristi kod agrotehničkih ili drugih radova. U slučajevima kada je pH veći od 5,5 kalcizacija tla nije potrebna (Milčić et al., 2014).

U tablici 4-5. prikazani su kriteriji za određivanje pH-vrijednosti tla prema Gračaninu, a u tablici 4-6. rezultati analize pH-vrijednosti tla radnog prostora istražne bušotine i okolnog poljoprivrednog tla izvan radnog prostora. Rezultati analize pokazuju da je tlo na lokaciji radnog prostora za izradu istražne bušotine, kao i okolno tlo, slabo kiselo. S obzirom na utvrđene pH-vrijednosti tla (pH > 5,5), kalcizacija nije nužna.

Tablica 4-5. Kriteriji za određivanje pH vrijednosti tla (Milčić et al., 2014)

Reakcija tla	**pH-vrijednosti**
Jako kisela	< 4,5
Kisela	4,5 - 5,5
Slabo kisela	5,5 - 6,5
Neutralna	6,5 - 7,2
Slabo alkalna	7,2 - 7,7
Alkalna	>7,7

Tablica 4-6. Reakcija tla na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**pH-vrijednost** (1 M KCl)	**Ocjena reakcije tla**	**Metoda analize**
Hra-4 1/A	5,82	Slabo kisela	HRN ISO10390:2005
Hra-4 1/B	5,58	Slabo kisela	

d) Sadržaj ukupnih i mineralnih ulja u tlu

Općenito, sadržaj ulja u tlu (ukupnih i mineralnih) ukazuje na prisutnost onečišćenja tla koje može biti uzrokovano izlijevanjem ugljikovodika bilo uslijed neodgovarajućeg rukovanja ili uslijed akcidenta. Kod ocjene stanja onečišćenja tla ugljikovodicima naftnog porijekla mogu se primijeniti kriteriji za poljoprivredno tlo propisani *Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja* (NN 9/2014), budući da drugih kriterija na nacionalnoj razini nema. Prema tom Pravilniku, maksimalno dozvoljena koncentracija ukupnih ugljikovodika u pjeskovito-ilovastom tlu iznosi 1 g/kg tla, a za teža glinasta tla 2 g/kg tla. Na onečišćenim poljoprivrednim tlima saniranim bilo kojom metodom utvrđeni sadržaj ukupnih ugljikovodika ispod gore navedenih vrijednosti smatrat će se zadovoljavajućim, a takvo tlo uspješno saniranim.

U tablici 4-7. su prikazani rezultati ispitivanja sadržaja ukupnih ulja, a u tablici 4-8. sadržaja ulja mineralnog porijekla. Sadržaj ukupnih ulja u tlu radnog prostora istražne bušotine Hra-4, kao i u okolnom poljoprivrednom tlu je nizak, odnosno ispod Pravilnikom propisanih graničnih vrijednosti, te se smatra da tlo prije izvođenja zahvata nije opterećeno uljima. Sadržaj mineralnih ulja i u tlu radnog prostora istražne bušotine Hra-4 i u okolnom poljoprivrednom tlu je ispod granice detekcije mjerne metode, te se smatra da tlo nije onečišćeno mineralnim uljima odnosno naftnim ugljikovodicima.

Tablica 4-7. Sadržaj ukupnih ulja u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Miličić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**Ukupna ulja** g/kg s. t.	**Metoda analize**
Hra-4 1/A	0,0769	SM 20thEd., APHA, AWWA, WEF 1998-5520
Hra-4 1/B	0,0565	

Tablica 4-8. Sadržaj mineralnih ulja u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**Mineralna ulja** g/kg s. t.	**Metoda analize**
Hra-4 1/A	< 0,05	EPA 1625
Hra-4 1/B	< 0,05	

e) Sadržaj alkalnih i zemnoalkalnih metala u tlu

Ispitivani uzorci tla analizirani su s obzirom na sadržaj kalija, kalcija i natrija. Kalij je alkalni metal vrlo rasprostranjen u prirodi. U tlu i biljkama se nalazi kao jednovalentni kation (K^+) i jedan je od glavnih biogenih elemenata. Ukupan sadržaj kalija u tlima je prilično visok, međutim viši sadržaj kalija imaju teška, glinovita tla.

Kalcij je zemnoalkalni metal koji ima sposobnost izgradnje kompleksnih spojeva, iako ne sudjeluje značajno u građi žive tvari. Održava pH reakciju tla (utjecaj na pristupačnost N, P, B, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo i dr.) te održava strukturu tla (povezivanje čestica u strukturne agregate). Kalcij povećava biogenost tla (humifikaciju, biološku oksidaciju dušika, oksidaciju sumpora). Kalcij u tlu smanjuje toksičnost H^+ iona kod niskog pH, zatim toksičnost iona Al^{3+} i Mn^{2+} kod pH < 5. Gubitak kalcija ispiranjem iz tla započinje kod više od 630 mm oborina/god., što dovodi do postupnog porasta kiselosti tla. Natrij je alkalni metal koji se nalazi u svim tlima (oko 2,8 % u litosferi), a biljke ga usvajaju kao Na^+.

Natrij nije biogeni element, a u tlu ga ima tek 0,63% radi velike topivosti natrijevih soli. Natrija ima u otopini tla i na adsorpcijskom kompleksu. Zbog jake hidratacije iona natrija, njegovo prisustvo u tlu izuzetno je nepovoljno, jer djeluje kao peptizator za razliku od iona kalcija koji ima koagulatorska svojstva. Tla koja obiluju ionima natrija vrlo su loših fizikalnih značajki. Ekstremno visoke vrijednosti jednovalentnih kationa (Na^+) čine problem u tlu jer razbijaju strukturu tla (Milčić et al., 2014).

Rezultati analize sadržaja alkalnih i zemnoalkalnih metala u tlu, prikazani u tablici 4-9., ukazuju na to da se tlo radnog prostora istražne bušotine Hra-4 po kemijskim svojstvima bitno ne razlikuje od okolnog tla.

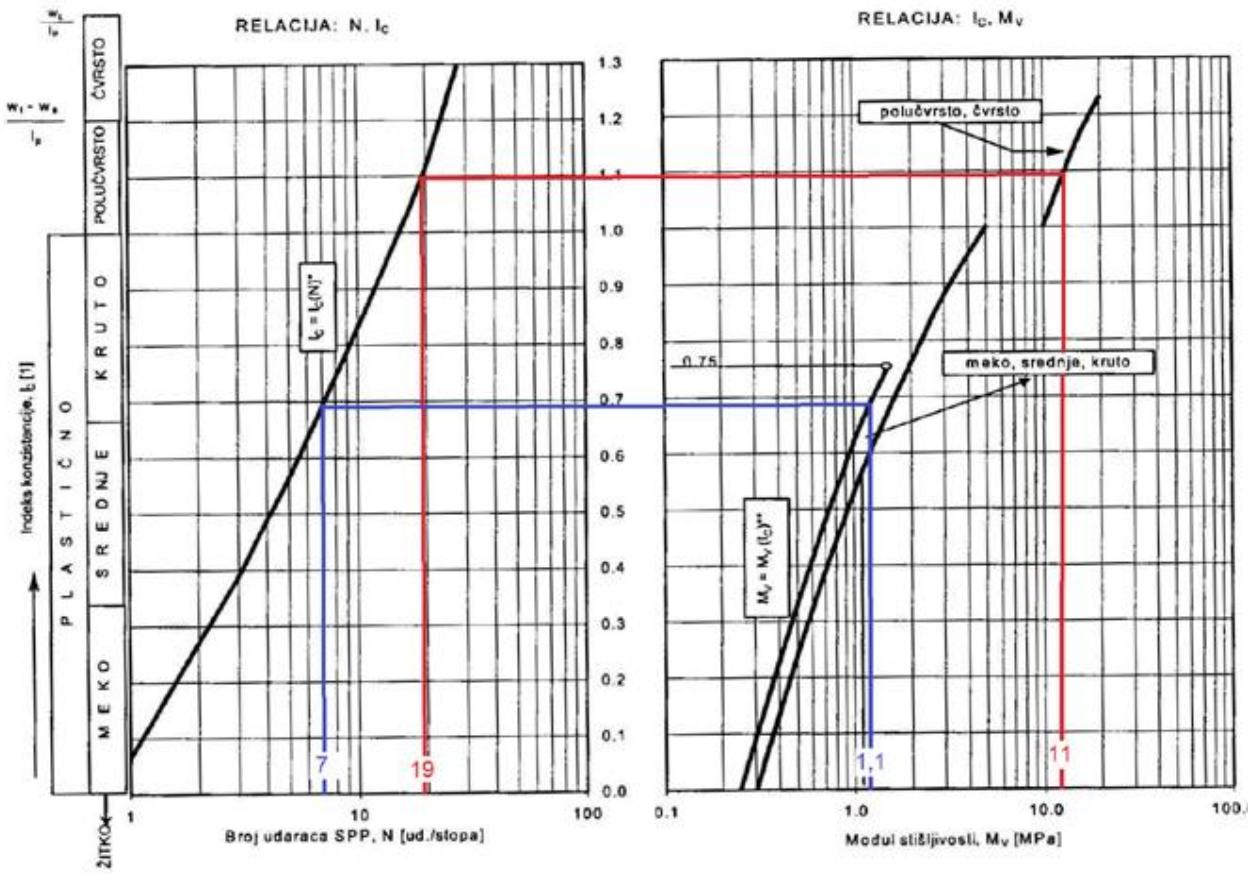
Tablica 4-9. Sadržaj alkalnih i zemnoalkalnih metala u tlu na području radnog prostora istražne bušotine Hra-4 (Milčić et al., 2014)

Oznaka uzorka tla	**Natrij (Na)** g/kg s.t.	**Kalij (K)** g/kg s.t.	**Kalcij (Ca)** g/kg s.t	**Metoda analize**
Hra-4 1/A	0,143	1,58	3,6	HRN EN 13657:2008
Hra-4 1/B	0,208	1,46	3,79	

f) Nosivosti tla

Nosivost tla je posljedica konsolidacije čestica pod tlakom. Prilikom povećanja tlaka dolazi do smanjenja poroziteta tla, a u nekonsolidiranim naslagama dolazi do promjene pakiranja zrna i do istiskivanja vode. Nosivost podloge (tla) se izražava modulom stišljivosti (u MPa), koji se može odrediti standardnim penetracijskim pokusom (SPP). Ispitivanje nosivosti tla na terenu metodom SPP izvedeno je utiskivanjem cijevi promjera 51 mm. Sila utiskivanja je postignuta spuštanjem čekića teškog 65 kg s visine od 760 mm, pri čemu je mjeren broj udaraca potreban da se cijev utisne do dubine od 450 mm. Mjerenja su izvedena na površini terena i na dubini od 80 cm (Milčić et al., 2014).

Rezultati provedenih ispitivanja prikazani su na slici 4-2. Kao što je prikazano na slici, rezultati SPP-a za lokaciju radnog prostora istražne bušotine Hra-4 vrednovani su prema sljedećim kriterijima: 0,1 do 1,5 MPa – meko; 1,5 do 5 MPa – srednje kruto do kruto; 5 do 10 MPa – kruto do polučvrsto; > 10 MPa – polučvrsto do čvrsto.



Slika 4-2. Rezultati SPP-a za lokaciju radnog prostora bušotine Hra-4: ispitivanja na površini terena (crvena linija) i na dubini od 80 cm (plava linija) (Milčić et al., 2014)

Na površini je za utiskivanje cijevi do dubine od 0,45 m bilo potrebno sedam udaraca, što daje modul stišljivosti od 1,1 MPa, dok je na dubini od 0,8 m za utiskivanje cijevi do 0,45 m bilo potrebno devetnaest udaraca što daje modul stišljivosti od 11 MPa. Prema tim rezultatima tlo na površini se može smatrati mekim, a na dubini većoj od 80 cm prelazi u polučvrsto do čvrsto.

4.3. Opis bušaćeg postrojenja i konstrukcije bušotine

Istražna bušotina Hrastilnica-4 izvedena je tipskim prenosivim bušaćim postrojenjem smještenim na platou od kamenog materijala. Radni prostor bušotine (slika 4-3.) obuhvaća sljedeće građevine potrebne za odvijanje procesa izgradnje bušotine (Milčić et al., 2014):

- Plato izveden od nasipa kamenog materijala na kojem se odvijaju sve aktivnosti na izgradnji bušotine. Kameni materijal se zbija do propisanog modula zbijenosti.
- Ušće bušotine - armirano betonski otvoreni bazen, unutarnjih dimenzija 3,0 × 2,5 m, dubine cca 2,0 m, na čijem se dnu nalazi uvodna betonska cijev. Donji kraj cijevi je na dubini 7 do 9 m od razine radnog prostora.
- Temelj tornja - oko ušća bušotine postavljaju se na propisano zbijenu podlogu armirano betonske ploče (talpe) dimenzija 3,0 × 1,0 × 0,14 m, posložene jedna do druge. Na ovu površinu postavlja se toranj bušaćeg postrojenja.
- Temelji postrojenja - prostor na kojem se postavlja bušaće postrojenje. Na cijelom prostoru postavljaju se armirano-betonske ploče, posložene jedna do druge na podlogu propisane zbijenosti. Između ploča izvodi se odvodni sustav izrađen od betonskih kanala koji završava u armirano-betonskom bazenu.
- Armirano-betonski bazen za izdvajanje krutih čestica iz isplake *("sand trap")* - otvoreni ukopani armirano-betonski spremnik zapremine oko 70 m^3, u kojem završava sustav betonskih kanala koji pokriva popločeni prostor postrojenja. Bazen je podijeljen na dva nejednaka dijela. Veći dio služi za prihvat krutih čestica iz nabušenog materijala, dok je manji predviđen za prihvat tekućina iz sustava odvodnih kanala te dijela tekućina iz većeg bazena preko preljeva. Manji bazen je povezan betonskim kanalom s privremenim odlagalištem za nabušeni materijal (sprječavanje izlijevanja iz bazena na radni prostor).
- Prostor za smještaj kontejnera - površina u sklopu radnog prostora za smještaj skladišnih kontejnera i kontejnera za rad i smještaj radnika.

- Privremena isplačna jama – prostor izdvojen od radnog prostora. Na mjestu predviđenom za izgradnju isplačne jame uklanja se zemljani sloj do dubine oko 3 m ispod razine terena. Po obodu jame formira se zemljani nasip nagiba 1:1.
- Na dno i bočne stranice isplačne jame postavlja se vodonepropusna *(Polyethylene high-density (PEHD))* folija. Po vrhu nasipa deponije postavlja se zaštitna ograda.
- Jama za ispitivanje bušotine (baklja) – služi za postavljanje horizontalne baklje na kojoj se spaljuju pridobivene količine nafte i plina prilikom ispitivanja bušotine.
- Prostor za smještaj spremnika goriva.
- Piezometri – služe za određivanje nultog stanja kakvoće podzemne vode, uzimanjeuzoraka za kemijsku analizu, određivanje geomehaničkih karakteristika tla te praćenje kakvoće podzemne vode tijekom izrade bušotine.
- Sabirna jama (volumena 5 m^3) – za prikupljanje otpadnih voda iz kontejnera za smještaj djelatnika.



Slika 4-3. Radni prostor istražne bušotine Hra-4 (Milčić, et al., 2014)

Tehnološki proces izrade i opremanja bušotina opisan je u potpoglavlju 2.1. Osnovni podaci o bušotini Hrastilnica-4 prikazani su u tablici 4-10., a podaci o zaštitnim cijevima ugrađenim u tu bušotinu, promjerima i dubinama ugradnje u tablici 4-11. Na slici 4-4. prikazana je konstrukcija bušotine Hrastilnica-4.

Predviđene karakteristike i sastav niza zaštitnih cijevi odabrane su proračunom temeljenim na (Lukačević et al., 2014):

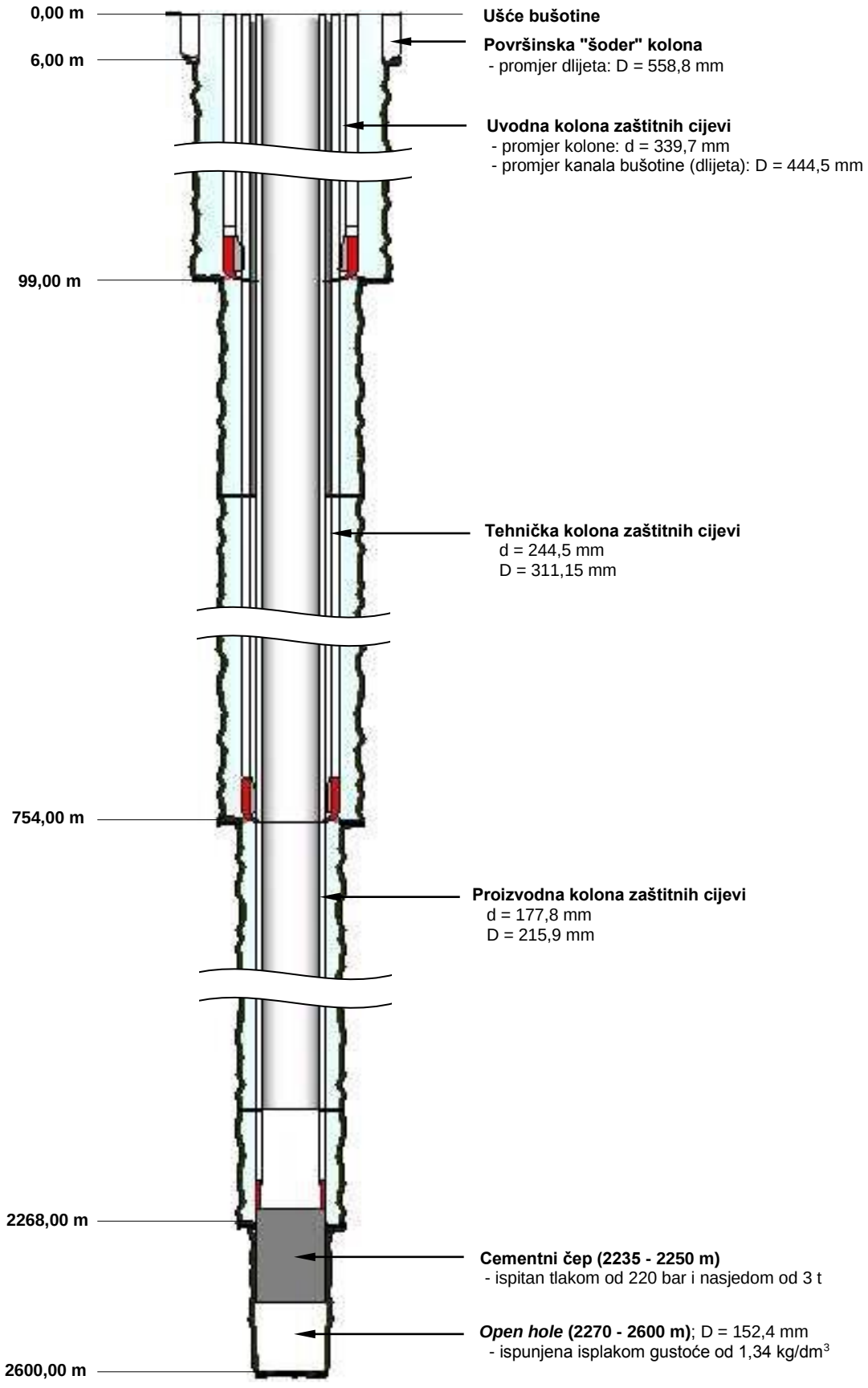
- minimalnim koeficijentima sigurnosti,
- bušotinskim uvjetima i tehnološkim zahtjevima navedenim u projektu.

Tablica 4-10. Osnovni podaci o bušotini Hrastilnica-4 (Biletić et al., 2014)

Naziv bušotine	Hrastilnica-4
Približne koordinate bušotine	X(N) = 5 057 163 Y(E) = 6 381 493
Nadmorska visina	h = 97,5 m
Konačna dubina bušotine	2600 m
Tip bušotine	Istražna, vertikalna
Bušaće postrojenje	NATIONAL-402
Bušotinska glava	Breda 5000 PSI
Početak radova izgradnje bušotine	27. studeni 2013.
Završetak radova izgradnje bušotine	13. veljače 2014.

Tablica 4-11. Podaci o zaštitnim cijevima ugrađenim u bušotinu Hrastilnica-4, promjerima i dubinama ugradnje (Biletić et al., 2014)

Parametri	**Površinska kolona**	**Uvodna kolona**	**Tehnička kolona**	**Proizvodna kolona**	***Open hole***
Promjer kanala bušotine (promjer dlijeta), mm	558,8	444,5	311,15	215,9	152,4
Promjer zaštitne cijevi, mm	-	339,7	244,5	177,8	-
Kvaliteta čelika	-	N-80	N-80	N-80	-
Masa, kg/m	-	101,2	69,9	42,3	-
Navojni spoj	-	BTC	BTC	BTC	-
Dubina ugradnje, m	0 - 6	0 - 99	0 - 754	0 - 2268	2286 - 2600



Slika 4-4. Konstrukcija bušotine Hrastilnica-4 (Biletić, 2014)

Za ugradnju uvodne kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm obavljeno je bušenje dlijetom promjera 444,5 mm do dubine od 99 m. Dubina ugradnje tehničke kolone zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm iznosi 754 m, a postignuta je bušenjem dlijetom promjera 311,15 mm. Za ugradnju proizvodne kolone zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm obavljeno je bušenje dlijetom promjera 215,9 mm do dubine od 2268 m. Dlijetom promjera 152,4 mm postignuta je konačna dubina bušotine od 2600 m.

Konstruktivni elementi i način eksploatacijskog opremanja bušotina Hrastilnica-1, Hrastilnica-3, Hrastilnica-4, Hrastilnica-5 i Žutica-76 određeni su na temelju utvrđenih uvjeta u ležištima eksploatacijskog polja ugljikovodika "Žutica", te na osnovi strukturno-geološke interpretacije područja “Sava-3D ekstenzija". Osnovni početni parametri na kojima se temelji konstrukcija i opremanje bušotina su (Lukačević et al., 2014):

- prosječna dubina zalijeganja eksploatacijskih intervala: 1900 - 2100 m;
- statički tlak na dubini eksploatacijskih intervala: 200 - 280 bar;
- statički tlak na ušću bušotine: 150 - 220 bar;
- statička temperatura na dubini eksploatacijskih intervala: 100 - 110°C;
- dinamički tlak na ušću bušotine: 3 - 25 bar;

Izrada kanala bušotine, reološka svojstva isplake, jezgrovanje, tipovi sondi za EKM (elektrokarotažnih markera), sastav DST alata (*Drillstem Test*) (ispitivanje bušotine kroz bušaće šipke) i izvođenje DST procesa, izvođenje zacijevljenja bušotina, vrste cementa i način izvođenja cementacija niza zaštitnih cijevi, raskrivanje eksploatacijskih intervala, ispitivanja, obrade i ugradnja eksploatacijske opreme detaljno su obrađeni u Pojednostavljenim rudarskim projektima za svaku bušotinu (Lukačević et al., 2014).

Za izradu isplake korišten je ekološki prihvatljivi materijal (aditivi) i druge kemikalije koje u maloj koncentraciji nisu štetne za okoliš.. U tablici 4-12. prikazani su osnovni parametri isplake za pojedinu fazu izrade kanala bušotine i preporučeni kapaciteti protoka isplake.

Tablica 4-12. Osnovni parametri isplake za pojedinu fazu izrade kanala bušotine (Biletić et al., 2014; Lukačević et al., 2014)

Promjer kanala bušotine mm	**Tip isplake** (na bazi vode)	**Gustoća isplake** kg/dm^3	**Marsh-ova viskoznost** s	**Min./maks. kapacitet** l/min
444,5	bentonitna	1,03 - 1,08	58 - 172	800/2800
311,15	obrađena bentonitna	1,08 - 1,11	41- 57	1800/2500
215,9	KCl/polimerna	1,06 - 1,25	40 - 52	1400/1800
152,4	KCl/polimerna	1,24 - 1,34	43 - 70	700/1000

4.4. Utjecaji zahvata na okoliš i mjera zaštite

Cijeli sustav izvođenja rudarskih radova (postrojenja i tehnologija) je projektiran i izveden tako da bude siguran za okoliš. Do značajnijeg zagađenja okoliša može doći isključivo u izvanrednim situacijama zbog kvara na postrojenju i/ili nesukladnosti u procesu. Zbog toga je nužno kontrolirati provođenje mjera tehničke zaštite i zaštite na radu, te na taj način mogućnost incidenta svesti na minimum. Izvođenje rudarskih radova i provođenje mjera zaštite tijekom izrade bušotine obavlja se u skladu s "Pojednostavljenim rudarskim projektom za istražnu bušotinu Hra-4" i relevantnom zakonskom regulativom (INA - industrija nafte d.d., 2013).

Prikaz tehničkih rješenja za primjenu mjera zaštite kod izvođenja planiranih radova izrađen je u skladu sa *Zakonom o rudarstvu* (NN 56/13 i 14/14), *Zakonom o zaštiti na radu* (NN 71/14, 118/14, 154/14), *Zakonom o zaštiti od požara* (NN 92/10), *Zakonom o zaštiti prirode* (NN 80/13) i *Zakonom o zaštiti okoliša* (NN 80/13 i 78/15). Oprema i materijali koji će se ugraditi i/ili primijeniti kod prethodno opisanih radova isporučuje se s valjanom atestnom dokumentacijom i dokumentacijom dokaza kvalitete.

Detaljniji pregled mogućih utjecaja procesa bušenja na okoliš i osnovnih mjera za njihovo sprječavanje (smanjenje) dan je u potpoglavlju 2.4. Tijekom izvođenja rudarskih radova na bušotini Hrastilnica-4 mogući su sljedeći značajniji utjecaji na okoliš (INA - industrija nafte d.d., 2013):

- Tijekom dopreme postrojenja na lokaciju, montaže demontaže i odvoženja postrojenja, te korištenja kemikalija dolazi do prenamjene, a potencijalno i do značajnog onečišćenja tla. Stoga treba voditi računa da gubitak odnosno oštećenje tla bude što manje (vidi potpog. 2.4.).

- Buka koja se javlja tijekom izvođenja radova može imati negativan utjecaj na životinje u obliku njihovog izbjegavanja područja zahvata i mogućih migracija. Da bi se emisije buke i vibracija svele na minimum potrebno je već tijekom projektiranja iznalaziti odgovarajuća tehnička rješenja u smislu automatizacije rada postrojenja (sa što manje udjela ljudskog rada) i odabira uređaja koji stvaraju manje buke i vibracija tijekom rada, tj. unutar propisanih graničnih vrijednosti.
- Tijekom rada strojeva s unutrašnjim izgaranjem dolazi do emisije ispušnih plinova u atmosferu, čiji iznos i sastav ovisi o kvaliteti i količini utrošenog goriva, te održavanju strojeva i vozila. Rad pogonskih strojeva može također uzrokovati pojavu podizanja prašine s tla, no taj utjecaj moguć je jedino u iznimno suhom i vjetrovitom razdoblju. Količina i sastav ispuštenih štetnih plinova na baklji, a samim time i utjecaj na okoliš (atmosferu), bit će u direktnoj vezi sa sastavom ulaznog plina na baklju. S obzirom na ograničeno vrijeme ispitivanja te emisije nemaju značajan utjecaj na okoliš.
- Tijekom transporta i rada mehanizacije, moguće je nastajanje određene količine otpadnih ulja (motorna, strojna i maziva ulja). Unatoč posebnoj pažnji koja se provodi pri snabdijevanju mehanizacije gorivom, kao i pri manipulaciji svježim i otpadnim uljima, moguć je nastanak nezgoda uslijed prolijevanja istih. U tom slučaju nužna je hitna intervencija, tj. evakuacija i odvoz onečišćene mase tla na Centralnu jamu za zbrinjavanje krutog i tekućeg otpada "Žutica", te odvoz otpadnih ulja od strane ovlaštene firme za sakupljanje otpada (na postrojenju postoje bačve za prikupljanje otpadnih ulja).

Tijekom normalnog rada ne očekuje se utjecaj na površinske i na podzemne vode. Bilo koji fluid osim čiste vode ne smije se nekontrolirano ispuštati u okoliš, već prihvaćati u zatvorene spremnike (Lukačević et al., 2014).

Kemikalijama koje se koriste u tehnološkom procesu izrade i obrade bušotina rukuje se sukladno uputama za rukovanje koje izdaju njihovi proizvođači, te one predstavljaju opasnost samo u slučaju akcidenta, na pretakalištima ili u transportu. Opasni otpadni fluidi (kiseline), nakon stimulacijskih radova na sloju ne ispuštaju se nekontrolirano u okoliš, već se prihvaćaju u zatvorene spremnike, neutraliziraju i odvoze u Centralnu otpadnu jamu za prikupljanje i regeneraciju otpadnih materijala s EP ugljikovodika "Žutica" ili predaju ovlaštenoj tvrtki ili osobi koja obavlja djelatnost skupljanja, prijevoza i zbrinjavanje opasnog i neopasnog otpada.

Slojni fluid (nafta, voda) koji se pridobije prilikom testiranja bušotine prihvaća se u spremnike, odvozi na najbližu mjernu stanicu i vraća u proizvodni proces. Nakon

pročišćavanja iskorištene isplake, filtrirana tekućina vraća se u sustav utiskivanja (utisne bušotine) EP ugljikovodika "Žutica", ukoliko ima odgovarajuća reološka svojstva. U deponij nabušenog materijala na lokaciji nije dozvoljeno odlaganje ugljikovodika, ulja i krutog otpadnog materijala. U isplačnu jamu i prostor za privremeni prihvat solidifikata mora se obvezno postaviti PHD folija (INA - industrija nafte d.d., 2013).

Tijekom radova neizbježan je i popratni otpad, sličan komunalnom otpadu koji se sastoji od staklenih boca, papirnate i plastične ambalaže, gumenih rukavica, ostale odjeće i obuće. Prije odbacivanja otpadni materijal se mora razvrstati na korisne komponente i prema svojstvu opasnosti (na neopasni i opasni otpad ovisno o tome sadrži li opasne tvari ili ne.) Sav neopasni (kartonski, komunalni, drveni otpad) i opasni otpad (metalne i plastične bačve od aditiva, plastične kape od zaštitnih cijevi, zauljene krpe, plastične vreće, itd.) nastao tijekom radova odvozi ovlaštena tvrtka za zbrinjavanje otpada. Otpad je potrebno zbrinuti sukladno internim dokumentima tvrtke "INA-industrija nafte" i *Zakonom o održivom gospodarenju otpadom* (NN 94/13).

Nakon analize "nultog stanja" okoliša (prije početka radova) potrebno je provoditi monitoring tj. praćenje stanja okoliša bušotinskog radnog prostora (INA - industrija nafte d.d., 2013):

- u fazi izrade bušotine,
- tijekom sanacije isplačne jame,
- nakon likvidacije isplačne jame odnosno lokacije.

Za potrebe BRP Hrastilnica-4 izbušene su dvije piezometarske bušotine od kojih je jedna locirana u smjeru toka vode. Piezometri su izvan uže lokacije, a koriste se za uzimanje uzoraka vode za analizu. Na mjestu isplačne jame uzet je uzorak tla za agroekološku analizu "nultog stanja" tla, jedan uz lokaciju, a drugi oko 300 m udaljeno od lokacije.

Tijekom radova na lokaciji, uzimani su uzorci vode iz piezometara i obuhvatnog kanala. Analize uzoraka provedene se na isti način kao i za "nulto stanje".

Prije početka sanacije provodi se analiza fluida iz isplačne jame kako bi se odabrao odgovarajući postupak sanacije, najprihvatljiviji s ekološkog i ekonomskog aspekta. Istovremeno se uzimaju uzorci vode iz piezometara i obuhvatnog kanala, a analize se provode kao i za nulto stanje.

Nakon sanacije i likvidacije isplačne jame odnosno lokacije, uzorci vode za analizu uzimat će se dva puta godišnje u prve dvije godine, iz piezometara i obuhvatnog kanala.

Uzorci za agroekološke analize tla uzet će se na istim mjestima kao što je to navedeno za "nulto stanje".

Nakon završetka istražnih radova bušotinski radni prostor se smanjuje na propisanu veličinu, a nakon likvidacije bušotine cjelokupni radni prostor mora se sanirati sukladno *Zakonu o rudarstvu*. O svim aktivnostima izvoditelj radova mora voditi dokumentaciju propisanu odredbama zakona iz područja zaštite okoliša, voda i postupanja s otpadom.

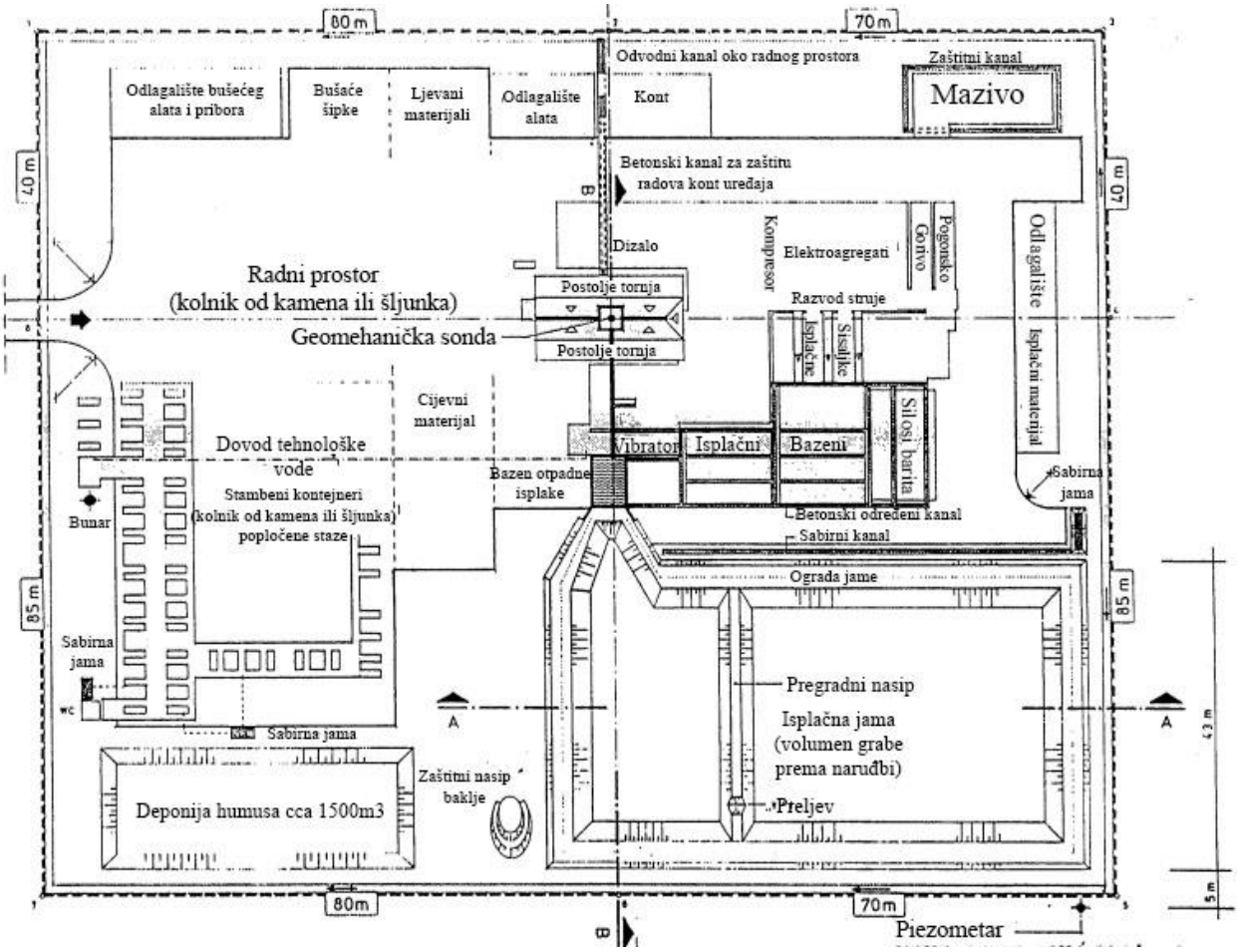
4.5. Prijedlog sanacije isplačne jame na lokaciji bušotine Hrastilnica-4

Za potrebe tehnološkog procesa bušenja istražnih ili razradnih bušotina, uz bušaće postrojenje izgrađena je isplačna jama koja služi kao privremeni deponij za otpadnu isplaku i nabušeni materijal. Obujam isplačne jame ovisi o tipu postrojenja, odnosno o dubini bušenja i drugim tehnološkim parametrima.

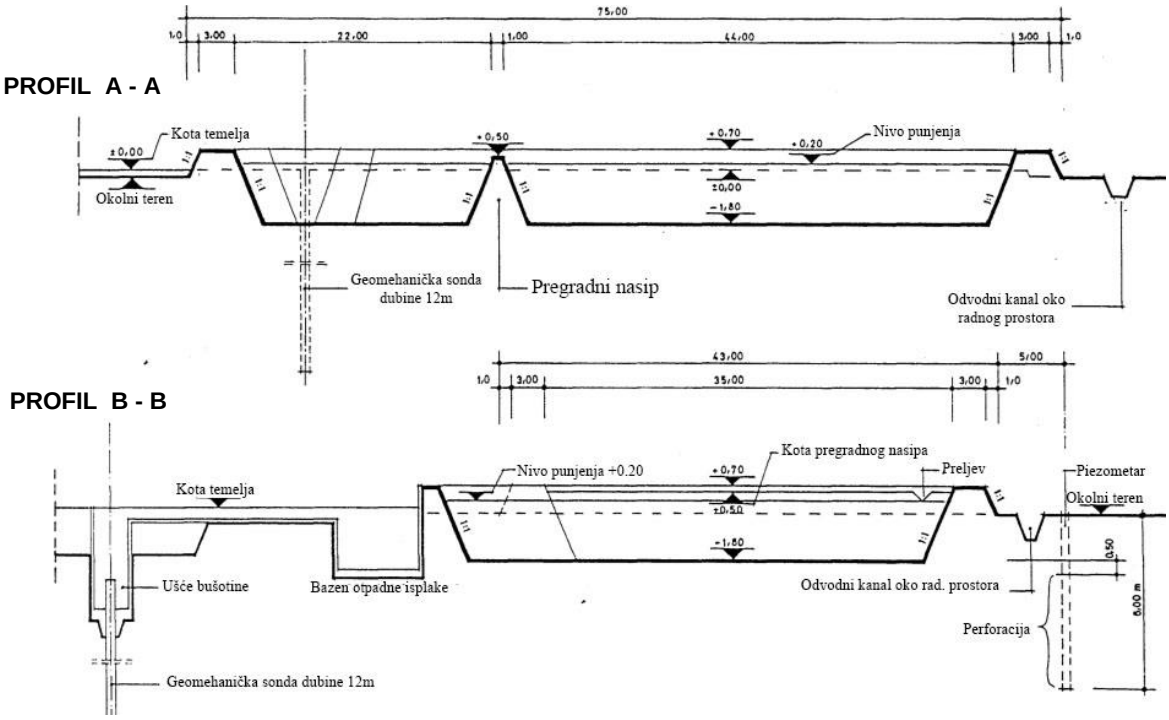
Iskopana jama je obložena PEHD folijom debljine 2 mm, da bi se osigurala nepropusnost, tj. da se onemogući prodor iskorištene isplake i nabušenog materijala u okoliš, odnosno onemogući bilo kakvo otjecanje (procjeđivanje) u okolni teren ili podzemnu vodu. Čestice bentonita, sastavnog dijela isplake, zatvaraju pore u stjenkama i dnu isplačne jame te dodatno povećavaju njenu nepropusnost. Time je u potpunosti onemogućen prodor tekuće faze u okoliš. Nasipi odlagališta i dno izvedeni su tako da osiguravaju stabilnost i nepropusnost tijekom i nakon radova bušenja, dok se materijal iz isplačne jame ne sanira, a jama likvidira. Na bušotinskom radnom prostoru Hra-4, približne dimenzije isplačne jame su 40 × 17 m, dubina je 3,5 m od vrha nasipa, a korisni obujam je približno 1000 m^3 (Živković et al., 2015).

Slika 4-5. shematski prikazuje položaj tipske isplačne jame na prostoru bušotine, a slika 4-6. presjeke tipske isplačne jame, prema Glavnom tipskom rudarskom projektu "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu" (Rukavina et al., 1990).

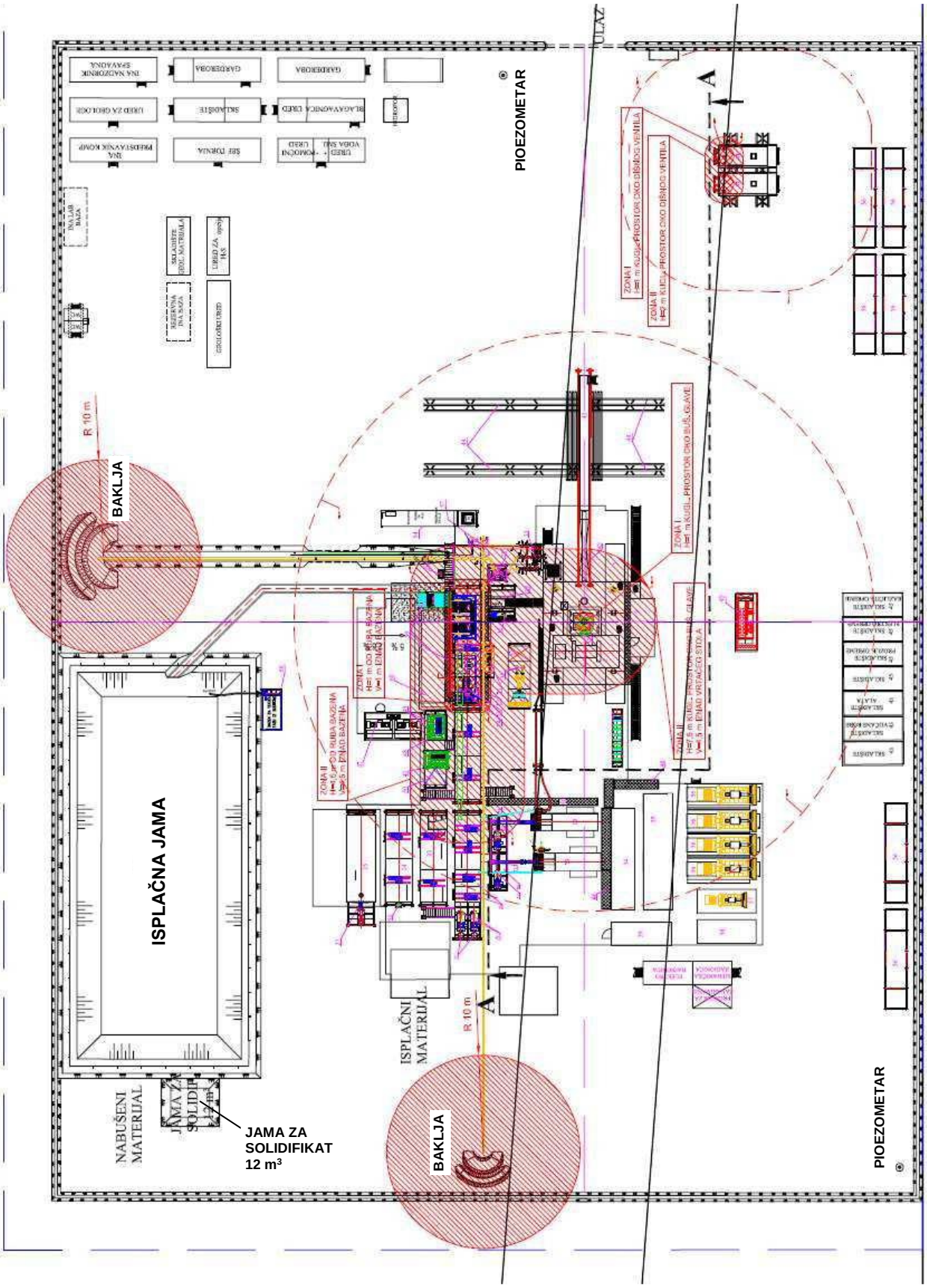
Položaj isplačne jame na radnom prostoru bušotine Hrastilnica-4 prema Pojednostavljenom rudarskom projektu (INA - industrja nafte d.d., 2013) prikazan je na slici 4-7.



Slika 4-5. Shematski prikaz položaja isplačne jame na prostoru bušotine prema Glavnom tipskom rudarskom projektu (Rukavina et al., 1990)



Slika 4-6. Presjeci isplačne jame s položajem piezometara i sondi (Rukavina et al., 1990)



Slika 4-7. Raspored postrojenja s položajem isplačne jame na radnom prostoru bušotine Hrastilnica-4 (120 m × 90 m) prema Pojednostavljenom rudarskom projektu (INA - industrja nafte d.d., 2013)

Prema Glavnom tipskom rudarskom projektu (Rukavina et al., 1990), humus skinut s površine prije iskopa jame odlaže se na deponiju na prostoru bušotine (slika 4-5). Nasipi se izgrađuju ugrađivanjem zemljanog materijala iz iskopa jame u slojevima do 20 cm, te zbijanjem višekratnim prolazom bagera ili buldozera. Minimalni unutarnji pokos nasipa ne smije biti veći od 1:1, ovisno o terenskim uvjetima (visina nasipa, geomehaničke značajke materijala). Isplačna jama se po potrebi pregrađuje nasipom radi odvajanja krute od tekuće faze. U slučaju kada isplačna jama nema pregradnog nasipa – slučaj radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 (slika 4-7), neposredno uz isplačnu jamu iskopa se pomoćna jama (iste dubine kao i isplačna jama) koja služi za miješanje ugušćene faze iz jame sa živim vapnom. Lijevak isplačne jame završava betonskim pragom na koji se naslanja lijevak za odvod krhotina stijene i iskorištene isplake s bušaćeg postrojenja.

4.5.1. Analiza uzoraka ugušćene faze iz isplačne jame prije početka sanacije

Kontrolu kvalitete otpadnog materijala iz isplačne jame potrebno je provoditi:

- prije početka sanacije (analiza uzoraka tekuće i ugušćene faze) i
- po završetku sanacije (analiza solidificiranog materijala tj. solidifikata).

Prije početka radova na sanaciji isplačne jame na BRP bušotine Hra-4, obavljena su sljedeća ispitivanja i analize radi utvrđivanja početnog ("nultog") stanja (Živković et al., 2015):

- uzimanje i kemijska analiza početnog ("nultog") uzorka ugušćene faze iz isplačne jame Hrastilnica-4 s ciljem odabira odgovarajućeg postupka sanacije koji je ekološki i ekonomski najprihvatljiviji (utvrđeni su udjeli metala - Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, As, Ba, Mo, Hg i dr., udjeli organskih spojeva, te udjeli ukupne otopljene tvari i otopljenih aniona; vidi tablicu 4-13),
- uzimanje i analiza uzorka ugušćene faze u svrhu određivanja recepture za solidifikaciju tj. potrebnog masenog omjera otpadni materijal : vapno : pijesak i eventualno ostalih komponenata za ubrzanu razgradnju organskih tvari (utvrđeni su vlažnost i ph-vrijednost uzorka, te maseni udjeli CaO, ukupno topljive tvari, anorganske i organske tvari; vidi tablicu 4-14),

Gore navedena ispitivanja obavljena su u ožujku 2015. godine u Centralnom ispitnom laboratoriju i Laboratoriju za ekologiju, tvrtke INA - Industrija nafte d.d., a rezultati ispitivanja prikazani u tablicama 4-13 i 4-14.

Ispitivani uzorak (slika 4-8) smeđi je kašasti materijal, mirisa po ugljikovodicima. Uzorkovanje je obavljeno prema normi HRI CEN/TR 15310-2:2008. Kompozitni uzorak čine dva uzorka koji su uzeti na dva mjesta sa dna isplačne jame. Ukupna količina uzetog uzorka iznosila je oko 4 kg. Priprema eluata otpada (proizvoda/rezultata laboratorijske simulacije procjeđivanja voda) obavljena je prema normi HRN EN 12457-2:2005 (INA - Industrija nafte d.d., 2015a).

Tablica 4-13. Rezultati analize kompozitnog uzorka otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4 (INA - Industrija nafte d.d., 2015a)

Parametar	**GV**** mg/kg s.t.	**Rezultat ispitivanja**	**Metoda**
Suha tvar (105 °C)	-	40,2 % m/m	HRN EN 12880:2005 HRN EN 12880:2005
pH	-	12,4	HRN EN ISO 10523:2012
Električna vodljivost	-	1521 mS/m	HRN EN 27888:2008
Arsen	2	< 0,001 mg/l *	Vlastita metoda
Barij	500	4,0 mg/kg s.t.	HRN EN ISO 11885:2010
Kadmij	1	< 0,001 mg/l *	HRN EN ISO 11885:2010
Krom (ukupni)	10	< 0,007 mg/l *	HRN EN ISO 11885:2010
Bakar	50	< 0,003 mg/l *	HRN EN ISO 11885:2010
Živa	0,2	< 0,0005 mg/l *	Vlastita metoda
Molibden	50	0,83 mg/kg s.t.	HRN EN ISO 11885:2010
Nikal	10	0,32 mg/kg s.t.	HRN EN ISO 11885:2010
Olovo	10	< 0,020 mg/l *	HRN EN ISO 11885:2010
Antimon	0,7	< 0,0005 mg/l *	Vlastita metoda
Selen	2,5	< 0,001 mg/l *	Vlastita metoda
Cink	50	< 0,003 mg/l *	HRN EN ISO 11885:2010
Otopljeni organski ugljik	500	418 mg/kg s.t.	HRN EN 1484:2002
Ukupna otopljena tvar (180 °C)	60 000	47 984 mg/kg s.t.	Standard Methods, 22 nd Ed, 2540 B:2012
Ukupna ulja i masnoće	-	32,0 mg/kg s.t.	Standard Methods, 22 nd Ed, 5520 B:2012
Mineralna ulja	-	10 mg/kg s.t.	ISO 9377-2:2000
Otopljeni anioni u vodama			HRN EN ISO 10304-1:2009
Sulfat (SO_4^{2-})	100 000	293 mg/kg s.t.	HRN EN ISO 10304-1:2009
Fluorid (F^-)	150	2,0 mg/kg s.t.	HRN EN ISO 10304-1:2009
Klorid (Cl^-)	75 000	15 037 mg/kg s.t.	HRN EN ISO 10304-1:2009
Određivanje fenolnog indeksa	-	0,34 mg/kg s.t.	HRN ISO 6439:1998

s.t. – suhe tvari

* Nije moguće preračunati u mg/kg suhe tvari jer je utvrđeni sadržaj ispod granice kvantifikacije.

** Granična vrijednost parametra eluata (tekuće/kruto = 10 l/kg) propisana *Pravilnikom o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada* (NN 114/2015).

Tablica 4-14. Rezultati analize uzorka otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4, provedene u svrhu određivanja recepture za solidifikaciju (INA - Industrija nafte d.d., 2015b)

Parametar	**Maseni udio (%)**
Vlaga	64,46
Organska tvar	0,43
Anorganska tvar	99,57
pH-vrijednost	10,54
CaO	18,82
Ukupno topljive tvari u vodi	4,34



Tablica 4-15. Uzorak otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4 (INA - Industrija nafte d.d., 2015b)

Na temelju usporedbe rezultata ispitivanja prikazanih u tablici 4-13 s "kriterijima za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada" (graničnim vrijednostima) propisanim *Pravilnikom o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada* (NN 114/2015), može se zaključiti da su vrijednosti svih ispitivanih parametara uzorka ispod propisanih graničnih vrijednosti, odnosno da ispitani uzorak otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4 zadovoljava uvjete za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada.

Rezultati analize uzorka otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4 prikazani u tablici 4-14 ukazuju na:

- vrlo visoku vlažnost uzorka,
- niski maseni udio organske tvari u uzorku, u iznosu od 0,43 % (u solidifikatu je prihvatljiv maseni udio organske tvari u iznosu do 5%),
- lužnat karakter uzorka,
- značajan maseni udio CaO (18,82 %) i
- povišenu topljivost u vodi, u iznosu od 4,34 % (do 1% topljivosti u vodi su prihvatljive vrijednosti).

Prema vrijednostima ispitnih parametara, analizirani uzorak iz isplačne jame Hrastilnica-4 zadovoljava kriterije Pojednostavljenog rudarskog projekta sanacije isplačne jame, izuzev kriterija za ukupno topljive tvari u vodi (4,34 %). Miješanjem smjese otpadni fluid : pijesak : vapno u masenom omjeru 1 : 0,3 : 0,3 dobila bi se smjesa zadovoljavajuće konzistencije, te bi se uz dodatno miješanje materijala i homogenizaciju i vrijednost topivosti u vodi spustila na prihvatljivih 1,0 %. Nakon postupka solidifikacije, materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4, potrebno je uzorkovanje solidificirane faze radi ponovne provjere parametara solidificiranog materijala (solidifikata). Dobivena receptura primijenit će se kod miješanja ugušćene faze u pomoćnoj jami i, nakon obavljenih kontrolnih ispitivanja tijekom obrade, primijeniti i na kompletnoj sanaciji odlagališta (Živković et al., 2015).

Osim navedenih ispitivanja, planira se (Živković et al., 2015):

- uzimanje i kemijska analiza uzorka tekuće faze u svrhu usporedbe utvrđenih parametara s parametrima slojne vode koja se utiskuje na objektima gdje postoji utisni-vodni sustav tj. otpremne mjerne stanice (utvrđuju se udjeli teških metala, klorida, bromida, sulfata, ukupnih i mineralnih ulja, detergenata, otopljenog organskog ugljika, organskih spojeva i suspendiranih čestica) i

- utvrđivanje čvrstoće obrađenog otpadnog materijala i ispitivanje izmiješanog materijala na topivost (otapanje).

Na temelju *Pravilnika o katalogu otpada* (NN 90/2015) otpadni materijal iz isplačne jame Hrastilnica-4 svrstava se u grupu "Otpada koji nastaje pri istraživanju, eksploatiranju i fizikalno-kemijskoj obradi mineralnih sirovina" odnosno podgrupu "Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja" s ključnim brojem otpada 01 05 08 (isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže kloride i nisu navedeni pod 01 05 05* i 01 05 06*). Značenja ključnih brojeva otpada i pripadajućih "Oznaka zapisa" za navedenu podgrupu otpada pojašnjena su u tablici 4-15.

Tablica 4-16. Popis otpada iz podgrupe " Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja" prema *Pravilniku o katalogu otpada* (NN 90/2015)

Ključni broj	**Naziv otpada**	**Oznaka zapisa**	**Opasna svojstva****
01 05	Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja	N	-
01 05 04	Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže slatku vodu	V4	H3-A – "Jako zapaljivo" H3-B – "Zapaljivo" H7 – "Karcinogeno" H13 – "Senzibilizirajuće" H14 – "Ekotoksično"
01 05 05*	Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže ulja	V4	
01 05 06*	Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže opasne tvari	V4	
01 05 07	Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže barit i nisu navedeni pod 01 05 05* i 01 05 06*	V4	
01 05 08	Isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže kloride i nisu navedeni pod 01 05 05* i 01 05 06*	V4	
01 05 08	Otpad koji nije specificiran na drugi način	N	-

** Opasna svojstva prema Dodatku III *Zakona o održivom gospodarenju otpadom* (NN 94/2013)
N – neopasan otpad (nije potrebno odrediti opasno svojstvo).

4.5.2. Opis predloženog postupka obrade otpadnog materijala iz isplačne jame

Temeljem dosadašnjih iskustava i rezultata provedenih analiza uzoraka ugušćene faze, sanacija isplačne jame obavit će se metodom solidifikacije. Solidifikacija ugušćene faze iz isplačne jame obavit će se na samoj isplačnoj jami, tako da se kompletna masa opasnog materijala obradi i privede u neopasni materijal, koji će se pohraniti na mjestu nastanka (Živković et al., 2015). Završno uređenje prostora obavlja se nanošenjem odloženog humusa i planiranjem. Sanacija, likvidacija te vraćanje zemljišta prvobitnoj namjeni obavit će se u skladu sa zakonskim propisima i navodima iz Glavnog tipskog rudarskog projekta "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu" vodeći posebnu brigu o zaštiti tla, podzemnih i površinskih voda.

Uzimajući u obzir sve navedene uvjete, sanacija isplačne jame će se provesti u dva stupnja (Živković et al., 2015):

- prvi stupanj obuhvaća izdvajanje tekućeg dijela i odvoz tekuće faze tj. pročišćene iskorištene isplake (tehnološke vode) iz isplačne jame u Centralnu otpadnu jamu "Žutica" radi obrade i utiskivanja zajedno sa slojnom vodom odvojenom na Otpremnoj stanici "Žutica";
- drugi stupanj obuhvaća obradu preostale ugušćene mase primjenom metode solidifikacije.

Nakon niza pokusa s različitim prirodnim i sintetičkim materijalima, u sklopu istraživanja koja su provođena u laboratorijima tvrtke INA - industrija nafte još od '70-tih godina prošlog stoljeća s ciljem pronalaska postupka za neutralizaciju i sigurno odlaganje krhotina razrušenih stijena, otpadne isplake i drugih fluida, došlo se do zaključka da se ugušćena faza iz isplačne jame može prevesti u krutinu miješanjem sa živim vapnom (Rukavina et al., 1990; Živković et al., 2015). Pri tome, živo vapno (CaO) reagira s vodom iz ugušćenog materijala dajući gašeno vapno ($Ca(OH)_2$) uz razvijanje topline:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

Nastali kalcijev hidroksid, uz dobro miješanje, s krutim anorganskim česticama (baritom, glinama, krhotinama stijena) i organskim komponentama (naftom, plinskim uljem, različitim organskim aditivima) formira krutinu, koja je vrlo slabo topiva u vodi. Na taj način praktički je onemogućeno ispiranje anorganskih i organskih komponenti i njihov prodor u okoliš. Stajanjem na zraku, kalcijev hidroksid veže na sebe ugljikov dioksid (CO_2) iz zraka, pretvarajući se u netopivi kalcijev karbonat ($CaCO_3$):

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

Nastali kruti materijal (solidifikat), koji sadrži kalcijev hidroksid ($Ca(OH)_2$) odnosno kalcijev karbonat ($CaCO_3$), barit ($BaSO_4$) i gline nije toksičan, jer sadrži tvari koje se nalaze u prirodi i dokazano nisu toksične. Ispitivanjima je također utvrđeno da je nastali solidifikat vrlo slabo topiv u vodi, a njegova vodena otopina ne sadrži otrovne tvari. Međutim, zbog povišene pH-vrijednosti takva otopina bi mogla biti štetna za poljoprivredne kulture (Rukavina et al., 1990).

Postupak solidifikacije podrazumijeva primjenu vapna za obradu materijala koji u svojem sastavu imaju minimalno 10 % čestica gline. Solidifikacija primjenom vapna je vrlo pogodan tehnološki proces za obradu otpadnog materijala iz više aspekata (Živković et al., 2015):

- reakcijom vapna s glinom postiže se kalcifikacija materijala,
- vezanjem vapna i gline smanjuje se porni volumen materijala,
- vezanjem vapna i gline blokiraju (inkapsuliraju) se čestice teških metala,
- materijali koji u svom sastavu imaju 5 do 20 % ugljikovodika mogu se učinkovito obraditi ovom metodom,
- ispiranje vodom obrađenog materijala je neznatno.

S obzirom na gore navedeno, ugušćena faza obrađena živim vapnom–može se bez opasnosti ostaviti u odlagalištu. Već je ranije spomenuto, da su stijenke odlagališta nepropusne, uslijed čega je onemogućeno prodiranje vode u okoliš (Rukavina et al., 1990; Živković et al., 2015).

Postupak solidifikacije sastoji se u miješanju ugušćene faze s određenom količinom mljevenog živog vapna određene granulacije. Miješanje se provodi građevinskim strojevima - bagerima.

Kemijskim analizama materijala iz isplačne jame utvrđeno je da je sadržaj organskog materijala u dozvoljenim granicama (vidi tablice 4-13 i 4-14), te je na temelju Glavnog tipskog rudarskog projekta "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu" i iskustva, procijenjeno miješanje smjese fluid - pijesak - vapno u omjeru 1 : 0,3 : 0,3 (Živković et al., 2015).

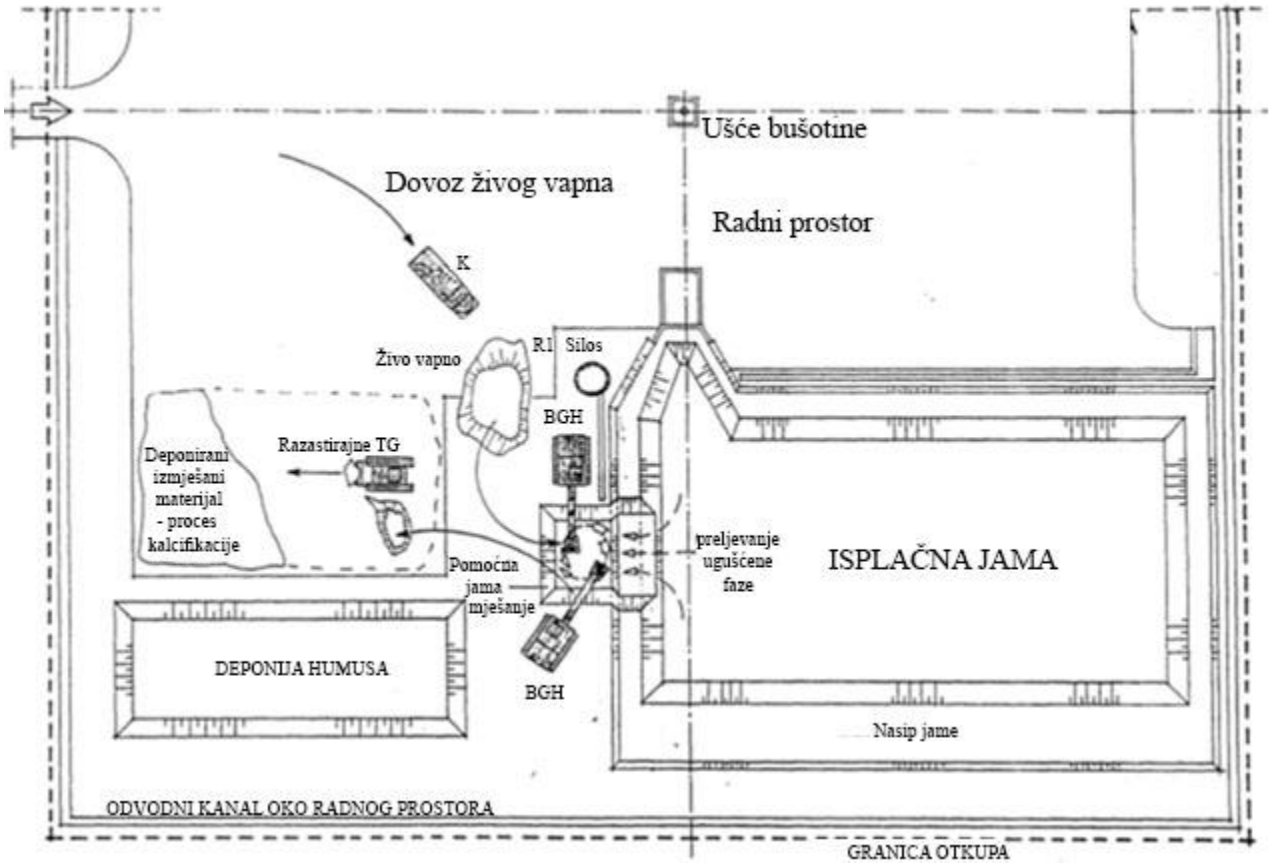
Prema navedenom projektu sanacije, za provođenje postupka potrebna su sljedeća radna sredstva i materijal (Rukavina et al., 1990):

- dva bagera klase BGH – 1000,
- jedan buldozer klase TG – 100,
- vozila za prijevoz mljevenog živog vapna,
- kamion kiper za transport vapna od silosa do mjesta korištenja,

- jedan silos volumena 30 m^3 (za slučaj neredovite isporuke vapne) i
- mljeveno, granulirano živo vapno (CaO).

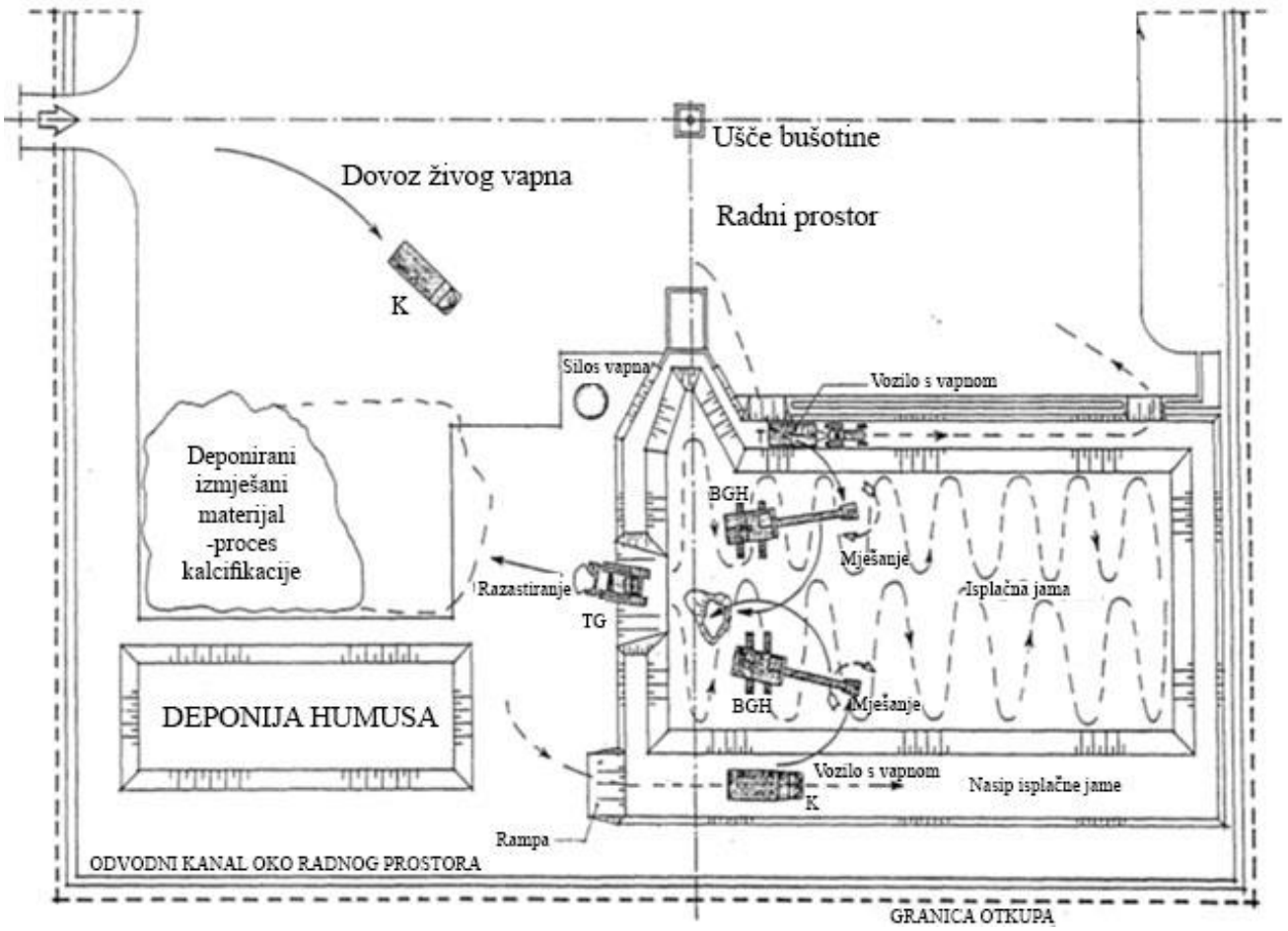
Postupak solidifikacije ugušćene faze iz isplačne jame prema Glavnom tipskom rudarskom projektu "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu", shematski je prikazan na slikama 4-9. do 4-12.

Kao što je spomenuto, postupku mješanja ugušćene faze sa živim vapnom pristupa se nakon uklanjanja tekuće faze iz isplačne jame. Miješanje će se izvoditi u pomoćnoj jami, koja je iskopana neposredno uz isplačnu jamu. Na kruni nasipa bagerom se izradi otvor kroz koji se određena količina ugušćene faze "prelije" u pomoćnu jamu (slika 4-9). Iz vozila se istovari mljeveno živo vapno. Bagerom se određena količina vapna i pijeska prebaci u pomoćnu jamu i izmješa s ugušćenom fazom. Kada je dovoljno izmješan, materijal se bagerima vadi iz pomoćne jame i odlaže na radni prostor bušotine gdje je položena PEHD folija (definirano Građevinskim projektom). Pri tome se obavlja još dodatno miješanje i započinje kemijski proces kalcifikacije. Nakon toga započinje sljedeći ciklus prijenosa ugušćene faze u pomoćnu jamu, doziranje živog vapna i pijeska uz miješanje te vađenje iz pomoćne jame na radni prostor bušotine gdje je položena PEHD folija.



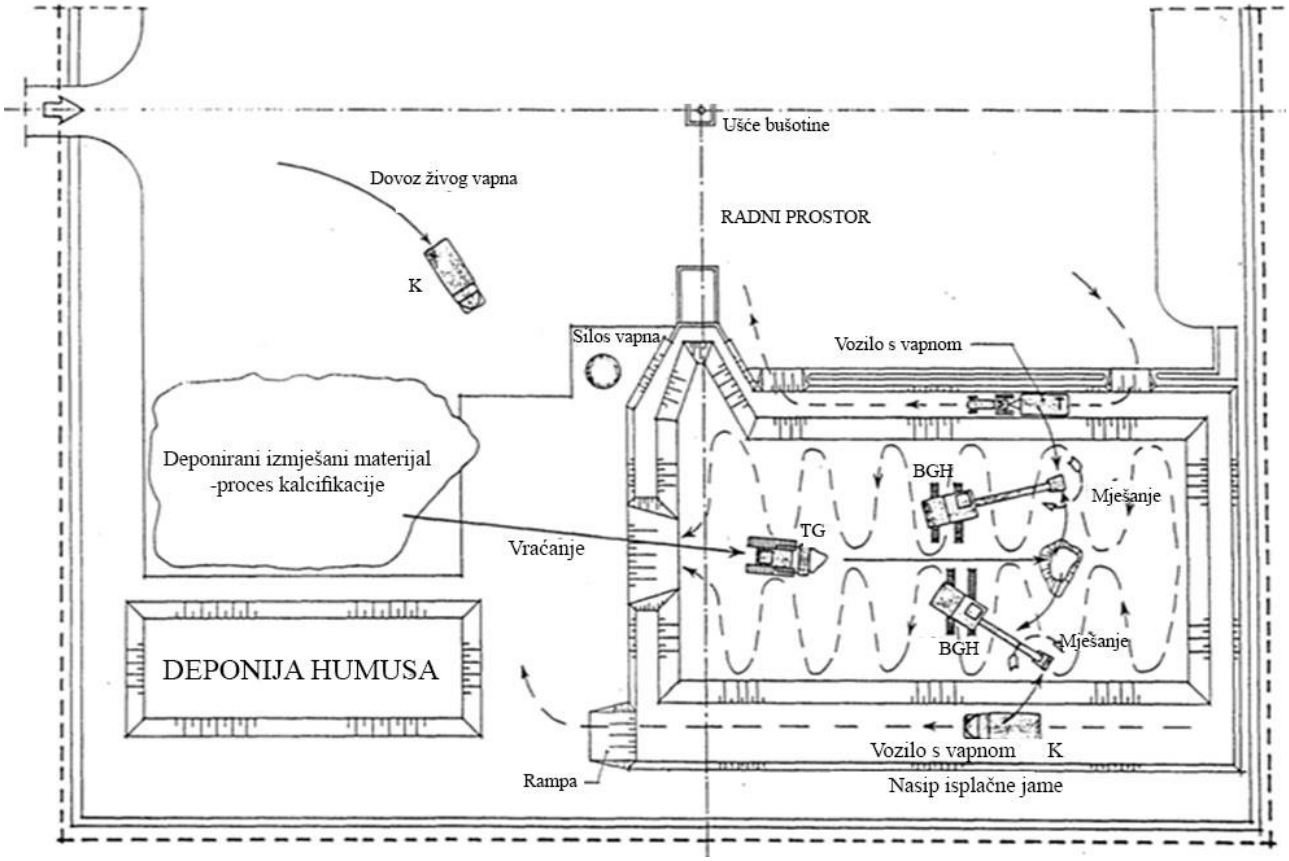
Slika 4-8. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – miješanje ugušćene faze u pomoćnoj jami (Rukavina et al., 1990)

Kada se ustanovi da je isplačna jama zapunjena s izmiješanim materijalom, pijeskom i vapnom do visine 1 m ispod razine terena, postupak miješanja preostale ugušćene faze se provodi u isplačnoj jami (slika 4-10.). Miješenje se provodi u "lamelama" od jednog kraja isplačne jame prema drugom. Sav izmiješani materijal se deponira na prije opisano mjesto, gdje se prosušuje.



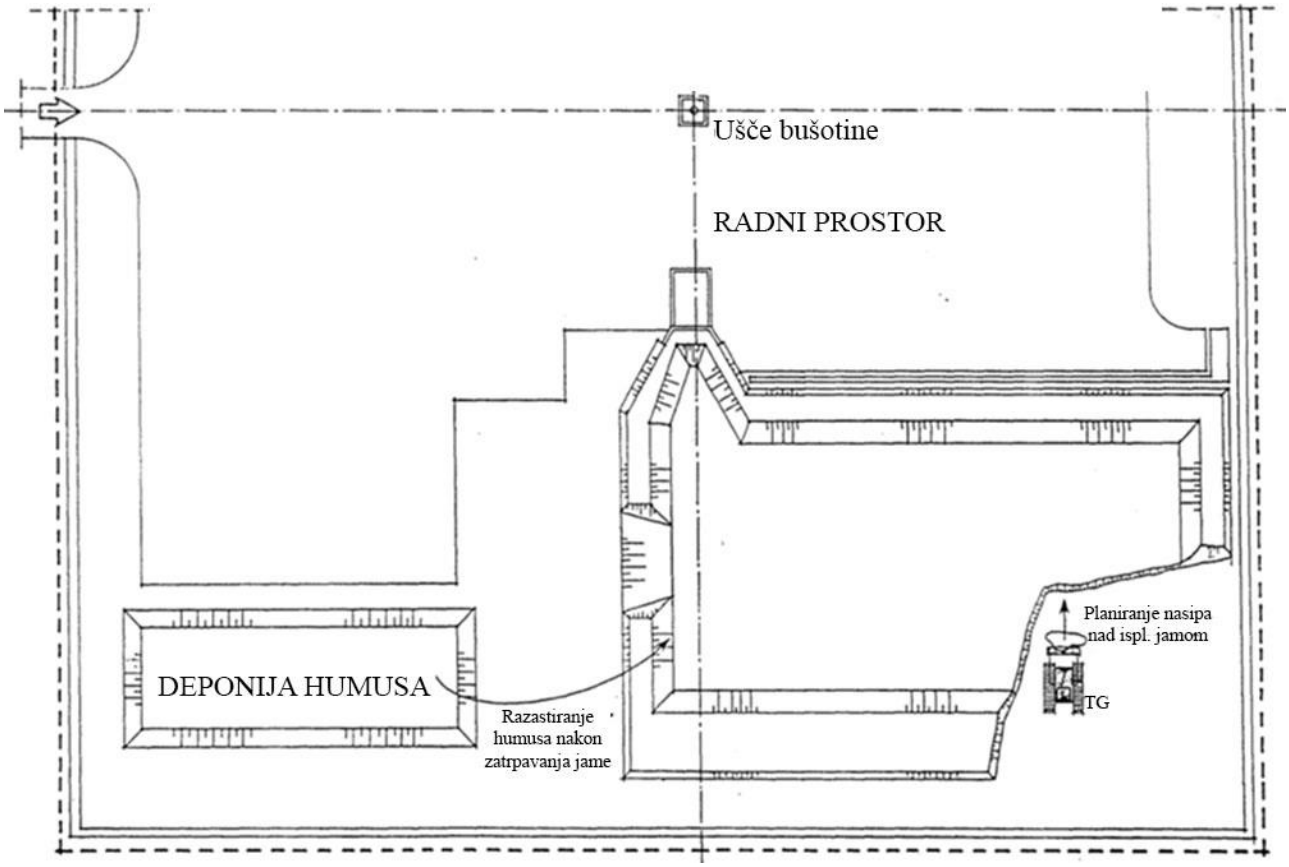
Slika 4-9. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – miješanje preostale ugušćene faze u isplačnoj jami (Rukavina et al., 1990)

Kada je sva masa ugušćene faze izmiješana sa živim vapnom i pijeskom, te deponirana na prostoru lokacije bušotine, obavlja se kontrola i ocjena kvalitete obrađenog materijala. Nakon toga se obrađeni materijal vraća buldozerom u ispražnjenu i očišćenu isplačnu jamu, gdje se jednolično rasprostire i pri tome se obavi još jedno miješanje (slika 4-11.). Zatim se pristupa odguravanju zemlje iz nasipa jame preko izmiješanog i rasprostrtog materijala. Materijal se ravnomjerno rasprostire buldozerom do visine koja omogućuje nanošenje sloja humusa.



Slika 4-10. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – vraćanje deponiranog izmiješanog materijala u isplačnu jamu te ponovno miješanje (Rukavina et al., 1990)

U završnoj fazi (slika 4-12.) na površinu isplačne jame nanosi se buldozerom deponirani humus i obavlja konačno uređenje prostora. Sloj zemlje i humusa nanosi se u visini od oko 100 cm, prateći konfiguraciju okolnog terena. Ako se sanacija provodi na lokaciji negativne bušotine, navedeni se radovi mogu izvesti u okviru radova "likvidacije" bušotine, pri čemu se radovi izvode tako da se bušotinski radni prostor vrati prvobitnoj namjeni (Rukavina et al., 1990).



Slika 4-11. Shematski prikaz postupka solidifikacije ugušćene faze građevinskim strojevima – zatrpavanje izmiješanog materijala u isplačnoj jami (Rukavina et al., 1990)

Nakon završetka svih rudarskih radova na izvedbi bušotine Hra-4 prestaje potreba za bušotinskim radnim prostorom dimenzija 125 × 90 m. Za daljnje aktivnosti bušotinski radni prostor sužava se na dimenzije 70 × 30 m (Živković et al., 2015).

Sve armirano-betonske konstrukcije izvan novih granica bušotinskog radnog prostora potrebno je razbiti, ukloniti s lokacije i zbrinuti na odlagalištu građevinskog otpada. Armirano-betonske konstrukcije unutar novih granica bušotinskog radnog prostora mogu se ostaviti ukoliko se procjeni da neće smetati budućem odvijanju radova na lokaciji. Talpe je potrebno očistiti i odvesti na skladište.

Dio kamenog materijala (ugrađenog pri izvedbi bušotinskog radnog prostora) koji će se prilikom radova na suženju lokacije izmiješati sa zemljom i ugrađenim geotekstilom, treba odložiti u prethodno pripremljenu jamu te prekriti zemljanim materijalom. Minimalni nadsloj je 0,5 m. Kameni materijal koji neće biti izmiješan sa zemljanim materijalom može se iskoristiti za izvedbu novih bušotinskih radnih prostora, popravak prometnica i postojećih bušotinskih radnih prostora (Živković et al., 2015) .

4.5.3. Mjere sigurnosti i zaštite pri radovima sanacije isplačne jame

U skladu s Glavnim tipskim rudarskim projektom "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu", prikaz mjera zaštite u "Pojednostavljenom rudarskom projektu sanacije otpadne jame na bušotinskom radnom prostoru bušotine Hra-4 na eksploatacijskom polju ugljikovodika Žutica" utemeljen je na pravilima zaštite na radu i zaštite okoliša definiranih *Zakonom o rudarstvu* (NN 56/13 i 14/14), *Zakonom o zaštiti na radu* (NN 71/14, 118/14, 154/14) i *Zakonom o zaštiti okoliša* (NN 80/13 i 153/13).

Prije početka radova sanacije nadzorni inženjer je dužan pregledati dokumente koji dokazuju ispravnost opreme i sredstava rada Izvođača radova, te nadzirati primjenu projektiranih mjera sigurnosti, zaštite zdravlja i okoliša.

Potencijalne opasnosti tijekom sanacije su (Živković et al., 2015):

- prodiranje štetnih tvari u podzemlje;
- rad s građevinskim strojevima i teškim vozilima za prijevoz zemlje i materijala;
- opasnosti kod rada s štetnim materijalima.

Kako bi se spriječilo prodiranje štetnih tvari u podzemlje na dno i bočne stranice isplačne jame, u pomoćnu isplačnu jamu i na prostor za privremeno odlaganje solidifikata postavlja se vodonepropusna PEHD folija, što je detaljnije obrađeno u prethodnim poglavljima.

Oruđa i uređaji za rad s povećanom opasnošću koji se koriste tijekom građevinskih radova predstavljaju stalan izvor opasnosti ukoliko se rukovanje ne obavlja na propisan način. Mjere zaštite uključuju:

- dobru pripremu i organizaciju poslova na radnom prostoru,
- korištenje pregledanih oruđa i uređaja s pripadajućim oznakama (Izvođač treba posjedovati dokaze o ispravnosti istih tj. uvjerenja o ispitivanju oruđa s povećanom opasnošću),
- posjedovanje uputa za rad na siguran način, te upoznavanje svih djelatnika u procesu sa smjernicama tih uputa,
- postavljanje znakova upozorenja i opasnosti uz uređaje,
- ispravno održavanje oruđa, uređaja i vozila.

Opasnost od utjecaja štetnih materijala svodi se na minimum pažljivim rukovanjem takvim materijalom (npr. hidratiziranim vapnom) prema uputama proizvođača, te ispravnim provođenjem prethodno opisanog postupka solidifikacije odnosno obradom kompletne mase krutog materijala iz isplačne jame miješanjem s vapnom te pretvorbom u neopasni, inertni materijal, koji će se pohraniti na mjestu nastanka.

Tijekom transporta i rada mehanizacije, pretpostavlja se da će nastati određene količine otpadnih ulja (motorna, strojna i maziva ulja). Unatoč posebnoj pažnji koja će se posvetiti snabdijevanju mehanizacije gorivom, kao i pri manipulaciji svježim i otpadnim uljima, može se očekivati nastanak nezgoda uslijed prolijevanja istih. U tom slučaju postupa se na način kako je opisano u potpoglavlju 4.4.

Mjere koje je potrebno poduzeti u slučaju onečišćenja propisane su u "Pravilniku o izvješćivanju i istraživanju incidenata na području ZZSO u INA d.d." i "Uputi o postupanju u slučaju izvanrednog događaja u SD Istraživanje i proizvodnja nafte i plina".

Tijekom sanacije bušotinskog radnog prostora nastati će određene vrste i količine otpada koje se prema *Pravilniku o katalogu otpada* (NN 90/2015) označavaju ključnim brojem:

- 17 01 01 beton
- 17 04 07 miješani metali.

Sav nastali komunalni, građevinski otpad treba zbrinuti, u skladu sa *Zakonom o održivom gospodarenju otpadom* (NN 94/13). Po završetku rado Izvođač je obvezan lokaciju ostaviti u čistom i urednom stanju, osigurati da su sva eventualna izlijevanja i rasipanja očišćena na pravilan (propisan) način i da je sav materijal odvezen na za to propisano mjesto (Živković et al., 2015).

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani postupci zbrinjavanja tehnološkog otpada nastalog u procesu izrade naftnih i plinskih bušotina, koji se primjenjuju u današnjoj praksi. Mogućnost zbrinjavanja tehnološkog otpada odnosno sanacije isplačnih jama na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica" prikazana je na primjeru radnog prostora bušotine Hrastilnica-4. Slijed postupaka u cjelokupnom zahvatu sanacije isplačnih jama treba biti podrobno razrađen s ciljem zaštite svih sastavnica okoliša na lokaciji bušotinskog kruga, naročito okolnog tla i podzemnih voda. Primjena određenog sanacijskog postupka uvjetovana je u prvom redu fizikalno-kemijskim značajkama obrađivanog materijala i značajkama lokacije ali i brojnim drugim utjecajnim faktorima.

Na temelju rezultata provedenih laboratorijskih analiza uzoraka otpadnog materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4, te pokusa s različitim prirodnim i sintetskim materijalima, utvrđen je kemijski sastav otpadnog materijala u isplačnoj jami, mogućnost sanacije postupkom solidifikacije i receptura za solidifikaciju materijala iz jame miješanjem sa živim vapnom. Postupak solidifikacije ugušćene faze iz isplačne jame i sanacije radnog prostora bušotine Hrastilnica-4 predložen je u skladu sa zakonskim propisima i Glavnim tipskim rudarskim projektom "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu".

Rezultati kemijskih analiza uzorka pokazuju su da su vrijednosti svih ispitivanih parametara uzorka otpada ispod graničnih vrijednosti propisanih *Pravilnikom o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada* (NN 114/2015), odnosno da otpadni materijal iz isplačne jame Hrastilnica-4 zadovoljava kriterije za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada. Temeljem *Pravilnika o katalogu otpada* (NN 90/2015) taj se otpadni materijal svrstava u otpad s ključnim brojem 01 05 08 (isplačni muljevi i ostali otpad od bušenja, koji sadrže kloride i nisu navedeni pod 01 05 05* i 01 05 06*).

Postupci solidifikacije/stabilizacije relativno su jednostavni i ekonomski prihvatljivi, često korišteni pri sanaciji onečišćenog tla i tehnološkog otpada. Njima se postiže vezanje onečišćujućih tvari u čvrsti i/ili kemijski stabilan materijal, bitno smanjene toksičnosti, propusnosti, topivosti i mobilnosti, čime su utjecaji na okoliš svedeni na minimum. S druge strane, ti postupci imaju i određene nedostatke: ne uklanjaju onečišćujuću tvar (u slučaju solidifikacije samo joj je smanjena mobilnosti) te često dobiveni solidifikat treba i dalje kontrolirati kao opasni otpad, mogućnost većeg volumena konačnog solidifikata u odnosu na prvobitni materijal, upitna konzistentnost solidifikata kroz dugi niz godina (uslijed

raznih promjena u tlu uzrokovanih meteorološkim i drugim utjecajima). Gledajući samo zemljište, mogućnost vraćanja prvobitnoj poljoprivrednoj namjeni nakon sanacije je limitirana, zbog mogućnosti apsorpcije otopljenih spojeva iz solidifikata putem korijenja biljaka.

6. LITERATURA

AL – TABBAA, A., PERERA, A. S. R. (2006): UK stabilization/solidification treatment and remediation – Part I : binders, technologies, testing and research. *Land Contamination & Reclamation*, 14 (1), str. 1-22.

ARGONNE NATIONAL LABORATORY (ANL) (2008): Drilling Waste Management Technology Descriptions. URL: http://web.ead.anl.gov/ (10.7.2015.)

BILETIĆ, M., TURČINEC, M., HODAK, M., ŠPANIĆ, I., GAŠIĆ, I., HORVAT, A. (2014): Završno izvješće za istražnu bušotinu Hrastilnica–4 (Hra-4). INA Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i inženjering i Služba tehnologije rudarskih radova. Zagreb, 82 str.

BOKULIĆ, I. (2012): Utjecaj isplake na okoliš. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

BORTHWICK, I., READ, T., BALKAU, F., MONOPOLIS, J. (1997): Environmental management in oil and gas exploration and production. UNEP IE and E&P Forum. Words and Publications, Oxford. URL: http://www.ogp.org.uk/pubs/254.pdf (10.7.2015.)

DARIN, T. F., STILLS, T. (2002): Preserving Our Public Lands, a citizen's guide to understanding and participating in oil and gas decisions affecting our public lands. Land and Water Fund of the Rockies., Boulder, str. 7-18.

REIS, E., LODOLO, A., MIERTUS, S. (2008): Survey of soil remediation technology. Unido International Centre for Science and High Technology (ICS), Trieste.

EPA (1987): Management of wastes from the exploration,development, and production of crude oil, natural gas, and geothermal energy. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington. (1)

IL&FS ECOSMART LIMITED (2009): Technical EIA Guidance Manual for offshore and onshore Oil and Gas Exploration, Development and Production. Hyderabad.

INA-CNP (1993): Cjelovita studija o utjecaju na okoliš tehnoloških objekata INA-INDUSTRIJA NAFTE-NAFTAPLINA na području općine Ivanić Grad. INA-CNP d.o.o. za tehničke poslove., Zagreb, 192 str.

INA - industrja nafte d.d. (2013): Pojednostavljeni rudarski projekt za istražnu bušotinu Hrastilnica - 4 (Hra - 4). INA - industrja nafte d.d., ISD straživanje i proizvodnja nafte i plina, Sektor za geologiju i inženjering, Zagreb, 182 str.

INA - Industrija nafte d.d. (2015a): Izvještaj o ispitivanju i/ili mjerenju. INA - industrija nafte d.d., SD Rafinerije i marketing, Sektor razvoja Rafinerija i marketinga, Centralni ispitni laboratorij. Oznaka dok.: 50340079-0169/15.

INA - Industrija nafte d.d. (2015b): Analiza materijala iz isplačne jame Hrastilnica-4. INA - industrija nafte d.d., SD Istraživanje proizvodnja nafte i plina, Sektor istraživanja, Služba laboratorijskih istraživanja. Oznaka dok.: 50000368-103/15.

LUKAČEVIĆ, H., JARAK, D., DOMJANIĆ, A., MUDRIĆ, D., HORVAT, A., LEŠKOVIĆ, G.,SENTIĆ, M., POGAČIĆ, D., REŠČEK, D., GALIĆ, F., DEVEĐIJA, B., LJEPOVIĆ OLUJIĆ, V. (2014): Dopunski rudarski projekt eksploatacije ugljikovodika na eksploatacijskom polju Žutica-Dopuna 6. INA Industrija nafte d.d., SD Istraživanja i proizvodnje nafte i plina iSektor za geologiju i inženjering, Zagreb, 158 str.

MAIJALA, A., FORSMAN, J., LAHTINEN, P., LEPPANEN, M., HELLAND, A., ROGER, A.-O.H., KONIECZNY, M. (2009): Cement stabilization and solidification – STSO Review of techniques and methods / Binders, methods and techniques to stabilize / solidify polluted soil and sediment. Project. Rambøll Norge AS., Oslo, 54 str.

MARISCINA.COM Krizni eko stožer Marišćina „Zero“ waste primjeri u svijetu. URL:http/knjiznica/zero-waste-koncept-koncept-bez-otpada/zero-waste-primjeri-u-svijetu/ (15.8.2015.)

MATANOVIĆ, D. (2006): Tehnika izrade bušotina. Priručnik s primjerima. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 299 str.

MILČIĆ, M., VASILJEVIĆ, R., BURELA, S., MAJHEN, H., ŠEPAROVIĆ, M. (2014): Agroekološka analiza nultog stanja tla na lokaciji radnog prostora istražne bušotine Hrastilnica-4. ECOINA d.o.o. za zaštitu okoliša. Zagreb, 23 str.

NATONAL PARK SERVICE (NPS) (2006): Operators handbook for nonfederal oil and gas development in units of the national prak system. Geologic Resources Division, Lakewood.

PERIĆ, M. (2007): Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. INA Industrija nafte d.d., Sektor korporativnih komunikacija, Zagreb, 1039 str.

PLETIKAPIĆ, Z., MESARIĆ, M., LIKIĆ, J. (2015): Strateška studija utjecaja na okoliš Okvirnog plana i programa istraživanja i eksploatacije ugljikovodika na kopnu. Netehnički sažetak. Elektroprojekt d.d. i Ires ekologija d.o.o. za zaštitu prirode i okoliša. Zagreb, 27 str.

RAMIREZ, P. (2009): Reserve Pit Management : Risk to Migratory Birds.Environmental Contaminants Program. U.S. Fish & Wildlife Service, Cheyenne. 32 str.

RUKAVINA, Ž., JURETIĆ, Z., MIŠEVIĆ, V., VITEZIĆ, M., TOMIĆ, M. (1990): Glavni tipski rudarski projekt "Sanacija isplačnih jama u INA-Naftaplinu". INA-Naftaplin, Zagreb, 68 str.

SCIENCEDAILY.COM (2012): Bioremediation of toxic metals using worms:Earthworms soak up heavy metal. URL:
http://www.sciencedaily.com/releases/2012/08/120816133420.html (16.9.2015.)

SELLASSIE, E. G. (2011): Estimation of drilling wastes – an enviromental concern while drilling oil and gas wells. African University of Science and Technology. Abuja.

SOBOTA, I. (2014): Pisana predavanja i prezentacije iz predmeta "Čišćenje tla". Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

THE NATIONAL PETROLEUM COUNCIL (NPC) (2011): Sustainable drilling of onshore oil and gas wells. North American Resource Development Study, 22 str.

TRIBAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL INFORMATION CLEARINGHOUSE (TEEIC). Oil and Gas Drilling/Development Impacts. URL: http://teeic.indianaffairs.gov/er/oilgas/impact/drilldev/index.htm (10.7.2015.)

ŽIVKOVIĆ, H., POGAČIĆ, D., BUKVIĆ, S., DEVEĐIJA, B., LJEPOVIĆ OLUJIĆ, V., ČULJAT, M., MAŠINA, Ž., TURKOVIĆ, D. (2015): Pojednostavljeni rudarski projektsanacije otpadne jame na bušotinskom radnom prostoru bušotine Hra-4 na eksploatacijskom polju ugljikovodika "Žutica". INA Industrija nafte d.d.,SD Istraživanje i proizvodnja nafte i plina,Sektor za geologiju i inženjering, Zagreb, 18 str.

*** Zakon o rudarstvu. Narodne Novine br. 56/2013 i 14/2014.

*** Zakon o zaštiti od požara. Narodne Novine br. 92/2010.

*** Zakon o zaštiti prirode. Narodne Novine br. 80/2013.

*** Zakon o zaštiti okoliša. Narodne Novine br. 80/2013 i 78/2015.

*** Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika. Narodne Novine br. 94/2013 i 14/2014.

*** Zakon o zaštiti na radu. Narodne Novine br. 71/2014.

*** Zakon o održivom gospodarenju otpadom. Narodne Novine br. 94/2013.

*** Zakon o vodama. Narodne Novine br. 153/2009, 63/2011, 130/2011, 56/2013 i 14/2014.

*** Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu. Narodne Novine br. 46/2008.

*** Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave. br. Narodne Novine 145/2004.

*** Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta. Narodne Novine br. 43/2014.

*** Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne Novine br. 9/2014.

*** Pravilnik o mjerilima za utvrđivanje osobito vrijednog obradivog (P1) i vrijednog obradivog (P2) poljoprivrednog zemljišta. Narodne Novine br. 151/2013.

*** Pravilnik o katalogu otpada. Narodne Novine br. 90/2015.

*** Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada. Narodne Novine br. 114/2015.