

*Originalan naučni rad
Original scientific paper*

UDC: 622.323:556.31

DOI: 10.5825/afts.2012.0406.059S

ODLAGANJE OTPADA NASTALOG TOKOM ISTRAŽIVANJA I EKSPLOATACIJI NAFTE I PLINA POMOĆU BUŠOTINA UTISKIVANJEM U PODZEMLJE I MOGUĆNOST PRAĆENJA UTISKIVANJA

Šabović Almir¹, Isabegović Jasmin²

¹Rudarski institut d.d. Tuzla, e-mail: rituzla2@bih.net.ba

REZIME

Utiskivanje mješavine koristi se za odlaganje industrijskog otpada nastalog tokom istraživanja i eksploatacije nafte i plina. Taj otpad je uglavnom slojna voda, isplaka koja se koristila pri bušenju, sitnozrni naftni pijesak i naftom zagađena voda. Ovaj se način odlaganja otpada može proširiti na velike zapremine čvrstog i tečnog otpada uz razuman trošak i nizak rizik za okolinu, gdje svi tehnički faktori izgledaju povoljno. U ovom radu su prikazani uslovi koje treba da zadovolji sredina u koju bi se otpad utiskivao, kao i kontrole vezane za njegovo utiskivanje. Obzirom da u toku utiskivanja čvrstih čestica nastaju promjene napona i orijentacije pukotina, procesi utiskivanja se prate i to koristeći bušotine i inducirano polje pomaka. Većina taložnih bazena ima povoljne karakteristike za izvođenje frakturnog utiskivanja mješavina i uz povoljan izbor mjesta u potpunosti bi se obezbjedila dugoročna sigurnost.

Ključne riječi: *otpad iz naftne industrije, odlaganje otpada, utiskivanje otpada pomoću bušotina, sredine pogodne za utiskivanje, praćenje utiskivanja*

DISPOSAL OF WASTE GENERATED DURING RESEARCH AND EXPLOATATION OF OIL AND GAS WITH INJECTION WELLS IN UNDERGROUND AND POSSIBILITY TO MONITOR INJECTION

ABSTRACT

Injection of a slurry used for the disposal of industrial waste generated during the research and exploitation of oil and gas. This waste is mostly formation water, drilling fluid that was used during drilling, fine grained oil sand and oil contaminated water. This method of waste disposal can be expanded to large volumes of solid and liquid waste at reasonable cost and low risk to the environment, where technical factors seem favorable. In this paper the conditions to be satisfied by the environment in which to waste engraved, as well as controls related to its injection. Considering that during the injection of solid particles generated stress changes and orientation of fracture, injection processes are monitored using wells and the induced displacement field. Most of the sedimentary basin has favorable characteristics for performance fracture injection mixture and with a favorable choice of fully ensure their long-term safety.

Key words: *waste from the petroleum industry, disposal of waste, injection waste with wells, the environment suitable for injection, injection monitoring*

UVOD

Idealan pristup odlaganju otpada nastalog prilikom istraživanja i eksploatacije nafte i plina trebao bi imati slijedeće karakteristike: lokacija mora imati najmanju vjerovatnoću negativnog djelovanja na biosferu za dug vremenski period, tehnologija odlaganja mora biti fleksibilna u kapacitetu da radi sa otpadnim materijalima za koje je namijenjena, transport i metode rukovanja otpadom moraju biti sigurne za zaposlene i okolnu zajednicu, pristup kompletnom sistemu za trajno odlaganje mora se kontrolisati i biti društveno prihvaćen i cijena načina odlaganja mora biti razumna.

Poznato je da se otpad može odlagati na površini i pod zemljom i da je podzemno odlaganje znatno sigurnije, a kod podzemnog odlaganja najsigurnije i najekonomičnije je odlaganje navedenog otpada pomoću bušotina.

Dakle, najsigurnije je tzv. bušotinsko odlaganje takvog otpada, te je među pristupima dubokog geološkog ukopavanja frakturno utiskivanje mješavina najbolja i najekonomičnija opcija za odlaganje otpadne kaše.

SVJETSKA ISKUSTVA

Na osnovu svjetskih iskustava proteklih godina prikazano je da je utiskivanje mješavina u propusne porozne slojeve u dubinu, koristeći tehnologiju hidrauličkog frakturiranja iz industrije nafte, sigurna metoda za trajno odlaganje čvrstog i tečnog otpada.

Otpad koji bi se odlagao u bušotinu može se spaliti u pepeo, pretvoriti u staklastu masu ili formirati u pelete (kuglice). Peletizirani zrnasti otpad može se raspršiti u cementnu mješavinu i učiniti nepokretnim. Kao dominantna čvrsta faza (85 - 90%) može se koristiti mješavina letećeg pepela, škriljca i gipsa; toksični radionuklidi bi se imobilizirali učincima cementne glinene mješavine, procesima sporog kretanja i izmjenom kationa. Smanjenje toka smanjit će protok procjednih voda; utiskivanje raspršenog otpada u cementnoj mješavini stvorit će u visoko propusnom sloju tijelo niske propusnosti. Nakon završene konsolidacije voda će ići okolo, a ne kroz otpad.

U EU se izbor pogodne geološke formacije za utiskivanje industrijskog otpada u tehnički ispravne bušotine obavlja na osnovu kriterija i standarda, odnosno prema Direktivi o otpadu 2008/98/EC - Aneks I, tabela 1.

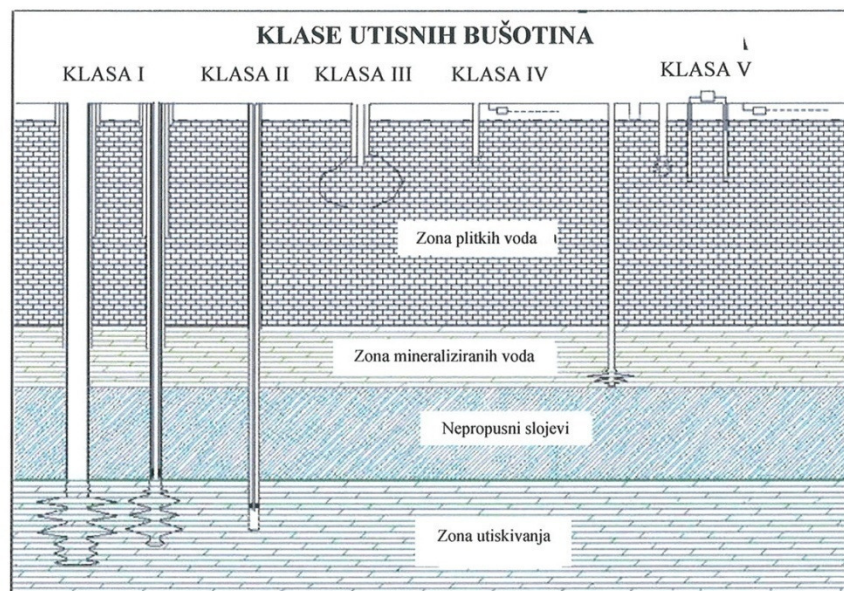
Tabela 1. Postupci odlaganja otpada prema Direktivi o otpadu 2008/98/EC
Table 1 Methods of disposal of waste under Directive 2008/98/EC on Waste

Postupci odlaganja otpada prema Direktivi o otpadu 2008/98/EC (Aneks I)	Postupci odlaganja
D1	Odlaganje u ili na tlo (npr. odlagalište itd.)
D2	Obrada zemljišta, tj. obrada na tlu (npr. biološka razgradnja tekućina ili muljeva ispuštenih na tlo itd.)
D3	Duboko utiskivanje (npr. utiskivanje pumpabilnog otpada u bušotine, u rudnike soli, "prirodna" odlagališta itd.)
D4	Površinski bazeni (npr. odlaganje tekućeg ili muljevitog ispusta u jame, jezera ili lagune itd.)
D5	Posebno pripremljeno odlagalište (npr. odlaganje u pregratke/kazete izolirane podlogom i poklopcem, a koji su odvojeni i međusobno i od prirodnog okoliša)
D6	Ispuštanje u vodene sredine (osim mora i okeana)

D7	Ispuštanje u mora/okeane, uključujući i odlaganje na morsko dno
D8	Biološka obrada koja nije specificirana nigdje drugo u ovom Aneksu, a koja daje konačne spojeve i smjese koji se odlažu na jedan od načina navedenih pod brojevima D1 do D12
D9 ...D15	Ostale metode

U SAD-a bušotine čija je namjena za utiskivanje otpada pomoću njih podjeljene su u pet klasa. Prema regulativi Američke Agencije za Zaštitu okoliša, utisne bušotine prikazane na slici 1, su podijeljene u pet klasa. Za svaku klasu određena je vrsta otpada koju je moguće utiskivati [1].

- Klasa I - utiskivanje komunalnog ili industrijskog otpada (uključujući i opasni otpad) ispod najdubljih zona podzemnih izvora pitke vode (akvifera),
- Klasa II - utiskivanje otpada iz istraživanja i proizvodnje nafte i plina,
- Klasa III - utiskivanje fluida u procesu pridobivanja mineralnih sirovina ili energije,
- Klasa IV - utiskivanje opasnog ili radioaktivnog otpada u/ili iznad podzemnih izvora pitke vode i
- Klasa V - sve ostale utisne bušotine koje prethodno nisu spomenute, a kroz koje se utiskuju fluidi u/ ili iznad zona podzemnih izvora pitke vode.



Slika 1. Klase utisnih bušotina prema Američkoj Agenciji za Zaštitu okoliša
Figure 1 Classes of injection wells to the USEPA

U SAD-a u bušotine klase II utiskuje se otpad nastao pri istraživanju i proizvodnji nafte i plina.

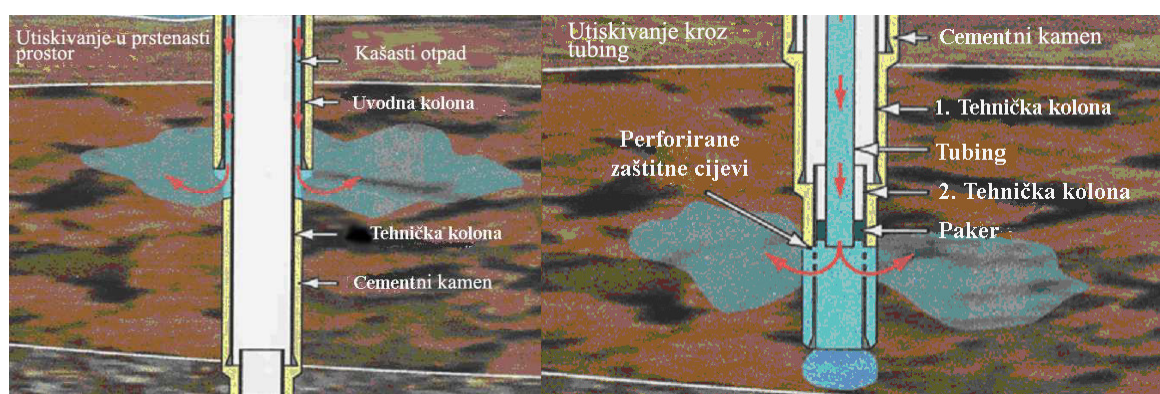
SREDINE POGODNE ZA UTISKIVANJE OTPADA POMOĆU BUŠOTINA

Izbor mjesta za frakturno utiskivanje mješavine zavisi od geoloških faktora, kao što su litostratigrafske karakteristike, strukturne osobine, kao što su prisustvo rasjeda, zatim mehaničke karakteristike ciljnog sloja, te hidrogeološki faktori i prisustvo barijera.

Prije konačnog izbora lokacije trebalo bi razmotriti niz pitanja među kojima je, sigurno i najvažnije, da li podzemna formacija u koju će se vršiti utiskivanje otpada može zadržati i izolirati taj otpad. Takođe, vrlo važno je i pitanje seizmičnosti područja, jer bušotine ne smiju biti izbušene na tektonski

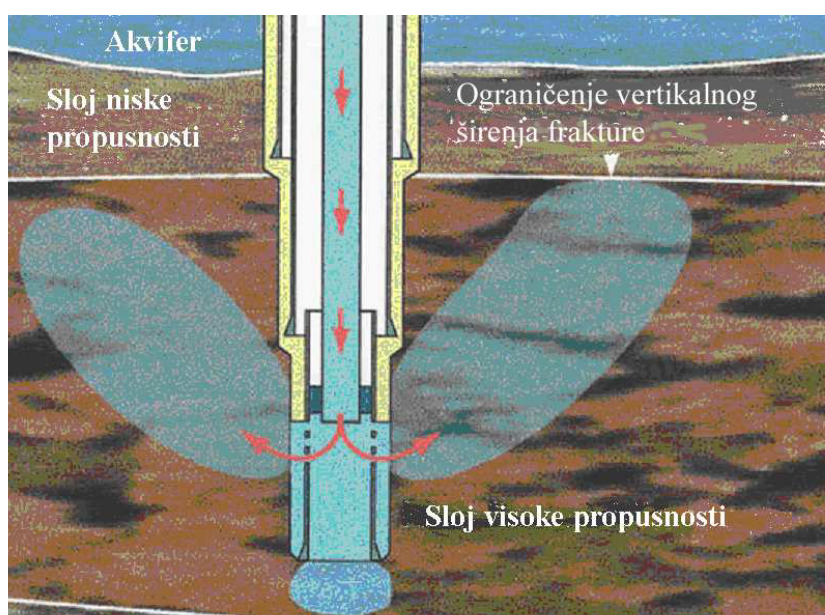
nestabilnom području, gdje nesmije biti ni rasjeda po kojima bi otpadni fluid mogao komunicirati sa površinom ili slojevima u višim horizontima u kojima se nalazi pitka voda.

Različite stijene imaju različite propusnosti. Dakle, stijene su izgrađene od zrna ili čestica koje su međusobno vezane hemijskim ili fizičkim silama. Na dubinama od nekoliko hiljada metara, pod visokim pritiscima koji tu vladaju, kroz porni prostor može se kretati voda i drugi fluidi. Glina, npr. sastoji od vrlo malih zrna, i porni prostori između zrna su tako mali da se fluidi ne mogu lako kroz njih kretati, te se takve stijene mogu smatrati nepropusnim stijenama. Suprotno tome, pješčar je izgrađen od cementiranih zrna pijeska i relativno veliki porni prostori dozvoljavaju fluidima da se kroz njih kreću puno lakše, te su takvi materijali pogodni za utiskivanje otpadne kaše. Utiskivanje otpadne kaše oslanja se na frakturiranje, a propusnost formacije u koju se kaša utiskuje ključni je parametar u određivanju pritiska fakturiranja, te veličine i konfiguracije frakture. Do frakturiranja stijene dolazi kad se kaša više ne može kretati kroz porni prostor, a pritisak utiskivanja se nastavi i dalje primjenjivati. Kontinuiranim utiskivanjem obično se kreira velika fraktura koja se sastoji od vertikalne ravnine koja se kreće prema gore od tačke utiskivanja, slika 2. Isprekidano utiskivanje stvara seriju manjih vertikalnih ravnina koje formiraju zonu fraktura oko tačke utiskivanja [5].



Slika 2. Šematski prikaz širenja utisnutog kašastog otpada
Figure 2 Schematic presentation of the spread of the injected waste mixture

Bez obzira na tip stijene koja je odabrana za utisnu formaciju (slabo ili jako propusna), preferira se da je zona utiskivanja pokrivena formacijama koje imaju suprotne karakteristike propusnosti, tj. slabo propusne, odnosno nepropusne formacije, slika 3.



Slika 3. Širenje utisnutog otpada u zoni velike propusnosti
Figure 3 The spread of the injected waste into high-permeability zone

Utiskivanje se odvija u jedan od donjih slojeva, a slojevi koji zaliježu dublje koji su slabo propusni služe kao barijere za zadržavanje širenja frakture. Visoko propusni slojevi služe kao zone u koje se lako može utisnuti tekuća faza iz otpadne kaše.

BUŠOTINE ZA UTISKIVANJE OTPADNE KAŠE

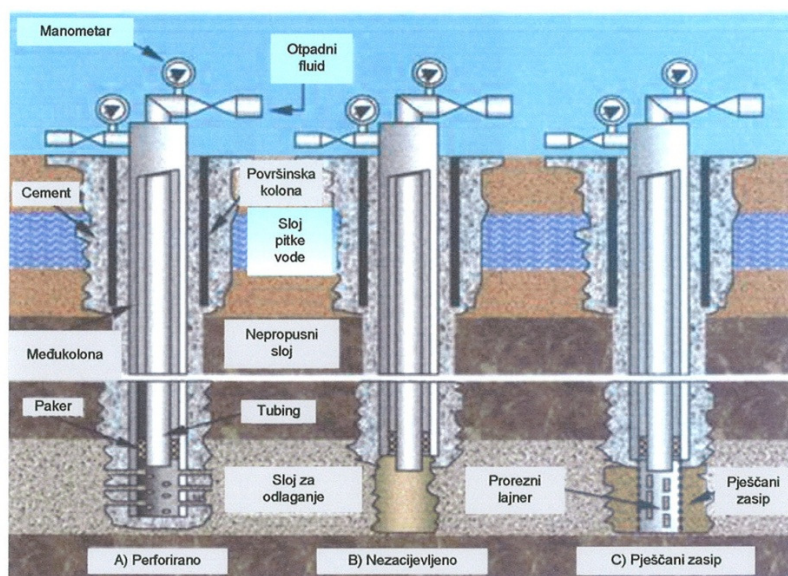
Utiskivanje otpadnih fluida obavlja se u bušotine koje su predviđene za tu svrhu.

Postupak utiskivanja otpada može se podijeliti na različite načine i to [5]:

- Prema tipu fluida koji se utiskuje
 - Utiskivanje fluida bez čestica (čisti fluid, engl. solid-free fluids) i
 - Utiskivanje fluida s česticama (kašasti otpad, engl. waste slurry)
- Prema pritisku utiskivanja
 - Utiskivanje pri pritisku manjem od pritiska frakturiranja stijena i
 - Utiskivanje pri pritisku većem od pritiska frakturiranja stijena
- Prema tipu utiskivanja
 - Utiskivanje kroz tubing i perforaciju u koloni i
 - Utiskivanje kroz prstenasti prostor između dvije kolone (anularno utiskivanje)

Ovdje je prikazano utiskivanje fluida bez čestica, a koje se u naftnoj industriji u svijetu primjenjuje još od 1920. godine, gdje se prvenstveno započelo sa odlaganjem slojne vode. Za utiskivanje fluida bez čestica u odnosu na utiskivanje fluida sa česticama nije potrebna neka posebna obrada, te je utiskivanje ovakvog otpada jednostavnije i brže.

Na slici 4, prikazani su primjeri konstrukcija bušotine za utiskivanje kroz tubing.



Slika 4. Konstrukcija bušotine kod utiskivanja fluida kroz tubing
Figure 4 Construction of wells for injection of fluid through the tubing

Parametri koje kod utiskivanja treba uzeti u obzir su:

- količina otpada koji se namjerava utisnuti,
- pristupačnost bušotini ili blizina bušotine otpadu,
- integritet bušotinske glave (opreme na ušću),
- adekvatna izolacija zone pitke vode,
- karakteristike utisne zone,
- adekvatna zaštita proizvodne zone,

- analiza prethodnih projekata utiskivanja na tom području,
- ekonomska isplativost-usporedba predloženog projekta utiskivanja s drugim metodama.

Iako ovdje nisu tehnološki postupci utiskivanja otpada opisani za svaki posebno, treba napomenuti da se obzirom na gradijent pritiska loma geološke formacije u koju se otpad utiskuje, razlikuju dva postupka i to:

- utiskivanje otpada u geološku formaciju pod pritiskom manjim od pritiska loma (pukotine) formacije i
- utiskivanje otpada u geološku formaciju pod pritiskom utiskivanja većim od pritiska loma (pukotine) u koju se odlaže otpad.

Posebno važno za izbor podzemne i površinske opreme neophodne za realizaciju postupka utiskivanja je poznavanje statičkog slojnog pritiska i gradijenta pritiska frakturiranja, kao i drugih geoloških, hidrogeoloških, litostratigrafskih, tektonskih, geomehaničkih, te fizičkih parametara formacije u koju se utiskuje otpad. Npr. za utiskivanje otpada u formaciju sa slojnim pritiskom nižim od hidrostatskog koristi se podzemna i površinska oprema niskog pritiska, dok se za odlaganje otpada frakturiranjem koristi podzemna i površinska oprema visokog pritiska (agregat za utiskivanje, vodovi visokog pritiska, odgovarajuća bušotinska glava i dr.).

Za utiskivanje fluida bez čestica prvenstveno se primjenjuje postupak utiskivanja bez hidrauličkog frakturiranja naslaga. Ovaj postupak je razvijen u naftnom rudarstvu zbog trajnog i sigurnog zbrinjavanja tehnoloških otpadnih voda iz isplavnih jama, a šezdesetih godina se, s razvojem industrije, istim postupkom počinju zbrinjavati i otpadni fluidi iz hemijske industrije.

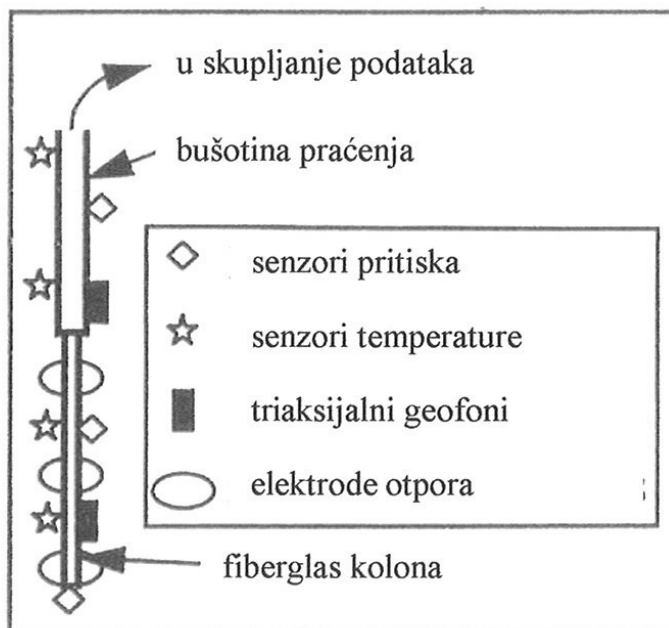
Utiskivanje se, dakle, može obavljati ili kroz prstenasti prostor kanala bušotine ili kroz cijevi, tj. perforacije u koloni zaštitnih cijevi u formacije koje su izolovane slojeva koje sadrže pitku vodu i ležišta ugljikovodika.

PRAĆENJE UTISKIVANJA OTPADNE MJEŠAVINE

Plan za praćenje procesa utiskivanja je najvažnije pitanje nakon odabranog mjesta, obzirom da se utiskivanje mješavine može vršiti na velikim dubinama. Mogući pristupi za praćenje uključuju p - t - v praćenje bušotine utiskivanja, geofizički profil bušotine, p - t praćenje u susjednim bušotinama, deformacija površine (uključujući nagib, podizanje, gravimetriju), mjerenje izduženja niz bušotinu, električne metode kao što su tomografija električne impedance ili elektromagnetska tomografija presjeka bušotine, praćenje mikroseizmike i aktivno seizmičko testiranje kao što je 3-D seizmička tomografija. Metode praćenje deformacija površine i seizmičke metode su osim podataka o bušotini za utiskivanje najbolje metode za praćenje. Na ušću bušotine u kontinuitetu se na izlazu iz pumpe kontrolišu pritisci, zapremine čvrstih čestica i tečnosti i temperature. Kvarcni mjerač pritiska se nalazi u prostoru između cijevi utiskivanja i prstena bušotine da se prati pritisak na dnu bušotine. Ovi podaci daju uvid u promjene reakcije formacije po vremenu. Ako se utiskivanje vrši u ispražnjeno naftno ležište za praćenje pritiska mogu se koristiti druge raspoložive bušotine. Ako treba posebno ugraditi bušotine za praćenje pritiska preporučuje se da se one razmotre za višestruke namjene. Na primjer, slika 5, pokazuje jednu bušotinu sa neprovodnom kolonom za električno praćenje, dva triaksijalna geofona za mikroseizmičko praćenje i perforirani interval za praćenje pritiska ili testiranje pumpe. Bušotine za praćenje sa čeličnom kolonom mogu se pretvoriti u bušotine za utiskivanje mješavine, tako da ulaganje u praćenje nije nužno gubitak.

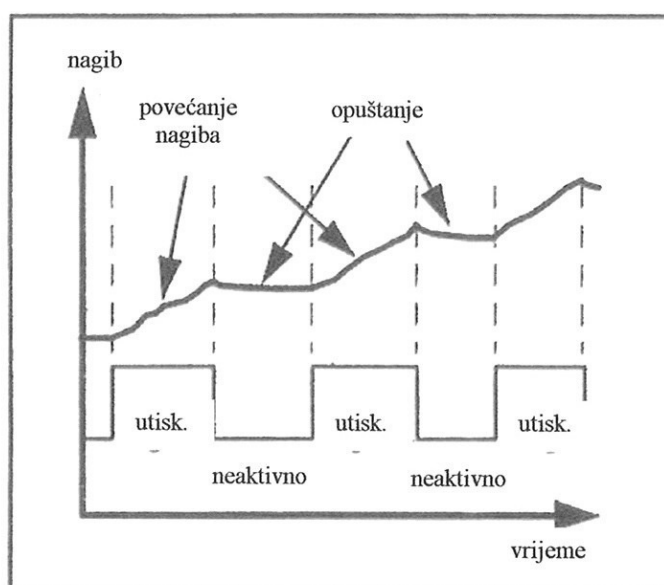
Praćenje deformacija trajnog vertikalnog podizanja (Δz) dobiveno je periodičnim geodetskim niveliranjem mreže stabilnih repera. Moguća je tačnost $\pm 0,7$ mm i rezultati su matematički obrnuti da daju informacije o obliku i orijentaciji utiskivanog tijela. Druge tehnologije, kao što su gravimetrija ili laserska interferometrija iz zraka ili satelitsko radarska interferometrija za sada ne mogu davati pouzdanost i tačnost terenske osnove, ali mogu biti korisni kod velikih deformacija na velikim površinama.

Uz razuman kvalitet podataka jednostavni su dobra rekonstrukcija promjene ukupne zapremine ($\pm 10 - 20 \%$) i pokreti smicanja velikih razmjera, ali detalji oblika frakturnog utiskivanja mješavine tijela ne mogu se riješiti zbog uticaja ublažavanja u prenošenju deformacije na površinu.



Slika 5. Bušotina praćenja za više namjena
Figure 5 Monitoring wells for several purposes

Elektronski inklinomjeri u plitkim bušotinama daju kontinuirane podatke nagiba tla sa tačnošću boljom od deset hiljaditih jednog stepena. Raspored inklinomjera (12 - 20) omogućava rekonstrukciju deformirane površine, a matematički obrat daje informacije utiskivanom tijelu i ako treba u realnom vremenu. Inklinomjeri su se koristili u rasporedu od 12 instrumenata za praćenje 450 m dubokog frakturnog utiskivanja, slika 6.



Slika 6. Reakcija na epizode utiskivanja kod povećanja nagiba
Figure 6 The response to episodes of increased injection angle

Seizmičko profiliranje ili tomografija pokušava označiti prostorno vremensku brzinu talasa ili razlike kvaliteta. Rezolucija i tačnost su ograničene uzorcima talasnih dužina koje su relativno niske zbog smanjenja energije visoke frekvencije na umjerenoj udaljenosti. Iako je dokazana korisnost aktivne

seizmike u praćenju velikih razmjera postupka uobičajenog i termalnog iskorištenja nafte, metode aktivne seizmike ne smatraju se najboljom opcijom za frakturno utiskivanje mješavine, jer se ne može riješiti zapremina i prostorni detalji utiskivanja čvrstih čestica.

Praćenje mikroseizmikom daje jaku prostorno-vremensku lokalizaciju postupka utiskivanja čvrstih čestica. Moguće je pratiti prostorno-vremenski migraciju tečnosti koristeći električne metode. Na primjer, ako je slatka voda nosilac tečnosti i frakturno utiskivanje smješe se odvija u slankastom sistemu, front provodljivosti migrira kroz rezervoar kada se postojeća voda iz pora istiskuje. Elektromagnetske površinske metode nisu previše osjetljive, ali strujne elektrode bušotina utiskivanja i kombinacija elektroda u bušotini i na površini može kod mjerenja dati potrebnu rezoluciju da se tomografski rekonstruira distribucija provodljivosti ili prati napredovanje fronta provodljivosti kroz rezervoar.

ZAKLJUČAK

Otpad nastao pri istraživanjima i eksploataciji nafte i plina uspješno se može odlagati utiskivanjem mješavina duboko u porozne propusne pješčare. Krovina formacije u koju se utiskuje otpad mora biti nepropusna da bi spriječila vertikalno širenje otpada i njegovo miješanje sa slojevima u kojima se može nalaziti pitka voda.

Ovakav način zbrinjavanja otpada daleko više je ekološki sigurniji od mnogih drugih pristupa, ne ometa dugoročno korištenje zemljišta, te je pogodan za mnoge vrste otpada. Bilo koji hidrogeološki rizik vezan je za vjerovatnost djelovanja na površinske pitke vode, ali pravilan izbor mjesta može ovaj rizik smanjiti na neznatno malu veličinu.

Potrebna je kontrola za praćenje postupka u toku utiskivanja da se pokaže držanje i poveća nivo sigurnosti okoliša. Prate se kontinuirano svi parametri utiskivanja, a ako postoje mogu se koristiti susjedne bušotine. Takođe se može primjeniti i mikroseizmičko praćenje, koje iziskuje više iskustva. Utiskivanje mješavine u geološki pogodne formacije predstavlja najbolje rješenje za ukopavanje i tečne i čvrste faze otpada.

LITERATURA

- [1] Brkić, V., Karasalihović Sedlar, D. (2010). Prilagodba zakonske regulative Republike Hrvatske s direktivama Europske Unije iz područja zbrinjavanja naftno-rudarskog otpada u pogodne geološke naslage. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni zbornik.
- [2] Dove, L. A. (1975). Recycling Allows Zero Waste Water Discharge. Civil Engineering.
- [3] Durie, R.W., Jessen, F.W.(1964). Mechanism of the Dissolution of salt in the Formation of underground salt cavities. Texas. The University of Texas, Austin Tx.
- [4] Gaurina-Međimurec, N., Durn, N. (2005). Postupanje s tehnološkim otpadom u naftnoj industriji, Studija. Zagreb. RGNF Sveučilišta u Zagrebu.
- [5] Gaurina-Međimurec, N. (2009). Utiskivanje otpada iz naftnog rudarstva u bušotine. Zagreb. RGNF Sveučilište u Zagrebu.
- [6] Janković, B. (2002). Zbrinjavanje tehnološkog otpada utiskivanjem u podzemlje, Zagreb. RGNF Sveučilište u Zagrebu.
- [7] Kalčov, A., Vujović, M. (1979). Eksploatacija tekućih resursa (bušotinska eksploatacija mineralnih sirovina, pravci razvoja i perspektive sa posebnim osvrtom u BiH), Sarajevo. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine.
- [8] Milanović, P., Torbica S. (1997). Klasifikacija stijenskog masiva i njihova primena. Beograd. Rudarsko-geološki fakultet.
- [9] Tomić, B. Teorijske osnove izrade podzemnih komora-skladišta u solnim ležištima. Tuzla. RGGF Univerziteta u Tuzli.
- [10] Živković, S., Kovačević, Zelić, B. (2002). Podzemno odlaganje otpada. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [11] www.epa.gov