

Istraživanje mogućnosti upotrebe industrijskog otpada za konsolidaciju terena u zoni slijeganja grada Tuzle

KUI 20/2003
Prispjelo 27. prosinca 2002.
Prihvaćeno 24. ožujka 2003.

S. Mičević i J. Sadadinović*

Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet,
Univerzitetska 2, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina

*Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet,
Univerzitetska 8, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina

Pri eksploataciji kuhinjske soli u tuzlanskom solnom ležištu dolazi do degradacije tla i slijeganja terena tijekom i nakon eksploatacije. Konsolidacija terena nakon eksploatacije dugotrajan je proces s posljedicama koje ugrožavaju najužu jezgru grada. Postoji ideja da se iskoristi industrijski otpad iz TE "Tuzla" za zapunjavanje praznih prostora zaostalih nakon izluživanja soli mokrim postupkom radi ubrzanja procesa konsolidacije terena nakon eksploatacije slane vode.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja kemijskih procesa koji se događaju pri miješanju industrijskog otpada iz TE "Tuzla" i slanice iz solnog ležišta "Trnovac". Dobiveni rezultati istraživanja potvrdili su da je način odlaganja industrijskog otpada, šljake i elektrofiltarskog pepela iz TE "Tuzla" u dijelove solnog ležišta zaostale nakon mokre eksploatacije izvodljiv sa stanovišta uzajamnih djelovanja slanice i materijala za zasip.

Analizom kemizma, koji se odvijao između ispitivanih slanica i materijala za zasipanje u slanica-ma, u razdoblju nakon 7, 15, 32 i 60 dana, uočavaju se intenzivne promjene koncentracija kationa i aniona u prvih petnaest dana nakon miješanja dviju faza. Nakon dvadesetak dana kemizam ima tendenciju smirivanja. Analizom promjena kemijskog sastava materijala za zasipanje, tijekom ekspozicije u slanici, utvrđeno je da u odnosu na početno stanje dolazi do opadanja sadržaja svih ispitivanih parametara u zasićenim slanicama. Najveće promjene utvrđene su u sadržaju CaO na svim uzorcima, što znači da se materijal za zapunjavanje djelomice otapa u slanici. U slabije slanim otopinama nisu utvrđene znatne promjene ispitivanih parametara u odnosu na početno stanje, osim promjena sadržaja CaO.

Ključne riječi: *Slana voda, kemizam slanica, industrijski otpad, elektrofiltarski pepeo i šljaka, otapanje u slanoj vodi*

Uvod

Pri eksploataciji kuhinjske soli u tuzlanskom solnom ležištu dolazi do degradacije tla i slijeganja terena tijekom i nakon eksploatacije. Konsolidacija terena¹ nakon eksploatacije dugotrajan je proces s posljedicama koje ugrožavaju najužu jezgru grada.

Razmišljanja vezana za rješenje problema slijeganja usmjerena su ne samo u pravcu rješenja problema konsolidacije terena nakon eksploatacije slane vode nego i na rješenje ekološkog problema.

U tu svrhu izvršeno je opsežno ispitivanje međusobnih ponašanja različitih vrsta industrijskog otpadnog materijala koji se nalazi na području Tuzlanskog kantona i slane vode iz solnog ležišta.² Cilj je bio istražiti sve vrste otpadnih materijala koji bi se mogli transportirati u pogodnom obliku do praznih prostora u solnom ležištu³, koji ne bi međusobno reagirali sa slanicom i stvarali produkte koji bi štetno utjecali na podzemne vodotoke ili razvijanje plinovitih produkata.

Jedan je od ispitivanih materijala je i smjesa elektrofiltarskog pepela i šljake iz TE "Tuzla".

U radu su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja kemijskih procesa koji se odvijaju pri miješanju industrijskog otpada iz TE "Tuzla" i slanice iz solnog ležišta "Trnovac".

Eksperimentalni dio

Radna okolina

Radnu okolinu u kojoj bi se odlagao industrijski otpad (materijal za zapunjavanje) čine prostori nastali nakon eksploatacije slane vode. To su prostori nastali mokrom kontroliranim i nekontroliranim eksploatacijom soli iz ležišta soli "Tušanj". Središnji su lokaliteti predviđeni za zapunjavanje Rudnik soli "Tušanj" i solni bunari "Trnovac".

Radi istraživanja međusobnog utjecaja materijala za zapunjavanje i radne okoline provedena je analiza slane vode iz karakterističnih bušotina u jami Rudnika soli "Tušanj" i iz jedanaest bušotina s lokaliteta solnih bunara "Trnovac".

Na osnovi kemijskog sastava slane vode odabrane su slani-
ce za istraživanja međusobnog utjecaja materijala za za-
punjavanje i radne okoline u laboratorijskim uvjetima.

Slanica iz navedenih bušotina odabrana je za istraživanje
međusobnog djelovanja materijala za zapunjavanje praz-
nih prostora i slanice.

Rudnik soli "Tušanj"

Eksploatacija soli u Rudniku soli "Tušanj" odvija se suhim⁴ i
mokrim⁵ postupkom (kontrolirano izluživanje soli).

Kemijski sastav soli iz solnih serija prikazan je u tablici 1. U
tablici 2 prikazan je kemijski sastav slane vode iz bušotina
B-28 i B-103 za kontrolirano izluživanje soli lociranih na
H-240 u Rudniku soli "Tušanj".

Solni bunari

Eksploatacija soli nekontroliranim izluživanjem odvija se u
dijelu solnog ležišta na lokalitetu "Trnovac". Trenutno se
eksploatira osam bušotina. Za istraživanje kemizma
međusobnog djelovanja materijala za zapunjavanje i slani-
ca upotrebljena je slana voda iz bušotina broj 155, 160 i
164, čije su karakteristike dane u tablici 3.

Tablica 1 – Sastav soli iz solnih serija

Table 1 – Salt composition in the salt series

Serija soli Salt series	Udjel soli u seriji Fraction of Salt in the Series %	Srednji maseni udio soli, w/% Mean Fraction of the Salt, w/%					Udjel NaCl u seriji Fraction of NaCl in the Series
		NaCl	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Netopljiv ostatak Insoluble residue	
I	77,6	91,35	0,737	0,206	0,055	7,23	70,9
II	74,6	91,09	0,888	0,277	0,021	6,73	67,9
IIIb	50,3	79,28	5,574	0,032	0,053	13,52	39,9
IIIa	72,1	87,09	2,847	0,028	0,026	7,97	62,8
IV	70,7	63,55	18,387	0,073	0,073	8,21	44,9
Sred. sadrž. solne serije Mean content of the Salt Series	71,7	86,46	3,932	0,125	0,029	7,82	62,0

Tablica 2 – Kemijska analiza slane vode iz bušotina za kontrolirano izluživanje

Table 2 – Chemical analysis of the brine from boreholes of controlled leaching

Bušotina Borehole	Tvrdoća Hardness °Nj	Gustoća Density γ g cm ⁻³	NaCl γ g l ⁻¹	Na ₂ SO ₄ γ g l ⁻¹	Ca ²⁺ γ g l ⁻¹	Mg ²⁺ γ g l ⁻¹	HCO ₃ ⁻ γ g l ⁻¹	H ₂ S γ g l ⁻¹
B-28	9,10	1,221	287,23	52,206	0,009	0,034	1,175	0,0026
B-103	245,98	1,206	312,62	0,0	1,478	0,170	0,184	0,002

Tablica 3 – Kemijska analiza slane vode iz solnih bunara "Trnovac"

Table 3 – Chemical analysis of brine from the salt wells "Trnovac"

Bušotina Borehole	Tvrdoća Hardness °Nj	Gustoća Density γ g cm ⁻³	NaCl γ g l ⁻¹	Na ₂ SO ₄ γ g l ⁻¹	Ca ²⁺ γ g l ⁻¹	Mg ²⁺ γ g l ⁻¹	HCO ₃ ⁻ γ g l ⁻¹	H ₂ S γ g l ⁻¹
B-155	6,72	1,207	294,43	21,19	0,010	0,023	2,215	0,159
B-160	42,84	1,138	195,42	8,58	0,14	0,101	1,453	0,054
B-164	19,60	1,020	25,90	1,249	0,07	0,043	0,768	0,107

Materijal za zapunjavanje

Industrijski otpadni materijal koji se izdvaja na prostoru Tuzlanskog kantona (TK) bio je predmetom istraživanja međusobnog djelovanja sa slanicom iz Rudnika soli "Tušanj".

Navodimo neke od osnovnih zahtjeva koje mora ispunjavati materijal za zapunjavanje:

- da ga ima dovoljno na prostoru TK,
- da ne sadrži toksične elemente niti spojeve iznad granica definiranih međunarodnim standardima,
- da je zadovoljavajućih sedimentacijskih karakteristika,
- da je inertan u slanici.

Uvažavajući ove zahtjeve, analiziran je niz potencijalnih materijala koji bi mogli poslužiti kao materijal za zapunjavanje. Jedan od njih bio je i čvrsti produkt sagorijevanja mrkog i lignitnog ugljena u TE "Tuzla". Produkcija je čvrstog otpada u svim blokovima sljedeća: šljake 70,96 t g⁻¹ i elektrofilterskog pepela 213,08 t g⁻¹.

Na odlagalištima čvrstog otpada iz TE "Tuzla" do sada je odloženo oko 26 milijuna m³ šljake i elektrofilterskog pepela. Odlaganje ovog materijala obavlja se hidrotransportom. Kemijski sastav šljake i elektrofilterskog pepela prikazan je u tablici 4.

Granulometrijskom analizom smjese šljake i pepela koja se nalazi na odlagalištu utvrđena je najveća zastupljenost (46 %) frakcije ispod 0,075 mm.

Laboratorijska oprema

Istraživanja međusobnog utjecaja materijala za zapunjavanje i radne okoline solni bunari u laboratorijskim uvjetima izvršeno je u mikromodelima volumena 2 dm³. Modeli su izrađeni od PVC materijala, čime je omogućeno vizualno praćenje procesa sedimentiranja materijala u slanici, kao i procesa kristalizacije soli na ubačenom materijalu.

Kemijska analiza slanice i materijala za zapunjavanje provedena je klasičnim analitičkim metodama.^{6,7}

Tablica 4 – Kemijski sastav šljake i pepela

Table 4 – Chemical composition of the slag and ash

	Kemijski sastav Chemical composition										
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Gd
Šljaka Slag	47,49	12,24	20,53	15,92	3,22	0,71	-	0,60	-	-	15,19
Pepelo Ash	46,82	9,86	21,83	15,09	3,31	1,61	-	0,51	-	-	8,5

Rezultati

Svrha je istraživanja utvrđivanje promjena u slanicama i materijalu za zapunjavanje nakon dodavanja različitih količina materijala za zapunjavanje u slanice u funkciji vremena. Promjene su praćene u vremenu od 60 dana.

U modele je sipana slanica iz bušotina B-28, B-103 (solni bunari iz jame "Tušanj"), B-155, B-160 i B-164 (solni bunari iz ležišta "Trnovac").

Količina materijala za zapunjavanje koji je u suhom stanju dodavan u mikromodele iznosila je 100, 300, 600 i 900 grama. Kemizam je praćen nakon 7, 15, 37 i 60 dana od dana ubacivanja materijala za zapunjavanje.

Tijekom eksperimenta praćene su sljedeće veličine: gustoća slanice, masena koncentracija NaCl, Na₂SO₄, koncentracija kationa: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, sadržaj aniona: Cl⁻, SO₄²⁻, OH⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, ukupna tvrdoća i koncentracija H₂S.

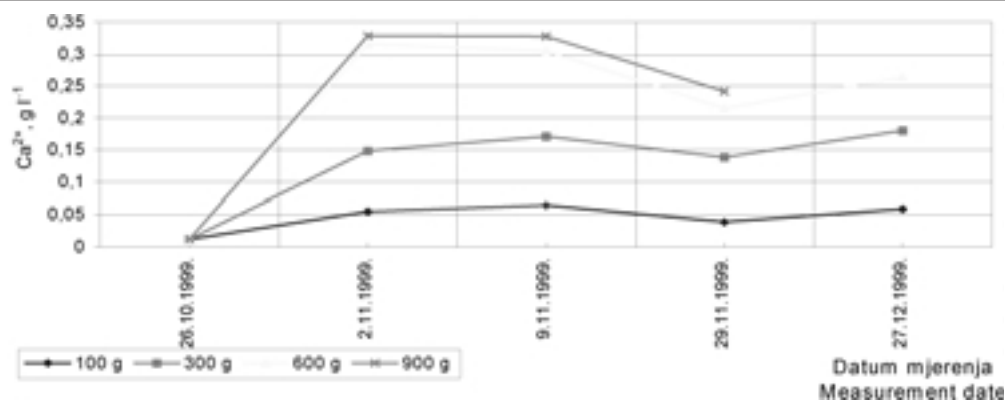
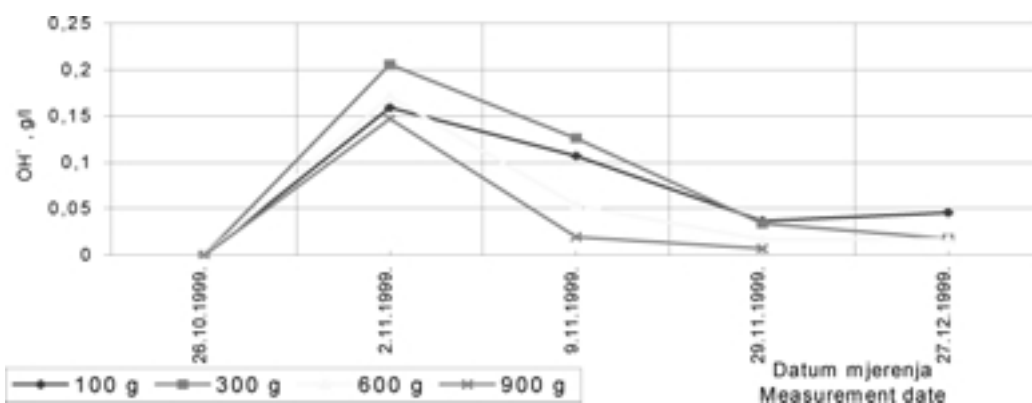
Tim ispitivanjima dobiveno je mnogo rezultata, čiji bi prikaz zahtijevao znatno veći prostor od predviđenog za ovaj članak, pa se u radu daje pregled nekoliko rezultata u obliku dijagrama za parametre koji su imali najveće promjene u odnosu na polazno stanje (slike 1, 2 i 3). Ostali rezultati daju se opisno.

Osim toga provedena je kvalitativno-kuantitativna analiza smjese elektrofilterskog pepela i šljake (materijal za zapunjavanje) koja će poslužiti kao polazna osnova ili tzv. "nulto stanje" u odnosu na koje će se vrednovati rezultati i promjene u ovoj smjesi nakon završenog eksperimenta.

U tablici 5 prikazan je kemijski sastav smjese šljake i elektrofilterskog pepela koji su stajali 60 dana u slanicama. U istoj je tablici radi usporedbe, prikazan kemijski sastav smjese šljake i pepela koja nije tretirana slanicom.

Rasprava

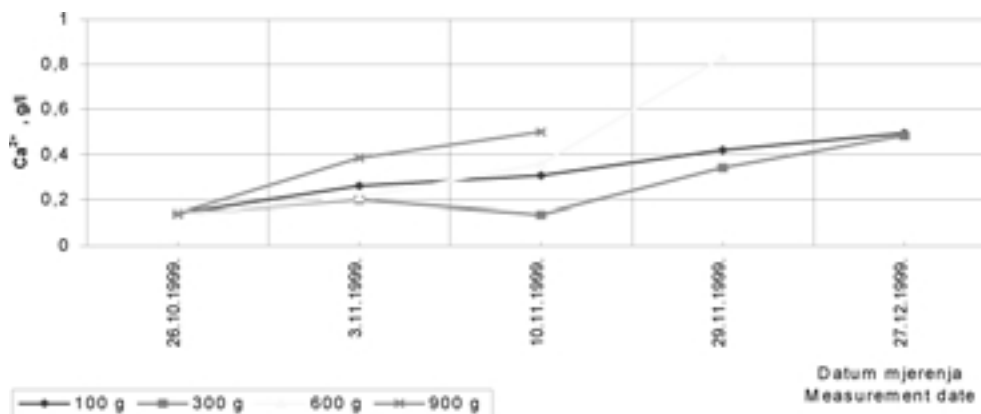
Analizom kemizma koji se odvijao između ispitivanih slanica i materijala za zasip u slanicama u razdoblju nakon 7, 15, 32 i 60 dana uočava se da se intenzivne promjene koncentracija kationa i aniona događaju u prvih petnaest dana nakon miješanja dviju faza. Nakon dvadesetak dana kemizam ima tendenciju smirivanja i stabilizacije.

Slika 1 – Dijagram masene koncentracije Ca²⁺ na B-28 (III serija jama) za različite količine šljakeFig. 1 – Diagram of Ca²⁺ mass concentration at B-28 (III Series in the mine) for different quantities of the slagSlika 2 – Dijagram masene koncentracije OH⁻ na B-103 (III serija jama) za različite količine šljakeFig. 2 – Diagram of OH⁻ mass concentration at B-103 (III Series in the mine) for different quantities of the slag

Tablica 5 – Kemijski sastav smjese šljaka i elektrofiltarskog pepela

Table 5 – Chemical composition of the slag and the electrofiltering ash mixture

Bušotina masa šljake i pepela Borehole Slag and ash mass	Kemijski sastav smjese šljaka i elektrofiltarskog pepela Chemical Composition of the slag and the electrofiltering ash mixture								
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	G _z	
“Nulto stanje” “Zero state”	47,00	9,94	21,76	15,24	3,24	0,56	1,43	9,00	
B-28	100 g	39,38	8,10	18,55	1,93	5,30	0,75	1,07	19,07
	900 g	36,42	6,50	16,75	1,94	2,70	0,30	1,17	24,15
B-103	100 g	39,82	8,00	19,05	2,20	3,82	0,80	0,50	24,27
	900 g	38,93	7,30	16,45	1,66	2,73	0,50	1,08	27,52
B-155	100 g	38,88	8,80	10,95	1,18	1,94	0,70	0,52	22,43
	900 g	38,53	7,65	13,75	2,14	4,41	0,51	0,72	28,00
B-160	100 g	45,94	9,15	13,60	2,04	6,79	0,30	0,48	18,80
	900 g	45,51	10,15	14,40	2,08	8,0	0,57	0,40	15,80
B-164	100 g	49,99	11,25	8,65	2,03	1,74	0,50	0,41	9,76
	900 g	49,53	11,40	6,50	2,26	1,60	0,50	0,39	9,31



Slika 3 – Dijagram kretanja koncentracije Ca^{2+} na B-160 (soni bunari) za različite količine šljake
 Fig. 3 – Diagram of Ca^{2+} concentration of B-160 (Salt Wells) for different quantities of the slag

Usporedbom promjena u slanici svakog promatranog parametra može se zabilježiti sljedeće:

– Gustoća svih slanica nakon razdoblja od 60 dana neznatno opada. Promjene se u gustoći, ovisno o sadržaju materijala za zapunjavanje, najviše do $0,007 \text{ g l}^{-1}$. Kod slanica iz bušotina B-28, B-103 i B-155 promjene u gustoći najveće su u prvih petnaest dana nakon miješanja, a onda slijedi blagi trend rasta i vraćanja na prvobitne vrijednosti tzv. “nultog položaja”. Kod slanice iz B-160 gustoća ima trend opadanja u prvih 15 odnosno 32 dana i te vrijednosti su konstantne do kraja eksperimenta. U slanici iz B-164 (oslađenoj) gustoća ima trend laganog rasta nakon 15 dana, a zatim opadanja na početnu (nultu) vrijednost.

– Na dijagramu promjena sadržaja natrijeva klorida za sve slanice vidljivo je smanjenje koncentracije NaCl, maksimalno do 12 g l^{-1} . To smanjenje prouzrokovano je kristalizacijom NaCl tijekom vremena u mikro i makropukotinama materijala za zasip, koja je bila vidljiva i u modelu. Izuzetak je slanica iz B-164 u kojoj je sadržaj NaCl tijekom cijelog razdoblja mjerenja bio konstantan i iznosio $25,9 \text{ g l}^{-1}$.

– Promjene u sadržaju natrijeva sulfata u slanicama vrlo su neujednačene:

U slanici iz B-28, koja je karakterizirana najvećom koncentracijom Na_2SO_4 (73 g l^{-1}), najintenzivnije promjene su u razdoblju 15 dana nakon miješanja, kada dolazi do opadanja masene koncentracije na ispod 64 g l^{-1} , za masu materijala za zapunjavanje u slanici od 900 g. Razlog ovakvom trendu je kristalizacija ove soli na materijalu za zapunjavanje, nakon koje vremenom ponovno dolazi do otapanja i prelaska u slanicu. Slanica iz bušotine 103 nema u svom sastavu ovu sol i nakon miješanja materijala za zapunjavanje i slanice iz B-103 nisu utvrđene koncentracije ove soli ni u tragovima.

Za slanicu iz B-155 uočava se smanjenje koncentracije Na_2SO_4 od $1,5 \text{ g l}^{-1}$ i to za najmanje količine materijala za zapunjavanje u modelu od 100 i 300 g. Taj rezultat ukazuje na kristalizaciju Na_2SO_4 i taloženja na materijalu za zasip u danim uvjetima koji osiguravaju ravnotežno stanje koje je stabilno u funkciji vremena. Za veće količine materijala za zapunjavanje u slanici karakteristično je narušavanje ravnoteže između kristalizirane soli i slanice, tako da s vremenom, vjerojatno pod utjecajem nekih elemenata iz

materijala za zapunjavanje, dolazi do ponovnog otapanja u slanicu.

Promjene u koncentraciji natrijeva sulfata u slanici iz B-160 i B-164 neznatne su. One se događaju u prvih sedam dana kada dolazi do porasta koncentracije ove soli, koji je proporcionalan masi ubačenog materijala. Navedene koncentracije se s vremenom vraćaju na razinu blisku početnim koncentracijama.

– Najinteresantnije promjene se događaju u kretanju kationa Ca^{2+} . Za “nulto stanje” u svim slanicama koncentracija kationa je vrlo niska. Slanica iz B-28 ga ima samo $0,012 \text{ g l}^{-1}$, dok je maksimalna koncentracija utvrđena u slanici iz B-103 od $1,5 \text{ g l}^{-1}$. Promatranjem koncentracije kationa u slanicama nakon dodavanja materijala za zasip uočava se trend rasta bez obzira na količinu materijala za zasip. Zapravo, za veću količinu materijala za zasip karakteristična je veća koncentracija Ca^{2+} , čak za oko 30 puta u slanici iz B-28, za 60 puta u slanici iz B-155, za oko 6 puta u slanici iz B-160 i B-164 i za oko 1,2 puta u slanici iz B-103. Ti rezultati ukazuju na to da se iz materijala za zapunjavanje u slanicu izdvaja kalcij.

– Koncentracija magnezija (Mg^{2+}) u čistim slanicama je dosta neujednačena. Koncentracije magnezija kreću se od $0,023$ do $1,149 \text{ g l}^{-1}$. Dodavanjem materijala za zapunjavanje u slanice dolazi do smanjenja koncentracija tog kationa u slanicama. Najveće smanjenje je utvrđeno u slanici iz B-103 i B-164 gdje koncentracija Mg^{2+} s $0,149 \text{ g l}^{-1}$, odnosno $0,04 \text{ g l}^{-1}$, opada na nulu. Karakteristično je i za ostale slanice da s vremenom nema reverzibilnog procesa i povratka Mg^{2+} u slanicu. On ostaje čvrsto vezan u materijalu za zasip u obliku teškotopivog taloga i kompleksnog spoja s elementima iz materijala za zapunjavanje, pa je trend opadanja koncentracije tog kationa ujednačen tijekom cijelog razdoblja mjerenja.

– Kretanje koncentracije aniona: klorida i sulfata odgovara kretanju koncentracije NaCl i Na_2SO_4 pa ih nećemo posebno obrazlagati.

– Sve slanice uzete za eksperiment ne sadrže hidroksilnu skupinu (OH^-). Dodavanjem materijala za zapunjavanje u slanice nastaje ta skupina, čime se mijenja pH slanica do 12. Za sve slanice karakteristično je da sadržaj hidroksilne skupine dostiže maksimum u vremenu od 7 dana od dana

miješanja slanice i materijala za zapunjavanje i vremenom ima tendenciju opadanja do neke vrijednosti koja je konstantna, ali koja i dalje osigurava lužnatu sredinu slanice. I kod tih analiza utvrđeno je da je koncentracija OH^- skupine proporcionalna sadržaju materijala za zapunjavanje.

– Analizom kretanja koncentracija HCO_3^- i CO_3^{2-} kationa uočava se neujednačenost koncentracija u različitim slanicama. Generalno se može zaključiti da su koncentracije ovih aniona tijekom vremena bliske za sve količine materijala za zasip.

– Na osnovi analiza sumporovodika (H_2S) u slanicama uočava se da slanica iz B-155 sadrži najveću količinu ovog plina u čistoj slanici i ona iznosi $0,159 \text{ g l}^{-1}$. U ostalim slanicama koncentracija H_2S je niža i kreće se od $0,002$ do $0,107 \text{ g l}^{-1}$. Dodavanjem materijala za zapunjavanje u slanicu primijećeno je da taj materijal veže svu količinu H_2S , te se kvalitativno u obliku plina H_2S ne može utvrditi. Prateći kemizam u slanicama analizirana je uz ostale komponente i koncentracija sulfidnog iona S^{2-} koji je u tablicama dan kao koncentracija H_2S . Na osnovi rezultata analiza zaključuje se da je koncentracija sulfidnog iona u slanicama vrlo neujednačena, što zavisi od količine materijala za zapunjavanje i vrste slanice. I ovdje se može donijeti opći zaključak da tijekom duljeg razdoblja prestaju kolebanja koncentracija tog aniona i postižu se uglavnom ujednačene i bliske koncentracije bez obzira na masu materijala za zasip.

– Na kraju kažimo da je suma svih soli u slanicama za različite količine materijala za zapunjavanje uglavnom ujednačena i bliska početnim vrijednostima.

Na osnovi rezultata kemijskih analiza smjese šljake i pepela koja je 60 dana stajala u slanicama različitog saliniteta zaključuje se sljedeće:

– Maseni udjel silicijeva dioksida (SiO_2) u svim uzorcima materijala za zapunjavanje opadao je 2 do 10 % (izuzetak čini materijal za zapunjavanje koji je stajao u slanici iz B-164 u kojoj je uočen blagi porast % SiO_2). Također se uočava da je smanjenje udjela SiO_2 u slanicama iz B-28 i B-103 u funkciji količine materijala za zasip, odnosno što je veća količina materijala za zapunjavanje veće je smanjenje postotka SiO_2 . Analizom pH slanica utvrđeno je da se radi o alkalnoj okolini.

– Topivost silicija u slanoj vodi mala je, ali s povećanjem alkalnosti okoline, odnosno pH vrijednosti iznad 9, što je slučaj u svim slanicama (izuzev slanice iz B-164), topivost silicija raste. To objašnjava gubitke silicija iz materijala za zapunjavanje, koji su najveći u slanicama s najvećim salinitetom iz B-28, B-103 i B-155.

– Koncentracija željeznog oksida u materijalu za zapunjavanje nakon 60 dana smanjila se proporcionalno količini dodatog materijala u relativnom iznosu od 8 do 31 %. Ove analize upućuju na to da dolazi do otapanja teško topivog Fe_2O_3 iz šljake, u oblike topive u vodi, koji ostaju u slanici.

– Znatno je smanjenje i udjela Al_2O_3 u materijalu za zapunjavanje koje iznosi od 12 do 70 %. Najveće smanjenje udjela Al_2O_3 u materijalu za zapunjavanje se desio u oslađenoj slanici iz B-164 a najmanje u zasićenoj slanici iz B-103. Aluminijski se u slanici nalazi u topivom obliku.

– Kod analiziranja kemizma slanica uočeno je da se udjel kalcija Ca^{2+} kationa znatno povećao u svim slanicama. Analizirajući sadržaj CaO u materijalu za zapunjavanje nakon stajanja u slanici utvrđeno je da je isti opao od 85 do 92 %, što se podudara sa povećanjem udjela ovog kationa u slanici.

– Koncentracija magnezija u materijalu za zapunjavanje povećala se u slanici B-160, dok je u ostalim slanicama ujednačena i uglavnom manja od "nultog stanja".

– Koncentracija titan-oksida i sumpor-oksida promjenljiva je, ali općenito se uočava da koncentracija titana u materijalu za zapunjavanje opada s rastom količine istog, što znači da se titan izdvaja u topivom obliku u slanicu. Isti zaključak se može primijeniti i na promjenu koncentracije SO_3 .

– Na kraju se uočava da je najveće promjene od promatranih veličina imala veličina "gubitka žarenjem" (GZ), koja se višestruko povećala u materijalu za zapunjavanje u svim slanicama. S obzirom na činjenicu da je materijal za zapunjavanje bio potopljen u slanicu različitog saliniteta (od zasićenog do poluoslađenog stanja), maseni udjel gubitka žarenjem adekvatan je koncentraciji slanica. Naime, slanice s najvećim salinitetom imale su najveće povećanje udjela gubitka žarenjem, koje je prouzrokovano kristalizacijom alkalnih soli u mikro i makropukotine materijala za zapunjavanje. Žarenjem na $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ nataložene alkalne soli isparavaju, povećavajući udjel gubitka žarenjem u relativnom postotku i do 300 %.

Zaključak

Odlaganje industrijskog otpada – najčešće iz termoenergetskih postrojenja, u jamske prostorije nakon eksploatacije ugljena ili suhe eksploatacije soli u svijetu je uobičajen i vrlo često primjenjivan postupak. Međutim, nije uobičajeno zapunjavanje praznih prostora zaostalih nakon mokrog izluživanja soli. Velik broj nedefiniranih uvjeta vezanih za gabarite praznih prostora, režim podzemnih voda, uzajamnu povezanost izluženih prostora itd. učinili su da se o ovome načinu odlaganja nije ozbiljnije razmišljalo.

Radanjem ideje da se ubrza konsolidacija terena nakon mokre eksploatacije soli, ubacivanjem nekog od otpadnih materijala u prazne prostore, otvoreno je niz pitanja na koje je trebalo dati odgovore. Opsežna istraživanja različite vrste, proizašla iz programa za realizaciju ideje, prvo je trebalo izvršiti u laboratorijskim uvjetima.

U ovom radu prikazani su rezultati jednog segmenta laboratorijskih istraživanja međusobnog djelovanja slanice i materijala za zapunjavanje, koji su potvrdili da je način odlaganja industrijskog otpada, odnosno elektrofiltarskog pepela i šljake iz TE Tuzla u dijelove ležišta nakon mokre eksploatacije soli izvodljiv sa stajališta uzajamnih djelovanja slane vode u izluženom prostoru i industrijskog otpada.

Rezultati tih ispitivanja uputili su na nastavak istraživanja u makromodelu i "in situ" uvjetima, kojima će se dobiti i konačni odgovori na nedefinirane pojave tijekom laboratorijskog istraživanja, koje su nastale zbog mikrokoličina ispitivanih materijala u odnosu na stvarne uvjete.

**Literatura
References**

1. B. Tomić, Teorijske osnove izrade podzemnih komora - skladišta u solnim ležištima, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 1999, str. 153-227.
2. A. Bašić, R. Ahmedinović, E. Mandžić, I. Žigić, B. Tomić, S. Hodžić, S. Mičević, H. Meissner, W. Van Impe, J. Udovčić, Ž. Mikša, J. Sadadinović, J. Marković, R. Čeliković, Z. Ferhatbegović: Studija "Mogućnost kontrolisanog procesa konsolidacije masiva u zoni slijeganja na tuzlanskom sonom ležištu", Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2000, str. 86-120.
3. B. Tomić, Uporaba podzemnih komora u solnim ležištima, *Rudarstvo* **19-20** (2002) 111.
4. Tehnička dokumentacija Rudnika soli "Tušanj" i sonih bunara-Tuzla, Tuzla, 2000.
5. Tehnička dokumentacija TE "Tuzla" Tuzla, Tuzla, 2000.
6. I. M. Kolthoff, E. B. Sandell, *Anorganska kvantitativna analiza*, Naučna knjiga, Beograd, 1968, str. 308-317 i 520-521.
7. Jugoslavenski standard: Metode ispitivanja uglja i koksa; Određivanje hemijskog sastava pepela, JUS B.H8.359, Sl. list SFRJ br.18/73.

SUMMARY**Feasibility Research of Industrial Waste Utilisation in Terrain Consolidation of Tuzla Town Subsidence Zone**

S. Mičević and J. Sadadinović*

Terrain degradation and ground subsidence appears in a process of rock salt exploitation in the rock salt deposit Tuzla. Ground consolidation after completed exploitation presents a very long term process that endangers urban area of the Tuzla town. There are some ideas to use industrial waste, from power plant in Tuzla, for stowing empty spaces remained after leaching of salt, in order to accelerate the ground consolidation upon completed exploitation.

Results of investigation of chemical processes when industrial waste from power plant is mixed with the brine from the salt deposit "Trnovac", were presented in this paper. It was confirmed that, taking into account mutual action of brine and waste, it is possible to dispose electric filtering ash and slag into empty space created by salt leaching.

Through analysis of chemical process between investigated stowing materials in brines, for different period of times (7, 15, 32, and 60 days), intensive anions and cations concentration changes were registered in first fifteen days after mixing two phases. Defusing process appears after about twenty days. It was established a decreasing content of all investigated parameters in saturated brines. The greatest changes in all samples were in a content of CaO, which means that the stowing material partly dissolves in the brine. Significant changes of investigated parameters, in relation to initial state, were not established when dealing with less salty solutions. Just a content of CaO was registered.

*University of Tuzla, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering,
75000 Tuzla, Bosnia and Herzegovina*
**University of Tuzla, Faculty of Technology,
75000 Tuzla, Bosnia and Herzegovina*

*Received December 27, 2002
Accepted March 24, 2003*