

# Sediment piroklastičnog toka (ignimbrit) miocenske formacije Tar u Dravskoj depresiji

D. Bigunac, K. Krizmanić, B. Sokolović i Z. Ivaniček

PRETHODNO PRIOPĆENJE

**Godine 2009., jedna od istraživačkih bušotina u blizini hrvatsko-mađarske granice, umjesto prognozirano primarnog cilja (miocenski barijerni sprud sastavljen od pješčenjaka i biogenih vapnenaca) 72 metra pliče probušila je masivni sediment piroklastičnog toka, debljine 88 metara. Petrološkim analizama jezgre i uzoraka sa sita iz ovog intervala, sediment je determiniran kao devitrificirani vitroklastični stopljeni tuf, tj. ignimbrit. Kao rezultat mikropaleontoloških i palinoloških analiza krovinskih i podinskih sedimenata, starost sedimenta piroklastičnog toka određena je kao najvjerojatnije badenska. Litostratigrafski, ignimbrit pripada formaciji Tar**

*Ključne riječi:* piroklastični tok, ignimbrit, formacija Tar, miocen, Dravska depresija

## 1. UVOD

Zbog istraživanja ugljikovodičnog potencijala Dravske depresije u graničnom području između Hrvatske i Mađarske, INA i MOL su tijekom 2007. i 2008. snimili i interpretirali 189 km<sup>2</sup> 3D seizmike na mađarskoj i hrvatskoj strani. Nova istraživačka bušotina smještena je temeljem rezultata interpretacije, ali su načinjene i geokemijske analize uzoraka sa sita i jezgara okolnih bušotina. U donjo i srednjomiocenskim uzorcima stijena tih bušotina utvrđene su matične stijene niskog generativnog potencijala. U bušotinama istraživačkog područja opažene su pojave plina tijekom bušenja što je dokazalo bočnu sekundarnu migraciju ugljikovodika. S obzirom na prethodne rezultate istraživanja, nova istraživačka bušotina (ovdje nazvana AA-1; slika 1), izbušena je 2009. u Mađarskoj.

Glavni cilj bio je utvrditi rezerve ugljikovodika u dva prognozirana miocenska ležišta. To su barijerni sprud te krupnoklastični sedimenti. Uporabom seizmičkih podataka, lečasto tijelo u blizini AA-1 interpretirano je kao barijerni sprud. Međutim, umjesto spruda, probušen je masivni, neuslojeni, sediment piroklastičnog toka (ignimbrit) formacije Tar (slika 2). Ta formacija pripada mađarskoj litostratigrafskoj nomenklaturi i datirana je<sup>4,5,15</sup> u vremenski raspon od 14,79 do 17,5 mil. godina u prošlost (tj. u katove karpata i badena). Formacija Tar obuhvaća različite facijese piroklastita, uslojenih i neuslojenih, tj. ignimbrijskih. Takvi su litofacijesi ranije već opisani na sjevernom, srednjem i jugozapadnom dijelu Panonskog bazenskog sustava.<sup>3,5,15,17</sup>

Piroklastit probušen bušotinom AA-1 je interpretiran kao sediment nastao vulkanski stvorenim tokom vrućih, plinovima bogatih, masa piroklastičnih fragmenata i pepela. Oni su uobičajeni pri eksplozivnim vulkanskim erupcijama, pri čemu teku ili se kotrljaju i obrušavaju niz padinu vulkana (vulkanske kupe) mehanizmima sličnim gravitacijskim masenim tokovima (mass

flows).<sup>2,18</sup> Upečatljive karakteristike piroklastičnih tokova su visoka mobilnost o kojoj svjedoče brzine kojima se ovakav fluidizirani piroklastit kreće ovisno o gradijentu nagiba padine te volumenu toka, mogućnost prelaženja uzvišenja u reljefu (viša od 600 m) te udaljenosti koje dostižu obzirom na izvor (duže od 100 km). Sedimenti piroklastičnog toka kao što su ignimbriti, podrijetlom iz različitih strukturno-tektonskih cjelina, često variraju u volumenu od 1 km<sup>3</sup> do više od 1 000 km<sup>3</sup>. Postanak<sup>2</sup> im je najčešće vezan za urušavanje stratovulkana koje može potaknuti procese formiranja piroklastičnog toka iz kojeg nastaje ignimbrit. Ovi piroklastični sedimenti mogu biti istaloženi u vrlo kratkom vremenskom periodu mjerljivom u satima ili tjednima.<sup>3</sup>

Naziv ignimbrit koristi se za plovućem bogate sedimente piroklastičnog toka bilo da su stopljenog tipa ili ne. Zbog postojanja brojnih prijelaznih varijeteta preporuka je da se taj naziv koristi za sve sedimente nastale na opisan način.<sup>2</sup> Jedno od upečatljivih obilježja ignimbrita istaloženih pri visokim temperaturama je stapanje čestica vulkanskog stakla. Intenzitet stapanja ovisi o brojnim čimbenicima među kojima su temperatura, viskozitet piroklastičnog toka iz kojeg nastaje te sastav plina.<sup>2</sup>

Postotak SiO<sub>2</sub> (tablica 1) izmjeren na uzorcima stijene iz jezgrovanog intervala bušotine AA-1 iznosi od 71 do 73%. Prijelazna zona, tj. sedimenti na koje naliježe ignimbrit sastoje se od izmjene devitrificiranog vitroklastičnog stopljenog tufa s grauvakama i konglomeratima. Taj interval također vjerojatno pripada srednjem miocenu, tj. formaciji Budafa, kao i analizirani ignimbrit formacije Tar (slika 2). Najdublje nabušene stijene su gnajsevi pretpostavljene paleozojske starosti, a litostratigrafski pripadaju grupi Babócsa.

Projektom su planirane dvije jezgre dužine 18 m, no izbušena je jedna dužine 6 m od koje je dobiveno 5,6 m (93,3%) u ignimbritu formacije Tar. Nakon opaženih pojava plina tijekom bušenja, osim jezgre, prikupljeni su

i analizirani uzorci sa sita u toj formaciji, kao i u njezinom krovinskom i podinskom dijelu.

## 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PROSTORA

U ovom odjeljku dat je opis regionalnih geoloških zbivanja s kratkim pregledom stratigrafske i strukturne evolucije toga prostora.

### 2.1. Stratigrafija

Najstarije stijene istraživog prostora predstavljaju podinu neogena. To su gnajsevi niskog stupnja metamorfoze, tinjčasti, kvarc-tinjčasti škriljavci i amfibilit, a svi su kronostratigrafski nedeterminirani.

Ovisno o paleoreljefu, miocenski sedimenti nalježu na mezozojske karbonate ili izravno na paleozojske magmatske i metamorfne stijene. Sedimenti su heterogenog sastava, a predstavljaju ih konglomerati, breče, pješčenjaci, lapori, efuzivi i piroklastiti. Vulkanska aktivnost koja je započela u donjem miocenu karakteristična je za čitav Panonski bazenski sustav.<sup>1,12,14,16</sup> Panonski i pontski sedimenti sastoje se od izmjene lapora i pješčenjaka istaloženih turbiditima u hrvatskom dijelu<sup>9</sup> koji su periodično prekidani hemipelagičkom sedimentacijom. Gornji pliocen i kvartar predstavljeni su terestričkim litofacijesima.

### 2.2. Strukturni odnosi

Glavno geotektonsko obilježje istraživog prostora predstavlja sustav normalnih rasjeda porijeklom vezan uz snažne tektonske aktivnosti tijekom Alpe orogeneze koja je započela krajem eocena i trajala kroz veći dio neogena popraćena intenzivnom vulkanskom aktivnošću. Obilježje paleoreljefa je izmjena dubokih depresija i izdignutih dijelova. Najdublji dio područja nalazi se na jugoistočnom dijelu, orijentacije je sjeverozapad-jugoistok, dok se prema sjeveru istraživački prostor izdiže nizom normalnih rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok koji predstavljaju donjo i srednjomiocensku sinriftnu ekstenzijsku fazu Panonskog bazenskog sustava.<sup>9</sup> Reverzno rasjedanje smjera pružanja sjeveroistok-jugozapad nastalo je tijekom postrifne, transpresijske faze u gornjem badenu. Kompresijski pokreti u gornjem miocenu uzrokovali su nastanak manjih reverznih rasjeda smjera pružanja sjeverozapad-jugoistok. Normalni rasjedi koji se pružaju u smjeru istok-zapad na sjevernom dijelu istraživog područja odraz su pliocenskih transtenzijskih pokreta koji su se događali lokalno u vrijeme regionalne transpresijske tektonske faze.<sup>9</sup>

Na osnovu seizmičke interpretacije i bušotinskih podataka izrađene su strukturne karte miocenskog barijernog spruda i krupnoklastične „serije“, što je predstavljalo osnovu za smještanje istraživačke bušotine AA-1.<sup>6,7</sup> Cilj istraživačkog bušenja bila su dva prognozirana miocenska ležišta. Nakon što je bušotina AA-1 izbušena, istraživano područje je bilo reinterpetirano u skladu s novim podacima. Oblik i smjer pružanja lećastog tijela u odnosu na prehodnu interpretaciju ostao je isti, no ono je nabušeno 72 metra pliće i utvrđeno je da predstavlja drugačiji litofacijes nego što je prognozirano (slike 3, 4, 5 i 6).

Ignimbrit (slika 3) prekriva 14 km<sup>2</sup>. Dužine je približno 6 km, a širine 3 km s položajem duže osi pravcem jugozapad-sjeveroistok. Maksimalne debljine je 190 m u središnjem dijelu, a prema rubovima postupno isklinjava s nekoliko manjih maksimuma.

## 3. PETROGRAFSKE I BIOSTRATIGRAFSKE ANALIZE I INTERPRETACIJA

Analize jezgre te uzoraka sa sita iz ignimbrita te krovinskih i podinskih naslaga obuhvaćale su sljedeće postupke: detaljni makroskopski opis, pregled pod ultraljubičastim svjetlom (slika 6), SEM (engl. Scanning Electronic Microscope) analize, različita petrofizikalna mjerenja i geokemijske analize. Klasifikacija piroklastita po veličini komponenti rađena je prema<sup>8</sup>. Kemijske analize su izvršene prema<sup>11</sup>. Biostratigrafske analize (palinološke i mikropaleontološke) na uzorcima sa sita iz krovine i podine ignimbrita napravljene su s ciljem utvrđivanja starosti i okoliša u kojem je ignimbrit istaložen. Ciste dinoflagelata su determinirane prema<sup>19</sup>, a nalazi polena prema<sup>13</sup>.

### 3.1. Petrografske analize i interpretacija

Makroskopski, uzorci iz jezgre (slika 7, slika 10a) su sive do svijetlo-sive boje, tekstura je masivna. Uočljive su zone tektonske (frakturane) i kemijske kompakcije (stiloliti, slika 10e). Frakturni (sekundarni) porozitet odraz su tektonike i otapanja. Nakon tretiranja kloroformom, na uzorcima jezgre pod UV svjetlom uočljiva je žuta boja uz pukotine (slika 7).

Geokemijske analize pokazuju da jezgra sadrži zreli bitumen podrijetlom iz dominantno algalnog prekursora s ponešto indikacija terestričkog materijala. Petrofizikalne analize rezultirale su visokim vrijednostima frakturnog poroziteta, no niskim vrijednostima permeabiliteta.

Uzorci jezgre predstavljaju sediment piroklastičnog toka, tj. devitricirani vitroklastični stopljeni tuf koji

Tablica 1. Kemijska analiza jezgrovanog intervala

Uzorci	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)
AA-1 Jezgra – 1, IV m	71,55	13,30	0,11	0,28	0,02	2,88	6,55
AA-1 Jezgra – 1, IV m	71,65	13,34	0,25	0,15	0,07	3,15	5,28
AA-1 Jezgra – 1, IV m	73,28	13,03	1,71	0,07	0,13	4,16	4,67

nastaje iz viskozne, kisele (riolitske) magme. Kemijski sastav opisanog ignimbrita prikazan je u tablici 1.

Analizirani izbrusci iz jezgre sastoje se od ulomaka vulkanskog stakla, plovućca, kristala te litičnih fragmenata. Devitifikaciju, sekundarni proces tijekom hlađenja, karakterizira stvaranje aksiolitnih i sferulitnih (slika 8, slike 10b,g,h) oblika rasta kristalnih vlakana kvarca i alkalnih feldspata u sferične, lepezaste (zrakast raspored vlakana iz točke), aksiolitne (vlakna se zrakasto šire iz linije), te mozaične oblike. Sferuliti različitih morfologija predstavljaju uobičajeni rezultat visokotemperaturne devitifikacije<sup>10</sup> vulkanskog stakla prilikom čega se formiraju kristalna vlakna zrakastih oblika gdje pojedini susjedni kristali imaju različitu kristalografsku orijentaciju. Litični i kristalni fragmenti su uočljivi u izbruscima (slike 10c,d), kao i razlomljeni kristali, vrlo karakteristični za ignimbrite. Agregati kalcedona (slika 10g) te kristali piritata također su prisutni u analiziranim izbruscima iz jezgre.

U izbruscima je registriran mikrofrakturni i šupljinski porozitet (slika 10f). Te su međukristalne (5-10 mm) pore i frakture (Slika 9 lijevo) posebno uočljive na SEM fotografijama. Neki sferuliti (Slika 9 desno) imaju središnju šupljinu (litofizu), a drugi su zapunjeni. Razlog je tomu što kristalna vlakna rekristalizacijom postaju kvarcno-feldspatski mozaik kao rezultat naknadne alteracije, što može uništiti ili modificirati izvorne devitifikacijske strukture.

### 3.2. Biostratigrafske analize i interpretacija

Jezgrovani piroklastit nije bio pogodan za biostratigrafske analize te su uzorci sa sita sedimenata iz krovine (slika 11) i podine (slika 12) ignimbrita palinološki i mikropaleontološki analizirani. Mlađi sedimenti su predstavljeni fosiliferim, pjeskovitim i glinovitim mikritom.

#### 3.2.1. Krovina ignimbrita

Uzorci sa sita su obrađeni konvencionalnom metodom maceracije. U sedimentu koji predstavlja krovinu ignimbrita, organska tvar je relativno dobro uočljiva. U većini uzoraka terestričkog materijala, koji varira u zastupljenosti i tipu, ima više nego amorfne organske tvari. Fosili su rijetki i općenito predstavljeni bisakatnim, poratnim, kolpatnim i drugim peludima. Također ima i nešto zelenih algi (*Botryococcus*). Macerati su biodegradirani i mehanički prerađeni. Sedimentacija se odvijala najvjerojatnije u marinskom okolišu, odnosno plitkom (dinoflagelati nisu prisutni), tj. obalnom prostoru (prisustvo terestričke organske tvari i zrna polena). Mikropaleontološkim analizama utvrđene su planktonske foraminifere (*Orbulina* sp., *Globigerinoides* sp., *Globigerina* sp.) te ostatci algi *Lithothamnium*. Navedeni nalazi upućuju da se radi o marinskom okolišu te badenskoj starosti.

#### 3.2.2. Podina ignimbrita

Kronostratigrafska klasifikacija intervala u podini ignimbrita ostavlja poneka otvorena pitanja zbog nedostaka provodnih fosila. Ovaj interval određen je kao Budafa formacija srednjeg miocena, vjerojatno badena. Litološki, predstavljen je izmjenom piroklastita, konglomerata (prema podacima iz praćenja bušotine) i

litičnih grauvaka (Slika 12) koje se sastoje od loše sortiranog, sub-angularnog, pjeskovitog detritusa u sitnozrnatom matriksu (siltinom do pjeskovitom, mjestimično hematiziranom). Detritus se sastoji od kvarca, feldspata i litičnih fragmenata. Izbrusci su mikropaleontološki sterilni, no palinološke analize su dale slijedeće rezultate:

Palinofacijes je siromašan sporama, ali je bogat različitim vrstama zrna polena. Vrlo su česti *Momipites* sp., *Myricipites* sp. (slika 13) i *Engelhardtoidites* sp. (slika 14). Bisakatna zrna *Cathayapollenites* sp. (slika 15), *Pinuspollenites mioceanicus* te mnoga druga prisutna su u obilju. Uz neke neidentificirane, određene su sljedeće vrste peludi: *Caryapollenites simplex*, *Tricolporopollenites* sp., *Monocolpopollenites* sp., *Alnipollenites* sp. te vrlo rijetko *Eucalyptus* sp.

Determinirane su zelene alge roda *Botryococcus* sp. i sljedeće ciste dinoflagelata: *Spiniferites mirabilis* (slika 16), *Spiniferites* sp. (slika 17), *Impagidinium* sp., *Impagidinium* cf. *Patulum*, *Batiacasphaera sphaerica* (slika 18) i *Achomosphaera* sp.

Odnos sporomorf i fitoplanktona kao i količina terestričke tvari varira od uzorka do uzorka, ovisno o paleo-dubini te udaljenosti od paleo-kopna. Općenito se može zaključiti kako se radi o marinskom okolišu visoke energije (mehanički oštećeni fosili), blizu obale, relativno plitkom, no ponešto dubljem (nalazi dinoflagelata) od sedimenata u krovini ignimbrita. Prema utvrđenoj paleobiocenozi opisani podinski sedimenti su badenske starosti, a litostratigrafski pripadaju formaciji Budafa.

## 4. ZAKLJUČCI

Opisani tip sedimenta piroklastičnog toka nije do sad bio uočen na izdancima ili u bušotinama opisanoga dijela Dravske depresije. Više od 10 kilometara jugozapadno, u smjeru Virovitice (slika 1), te u smjeru jugoistoka, dokazi miocenskog vulkanizma postoje u obliku debelih „serija“ bazičnih do intermedijarnih efuzivnih stijena, najčešće bazalta i andezita proslojenih laporima ili u obliku piroklastičnih naslaga nastalih slobodnim padom iz zraka, odnosno tankih proslojaka tufa unutar debljih serija klastita, nabušenih s nekoliko istraživačkih bušotina. Međutim, sedimenti nastali piroklastičnim tokom kao posljedicom eksplozivnih vulkanskih erupcija nisu bili određeni.

Sedimenti piroklastičnog toka formacije Tar opisani su na brojnim mjestima u Mađarskoj. U analiziranom dijelu Dravske depresije (slika 1) piroklastični interval u debljini od 88 metara probušen je bušotinom AA-1. Litološki je definiran kao devitificirani vitroklastični stopljeni tuf, ignimbrit. Litostratigrafski pripada formaciji Tar, a kronostratigrafski badenu.

Analizirani ignimbrit ne pokazuje uslojenost. Bogat je ulomcima vulkanskog stakla, plovućcem, kristalnim i litičnim fragmentima. Debljina kartiranog stopljenog tufa doseže 190 metara. Dominantne komponente su čestice dimenzija pepela (<2 mm) te vitrični, litični i kristalni fragmenti u sitnozrnatom matriksu. Nađeno je obilje vitričnih čestica, ulomaka vulkanskoga stakla i plovućca. Struktura je granofirska i sferulitna. Dokazani su litični i kristalni fragmenti, kao i razlomljeni kristali

(kvarc, feldspati), zatim agregati kalcedona te kristali pirita. Ostala obilježja toga sedimenta su svijetla boja i riolitni sastav. Osnovne teksturne značajke jezgroganog intervala su frakture, šupljine otapanja (engl. vuggs) i stiloliti.

Mikropaleontološki određena kronostratigrafska pripadnost krovine ignimbrita dokumentirana je nalazima foraminifera i algi, a palinološki pomoću nalaza cisti dinoflagelata i peludi. Sedimenti krovine taloženi su u marinskom okolišu tijekom badena. Uzorci iz podine su mikropaleontološki sterilni, no palinobiocenoza determinirana palinološkim analizama ukazuje na badenski marinski okoliš. Slijedom navedenog, pretpostavljeno je da je ignimbrit istaložen iz piroklastičnog toka u plitkom marinskom okolišu badena.

## 5. ZAHVALE

Ovaj rad je nastao kao rezultat multidisciplinarnih geoloških istraživačkih radova izvedenih u INA Industrija nafte d.d., SD Istraživanje i proiz.nafte i plina 2010. godine, tijekom reinterpetacije 3D seizmike i analize novih podataka dobivenih bušenjem istraživačke bušotine AA-1. Autori zahvaljuju Nevenki Romanić-Kristensen za 3D reinterpetaciju i kartiranje te doc. dr. sc. Tomislavu Malviću za recenziju rukopisa.



Autori:

**Dijana Bigunac**, INA Industrija nafte d.d., SD Istraživanje i proiz.nafte i plina, Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, PJ za geologiju, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska.

**Krešimir Krizmanić**, INA Industrija nafte d.d., SD Istraživanje i proiz.nafte i plina, Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, PJ za geologiju, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska.

**Branko Sokolović**, INA Industrija nafte d.d., SD Istraživanje i proiz.nafte i plina, Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, PJ za geologiju, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska.

**Zlata Ivaniček**, INA Industrija nafte d.d., SD Istraživanje i proiz.nafte i plina, Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, PJ za geologiju, Šubićeva 29, Zagreb, Hrvatska.

UDK : 550.8 : 553.982 :553.28 : 551.7.022.033 (497.5)

550.8            geološka istraživanja  
553.982        ležišta nafte i plina  
553.28         vrste ležišta  
551.7.022.033 litostatigrafija  
(497.5)        RH , dravska depresija