

# Taložni uvjeti tijekom pliocena i pleistocena u Sjevernom Jadranu te moguća litostratigrafska raščlamba nastalih stijena

J. Velić i T. Malvić

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Na području Sjevernog Jadrana nalaze se neogenske i kvartarne naslage razmjerno velikih debljina. Odlagane su u nekoliko depresija unutar Jadranskoga bazena, od kojih je najveća Padska. Današnje granice te depresije pružaju se unutar talijanskog i hrvatskog podmorja Jadrana gdje su pliocenske i pleistocenske sekvencije hemipelagičkog taloženja prekidane progradacijama delte rijeke Po, a u manjoj mjeri i rijeka Adige i Piave. Ti sedimenti sadrže važna ležišta značajnih količina prirodnog plina, te su dobro istraženi na području više talijanskih i hrvatskih plinskih polja dubokim bušotinama, kao i nizom različitih metoda snimanja podzemlja, uglavnom refleksijskom seizmikom. Slijed pliocenskih i pleistocenskih sedimenata može debljinom doseći i 6 000 m, a podijeljen je u odgovarajući sustav litostratigrafskih jedinica ranga formacija. Dok su na talijanskoj strani kenozojske naslage do mezozojske podine razrađene na dvanaest formacija, na hrvatskoj strani do sada je izdvojena samo jedna. To je formacija Susak koja obuhvaća sve stijene unutar kenozoika. Stoga se u hrvatskom dijelu Sjevernoga Jadrana predlaže uvođenje sljedećih litostratigrafskih jedinica u rangu formacija: formacija Dinaridi (mezozojske stijene), formacija Susak (paleocenske-miocenske stijene), formacija Istra (pliocenske naslage) i formacija Ivana (pleistocenske i holocenske naslage).

*Ključne riječi:* litostratigrafija, pliocen, pleistocen, Padska depresija, Sjeverni Jadran, Hrvatska

## 1. UVOD

Republici Hrvatskoj pripada više od 54 000 km<sup>2</sup> površine Jadranskog mora. Prema batimetriji u podmorju se luče četiri područja. Od sjevera prema jugu to su<sup>21</sup>: (1) područje između ušća rijeke Po i Istre, gdje je dno blago razvedeno i maksimalne dubine do 39 m, (2) od poteza Ravenna-Pula do crte Ancona-Zadar dubine su pretežno do 70 m, (3) prijelazno područje između srednjeg i južnog Jadrana s dubinama od 70 do 200 m, (4) od spojnice Monte Gargano-Mljet-Pelješac prema jugu dno je uglavnom na dubinama od 200 do 1 000 m s izraženom razvedenošću.

Tijekom geološke povijesti taložni uvjeti u jadranskom podmorju značajno su se mijenjali kao i tektonska aktivnost. Jadransko more je konačno oblikovano u holocenu nakon Flandrijske transgresije.<sup>3,6,16</sup> No, naslage koje se danas nalaze u Jadranskom bazenu znatno su starije. Najstarije nabušene stijene su permske i trijaskne naslage, do ladinika taložene na epiričkoj karbonatnoj platformi, tzv. Adrija-Apulija ploči, na sjeveroistočnom rubu Gondwane. Slijede stijene intra-ocenske, izolirane Južnotetiske megaplatforne (JTM, engl. STM) od kraja ladinika do mlade donje jure (toarcija), a na njima naslage Jadranske karbonatne platforme (JKP, engl. AdCP) od toarcija do kraja krede).<sup>23</sup> Tijekom perma su taloženi klastiti, evaporiti i karbonati, a u starijem trijasu klastiti i karbonati. Na nekim mjestima dio ovih naslaga odlagan je u sredini koja odgovara sabkha okolišima. Tijekom srednjeg trijasa zabilježeni su značajni tektonski pokreti uz duboke rasjede koji su presijecali cijelu Zemljinu koru, što je uzrokovalo širenje bazena i pojavu vulkanizma. Krajem

krede, prostrana se Jadranska karbonatna platforma postupno dezintegrira i izdiže.<sup>23</sup> Transgresijom u starijem paleogenu obnavlja se tek mjestimična marinska karbonatna ili slatkovodna sedimentacija. Intenziviranje izdizanja prati klastična sedimentacija 10 koja se održala i tijekom miocena, pliocena, pleistocena i holocena, ali s različitim izvorima detritusa. U razmatranom području Sjevernog Jadrana naslage paleocenske do miocenske starosti mogu se naći tek mjestimice i to uglavnom u dubljim prostorima gdje su predstavljene karbonatima. Nasuprot tomu, pliocenski, pleistocenski i holocenski sedimenti prekrivaju cijelo područje i znatnih su debljina, a predstavljeni su laporima, glinama, siltovima, silitima, pješčenjacima i pijescima.

Jadranski bazen podijeljen je na pojedinačne depresije, različite starosti s obzirom na početke njihova formiranja. Tako su se u miocenu oblikovale tri depresije: Dugootočna, Južnojadransko-albanska i Moliška. Kasnije, u pliocenu, spuštanjem nastaju i ostale depresije: Venecijanska, Padska, Marche-Abruzzi, Srednjojadranska, Bradanska i Jadransko-jonska<sup>13</sup> (slika 1). Najveće depresije su Padska i Južnojadransko-albanska, ali nisu, kao ni ostale, bile stalnih granica rasprostranjenosti i sedimentacijskih uvjeta, što je izraženo kroz nejednaku ispunjenost sedimentacijskog prostora i diskordantne odnose između pojedinih litoloških jedinica. Pretežito su asimetričnog oblika. U hrvatskom dijelu Jadrana nalaze se Dugootočna depresija, istočni dijelovi Padske te Srednjojadranske i sjeverni dio Južnojadransko-albanske depresije.

Predmet ove analize i prijedloga litostratigrafske raščlambe slijeda naslaga je prostor Padske depresije, čiji se veći dio danas nalazi na kopnu, između južnih Alpa i Apenina, a tijekom pliocena je bio pod morem (slika 3). Ostatak se pruža u podmorju sve do granica s istarskim dijelom JKP. U istočnom dijelu depresije otkrivena su brojna hrvatska plinska polja.

Padska depresija ispunjena je pretežno pliocenskim, pleistocenskim i holocenskim sedimentima. Siliciklastični detritus podrijetlom je iz Alpa i manjim dijelom Apenina. Debljine ovih naslaga mjestimice veće od 6 000 m nalaze se u njezinom talijanskom dijelu. Kako je u cijeloj Padskoj depresiji otkriveno mnogo ležišta ugljikovodika, uglavnom plina, nametnula se potreba raščlambe naslaga prema načelima litostratigrafske nomenklature. Nadalje, kako su prva otkrića plina bila smještena u talijanskom dijelu depresije, točnije u njezinom priobalju, načinjena je vrlo detaljna podjela prema već spomenutoj litostratigrafskoj nomenklaturi. Za razliku, hrvatska nomenklatura temeljila se uglavnom na rezultatima istraživanja površinskih eolskih sedimenata otoka Suska, te otkrivenih dijelova JKP u Istri, pa je samim time rezultirala znatno manjim brojem litostratigrafskih jedinica. Današnje litostratigrafske podjele u talijanskom i hrvatskom dijelu Padske depresije prikazane su u tablici 1.

Uvidom u tablicu 1 očito je da postoji svojevrsan problem kod raščlanjivanja ili opisivanja kenozojskih sedimenata u hrvatskom dijelu Padske depresije, jer su svi oni zajednički obuhvaćeni unutar jedne formacije Susak. To je posljedica činjenice da je ta formacija izdvojena prije negoli su u tom dijelu hrvatskog podmorja otkrivene značajne količine plina i prije negoli je počelo detaljno seizmičko snimanje i brojno bušenje. Nakon gotovo tri desetljeća različitih istraživanja postao

je dostupan veliki broj podataka, te su uočene razlike unutar neogenskog i kvartarnog slijeda naslaga, promjene taložnih okoliša, ali i utjecaja velikih klimatskih promjena, što zajednički promatrano dopušta načiniti detaljniju litostratigrafsku podjelu.

## 2. PALEOGEOGRAFSKA REKONSTRUKCIJA PODRUČJA SJEVERNOG JADRANA TIJEKOM PLIOCENA I PLEISTOCENA

Rekonstrukcija taložnog prostora Padske depresije vezana je za epohe pliocena i pleistocena, kada je Jadransko more dobivalo svoje današnje granice, poglavito pod utjecajem izmjena ledenih i međuledenih doba.

### 2.1. Sjeverni Jadran u pliocenu (5 332-2 588 milijuna godina)

Krajem miocena, prije otprilike 6 milijuna godina, zbog oledbi u antartičkom prostoru globalno opada morska razina za oko 50-ak metara. Uz to, zbog prekida veze a Atlantskim oceanom kroz Gibraltarski tjesnac, u prostoru Sredozemnog mora dolazi do izrazitog oplićavanja uz taloženje velikih količina evaporita. Taj se događaj poznat kao mesinska kriza saliniteta odrazila i u Jadranu (npr. rad<sup>22</sup>). Evaporiti se danas nalaze u vrhu miocenskog slijeda sedimenata ispod Sredozemnog mora (slika 2). To je i potvrđeno 1970. godine bušenjima brodom Challenger.<sup>25</sup> Najveći dio Sredozemnog mora tada je predstavljao izolirani plitkovodni evaporitni bazen i sveden je na manje od polovice svoje prethodne površine. Sličan događaj reduiranja vodene površine dogodio se nekoliko milijuna godina ranije i malo sjevernije, tj. početkom gornjeg miocena prije 10 - 11 milijuna godina, kada se Paratethys dezintegrirao na niz manjih bazena (Panonski, Dacijski, Crnomorski, Kaspijski, Aralski<sup>12,15</sup>). No, u mediteranskom prostoru ponovnim otvaranjem veze Sredozemnog mora s Atlantskim oceanom koncem mesina započeo je novi ciklus sedimentacije u novouspostavljenom marinskom okolišu.

Početak pliocena dolazi do globalnog porasta morske razine koja je tijekom donjeg pliocena bila viša nego danas. Jadransko more tada je zauzimalo znatno veće područje, poglavito na strani današnje Italije (slika 3), na što ukazuje rasprostranjenost marinskih pliocenskih sedimenata u podnožju sjevernih Apenina te u dolini rijeke Po.<sup>21</sup>

Sedimenti donjega pliocena hrvatskog dijela Jadrana odlikuju se brojnim nalazima marinskih planktonskih i bentičkih foraminifera, koji u paleoekološkom smislu ukazuju na toplu klimu i na

Tablica 1. Usporedba hrvatskog i talijanskog litostratigrafskog nazivlja formacija

Kronostratigrafska jedinica	Litostratigrafske formacije	
	Hrvatski naziv	Talijanski naziv
Holocen		Recentni sedimenti
Pleistocen	Susak	Ravenna
		Carola
Pliocen	Susak	Porto Garibaldi
		Corsini*
		Canopo*
		Santerno
Miocen	Susak	Clara
		Corinna
		Schlier
		Cavanella B
		Bisciaro
		Cavanella A
		Scaglia Cinerea
Oligocen		Scaglia
Eocen (Palaeocen?)		
Mezozoik	Dinaridi	Calcarei Del Cellina

(\*karakteristični litofacijesi tih formacija postoje samo u talijanskom dijelu Padske depresije)

taloženje u dubljem i otvorenom moru, tj. vanjskom šelfu.<sup>2,17</sup> Gornjopliocenske naslage odlikuju se smanjenjem broja vrsta te većom količinom planktonskih foraminifera<sup>8</sup> što upućuje na umjereno hladnu klimu kao posljedicu zahladnjenja. U Sjevernom Jadranu bentičke foraminifere indikator su donjege epibatijalnog okoliša prosječne dubine oko 600 do 1 000 m, dok su se naslage koje danas pokazuju veći stupanj propusnosti uglavnom taložile na talijanskoj strani bazenske padine u prostoru koji je relativno brzo tonuo tijekom gornjega pliocena, tj. prije 3,0 do 2,2 milijuna godina.<sup>14</sup> Vrste foraminifera također označavaju da je u taj prostor donošena velika količina organske tvari koja je zadržavana u gornjem dijelu vodenog stupca pod djelovanjem eutrofnih uvjeta ili taložena s pijescima

## 2.2. Sjeverni Jadran u kvartaru (2 588 milijuna godina – danas)

Period kvartara se dijeli na epohe pleistocen (2 588-0,011 7 milijuna godina) i holocen (0,011 7 milijuna godina do danas). Karakteriziran je izrazitim klimatskim promjenama, koje su bile uzrokom mnogih promjena ne samo u evoluciji živog svijeta već i u oblikovanju reljefa. Marinski sedimenti pleistocena taloženi su u naizmjenično hladnim, umjerenim i toplim uvjetima u području otvorenog i srednjeg šelfa do litorala, dok je na nekim mjestima povremeno egzistiralo kopno. Na sjevernoj zemljinoj hemisferi tijekom pleistocena zabilježeno je šest razdoblja oledbi ili glacijala između kojih su vladala toplija razdoblja, tj. interglacijali. Prema alpskoj podjeli glacijali se nazivaju biber, donau, ginc, mindel, ris, virm (njem. Biber, Donaü, Günz, Mindel, Riss, Würm) (tablica 2).

Tijekom pleistocenskih glacijala obujam nastalog leda bio je oko tri puta veći nego danas, a ledeni su pokrovi bili prosječne debljine oko 2 km. Velika količina oceanske vode bila je zaleđena što je snižavalo globalnu morsku razinu i za više od 120 m u odnosu na današnju. Deglacijacije su rezultirale porastom razine mora, pa je u nekim razdobljima ona dosegala razinu i nekoliko metara više od recentne. Te promjene morske razine tijekom pleistocena i holocena odrazile su se i na paleogeografiju Jadranskog mora koje je tek nakon zadnjeg, tj. virmkog glacijala<sup>7</sup> poprimilo današnje granice (slike 4, 5).

## 2.3. Značajke taloženja tijekom pliocena i pleistocena

Tijekom pliocena i pleistocena glavni izvori, tj. donositelj materijala u Padskoj depresiji bila je rijeka Po sa svojim pritocima (slike 4, 5). Uz rijeku Po utjecaj je vjerojatno imala i rijeka Adige (slike 4, 5) koja danas također donosi detritus u Padsku depresiju. Treći izvor materijala mogla je biti rijeka Piave (slike 4, 5) koja se

Tablica 2. Glacijali i interglacijali tijekom pleistocena (modificirano prema<sup>27</sup>)

Nazivi	Ledena i međuledena doba	Starost (god.)
Würm	glacijal	11 700 - 110 000
Riss- Würm	interglacijal	110 000 - 130 000
Riss	glacijal	130 000-200 000
Mindell-Riss	interglacijal	200 000 - 300/380 000
Mindell	glacijal	300/ 380 000 - 455 000
Günz – Mindell	interglacijal	455 000 - 620 000
Günz	glacijal	620 000 - 680 000
Günz – Donaü	interglacijal	850 000 - 1300 000 (?)
Donaü	glacijal	1300 000 - 1 550 000
Donaü – Biber	interglacijal	2 100 000 - 2 500 000
Biber	glacijal	2 500 000- ?

nalazi sjeverno od Venecije. Ona je prvenstveno izvor materijala Venecijanske depresije i najmanja je od spomenute tri rijeke, no dio materijala iz distalnog dijela njezine delte mogao je doseći i sjeverni dio Padske depresije.

Pliocenski turbiditi većim dijelom formirani u zonama riječnih delti predstavljeni su klastičnim naslagama, i to siltom i pijeskom u talijanskom dijelu Padske depresije. U njezinom hrvatskom dijelu slični sedimenti delte i prodelte javljaju se tek u pleistocenu kada se granica Jadranskog mora pomaknula prema istoku, dok ju je povremeni pad razine mora uslijed glacijacija više puta pomicao prema jugu. Mutne struje kojima je transportirana većina materijala u moru djelovale su u razmjerno plitkom, hemipelagičkom okolišu čija dubina nije prelazila 200 m. Taj okoliš mogao bi predstavljati distalnu deltu, tj. prodeltu. Kako je uglavnom taložen sitnozrnasti sediment vjerojatno se radilo o mutnim strujama niske gustoće<sup>10</sup>, tj. strujama u kojima su bili dominantno razvijeni distalni facijesi Boumine sekvencije<sup>1</sup>, poput Tc, Td i Te. Zbog udaljenosti od prokismalnog dijela delte često su ti sedimenti proslojeni interturbiditnim, hemipelagičkim intervalom Tf.<sup>19</sup> Takav interval može označavati izostanak resedimentacijskih procesa ili pomicanje delte zbog retrogradacije uslijed porasta razine vode (alociklički proces), odnosno lateralno (autociklički proces). Upravo izmjena turbiditnih intervala i hemipelagičkog facijesa predstavlja glavno obilježje taložnih sekvencija unutar hrvatskog dijela Padske depresije tijekom pliocena i pleistocena.

Prema tome, postoje dobri temelji za izdvajane pliocenskog i pleistocenskog taložnog litofacijesa kao zasebnih litostratigrafskih jedinica u hrvatskom području Sjevernog Jadrana. Kako bi se detaljno prikazao sastav oba litofacijesa, uporabljeni su podatci iz niza objavljenih radova, poglavito o njihovom tipskom razvoju, te o litološkim značajkama po kojima ih se može klasificirati kao litostratigrafske jedinice.

### 3. TIPSKI LITOFACIJESI PLIOCENSKIH I PLEISTOCENSKIH NASLAGA KAO OSNOVA ZA IZDVAJANJE NOVIH LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA U SJEVERNOM JADRANU

U sljedećim potpoglavljima opisani su litofacijesi na jugoistočnom i istočnom dijelu Padske depresije koji uglavnom odgovaraju položaju hrvatskih plinskih polja, tj. prostorima u kojima su pliocenske, pleistocenske i holocenske sekvencije detaljno istražene (slika 6).

#### 3.1. Pliocenski i stariji litofacijesi

Tijekom pliocena granice Jadranskog mora tek su se počele oblikovati, a to se posebno odnosi na granicu u alpskom području (slika 3), te području poluotoka Gargano. Za ovu analizu važna je paleogeografija Alpa, kao područja rasta i napredovanja ledenjaka, te izvora brojnih rijeka od kojih je najveća rijeka Po. Njezino današnje ušće je u području grada Ravenne i tijekom kvartara predstavljala je najveći prijenosnik detritusa koji je s kopna dopreman i taložen u području Sjevernog Jadrana. Drugi izvor predstavlja ušće rijeke Adige, a treći rijeke Piave. Deltom rijeke Po određeno je sedimentacijsko područje nazvano Padskom depresijom čiji se istočni dio pruža u Hrvatskoj, uglavnom jugozapadno od Istre i kvarnerskih otoka (slika 1). No, kako je tijekom pliocena delta svih rijeka, pa tako i paleodelta rijeke Po bila pomaknuta dvjestotinjak kilometara na zapad i sjeverozapad, njezin utjecaj u hrvatskom dijelu Sjevernog Jadrana mogao je biti razmjerno malen. Takav je morao biti barem do razdoblja gornjega pliocena kada se obalna linija Jadranskog mora počela povlačiti prema današnjim granicama, a i alpsko područje zbog izdizanja je zapremalo veću površinu negoli u donjem i srednjem pliocenu. Zato je tijekom pliocena taloženje u hrvatskom dijelu Sjevernog Jadrana obuhvatilo uglavnom bazenske pelitne sedimente-gline i siltove. Takav facijes se najbolje može prepoznati u hrvatskim poljima smještenim danas na samome jugoistočnom rubu Padske depresije, a to su polja Katarina i Marica, tj. blizu granice Padske i Dugootočke depresije (slika 6).

Najstarije naslage u polju Marica određene su kao vapnenci i dolomiti čiji je vršni dio kredne starosti, a pripadali bi litostratigrafskoj jedinici - formaciji Dinaridi. No, prema nekim odredbama, dio karbonata, koji bi odgovarali talijanskim formacijama Scaglia, Scaglia Cinera, Cavanella A, Bisciaro, Cavanella B, Schlier, Corinna te Clara, pripada i razdoblju od paleocena do donjega miocena. Također, u širem prostoru plinskog polja Katarina prema Italiji (na granici mezozojske JKP prema Jadransko-jonskom bazenu), kao najstarije naslage određeni su srednjo- i gornjoecenski vapnenci koji pripadaju talijanskoj formaciji Scaglia. Na tom polju pliocenske naslage izgrađene su od izrazito sitnozrnastih sedimentata, i to hemipelagičkih lapora i glinovitih lapora s dobro izraženim obilježjima izolatorskih stijena. Nema pojava pijesaka, niti silta. Tek je u pleistocenskim naslagama u području polja Marica utvrđeno 10, a u pol-

ja Katarina 5 ležišta zasićenih plinom izgrađenih od pijesaka, siltne pijesaka i siltova.

#### 3.2. Pleistocenski litofacijesi

Pleistocenski litofacijes značajno se razlikuje od pliocenskog po pojavi čestih intervala s pijescima i siltom. Što je taložni prostor u hrvatskom dijelu Padske depresije bio bliži delti rijeke Po to je veća količina pijeska i silta donášana u tamošnje depresije. U hrvatskom području te je facijese najlakše izučiti unutar najvećeg plinskog polja Ivana (slika 6), u kojem je razvijen slijed pleistocenskih naslaga<sup>5,24</sup> u debljini od 900 do 1 500 m. Dalje prema dubljem dijelu bazenu njihove debljine su i veće. Pri tomu pojedinačna pješćana ležišta zasićena plinom unutar pleistocenskih naslaga mogu postići debljinu veću od 20 m.

U polju Ivana najstarije nabušene naslage su bioklastični vapnenci kredne starosti. Diskordantno slijede pliocenski glinoviti lapori, a zatim pleistocenske naslage s ležištima plina izgrađenim od pijesaka, siltne pijesaka i silta djelomično proslojenih glinama, laporima i glinovitim laporima. Najmlađi su holocenski muljevi, gline i pijesci debljine dekameterskih vrijednosti.<sup>20</sup> Cjelokupna struktura Ivana regionalnim je rasjednom odvojena od stijena JKP u Istri.<sup>22</sup>

### 4. PRIJEDLOG NOVIH LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA - FORMACIJA

Litostratigrafska nomenklatura koja se danas primjenjuje u prostoru Sjevernog Jadrana na talijanskoj strani ima 13 litostratigrafskih jedinica ranga formacija, a obuhvaća vremenski raspon od mezozoika do pleistocena. Međutim, na hrvatskoj strani istog prostora izdvojene su tek dvije formacije. Tako formacija Dinaridi obuhvaća naslage JKP, a formacija Susak naslage paleocenske, eocenske, oligocenske, miocenske, pliocenske i pleistocenske serije. Naslage ovog dugog vremenskog slijeda pripadaju samo jednoj formaciji, iako lokalno na talijanskoj strani mogu doseći debljinu i do 6 000 metara.

S obzirom na potrebu za razvrstavanjem ovih naslaga u više litostratigrafskih jedinica, ovdje formacija, te jedinice mogu se smatrati neformalnim prijedlogom koji će olakšati istraživanja sa svrhom pronalazaka novih ležišta ugljikovodika. Poput ostalih litostratigrafskih jedinica izdvojenih u Hrvatskoj, posebno onih u Panonskom bazenu i ponegdje u Dinaridima, vjerujemo da će njihovom uporabom vremenom one zaživjeti i početi se rabiti kao formalne litostratigrafske jedinice u rangu formacija. Poštujući North American Stratigraphic Code<sup>11</sup> kao najdetaljniji i najčešći dokument, tj. upute za izdvajanje stratigrafskih jedinica, pa tako i litostratigrafskih, odlučili smo se za izdvajanje novih litostratigrafskih jedinica-formacija u Sjevernom Jadrano poštujući sljedeće kriterije (lit.<sup>11</sup>, str. 1567):

a) Formacija je fundamentalna jedinica... u opisivanje regionalne geologije... koja se temelji na litološkoj promjeni... čije opisivanje ima najveću praktičnu primjenu;

b) Formacija treba sadržavati određeni stupanj litloške homogenosti...te se može sastojati od stijena (1) jednoga litotipa, (2) ponavljanja dva ili više litotipova, (3) ekstremne litološke heterogenosti koja ipak predstavlja prepoznatljivu cjelinu u odnosu prema krovini i podini.

Poštujući gornje postavke predlažemo sljedeću litostratigrafsku nomenklaturu za hrvatski dio Sjevernog Jadrana idući od mlađih prema starijima, tj. u smjeru napredovanja bušotina (slika 7):

**Pleistocen:** Naslage pleistocena su trangresivne na pliocenske uz približne debljine od 400 do 1 900 m.<sup>8</sup> Pleistocen se dijeli na donji i gornji. Rani pleistocen sadrži laporovite gline, glinovite lapore, proslojke siltita i pijeska te slabo vezano pješčenjake. Gornji pleistocen izgrađen je od pjeskovito-laporovitih glina i glina s proslojcima pijeska i silta, a u njegovom starijem dijelu mogu se pojaviti i ugljeni proslojci. Glavno obilježje pleistocenskih sedimentata je vrlo slaba kompakcija, te pojava slojeva pijeska i silta debljine nekoliko metara. Ti su sedimenti nastali kao rezultat taloženja u delti i prodelti rijeke Po. Tijekom pleistocena položaj delte i obalne linije približno je odgovarao današnjem u interglacijalima (slika 5), dok je tijekom ledenih doba obalna linija Jadranskog mora pomicala znatno prema jugoistoku (slika 4). Zato su i takvi pijesci znatno češći, deblji i s manje silte i glinovite komponente probušeni na SZ Padske depresije, kao što je slučaj u polju Ivana (slika 6), negoli na JI gdje se nalazi polje Katarina (slika 6) kojega su mutne struje dosezale samo tijekom niske razine mora u glacijalnim razdobljima. Tako se pleistocenski litofacijes može promatrati kao monotona izmjena nepropusnih (gline, glinoviti lapori) i propusnih (siltovi, pijesci, pješčenjaci) sedimentata, pa se kao tipski lokalitet pleistocenskih deltnih i prodelnih sedimentata može izdvojiti plinsko polje Ivana. Zato predlažemo da se pleistocenske naslage izdvoje kao **formacija Ivana**. Ovdje je značajno spomenuti, da se granice između formacija i kronostratigrafskih jedinica nipošto ne moraju poklapati, dapače, često se ne poklapaju ako to nije odraženo na litološkom sadržaju.

**Pliocen:** Pliocenski sedimenti su u hrvatskom dijelu Sjevernog Jadrana, prvenstveno na temelju uzoraka iz plinskih polja, okarakterizirani kao nepropusni. Bez sumnje, oni nisu isključivo pelitni na cijelom području depresije, niti lateralno to mogu biti, no pješčenjačka komponenta taložena je gotovo isključivo u današnjem talijanskom podmorju. Karakterističan opis pliocenskih naslaga u hrvatskom dijelu načinjen je na lokalitetu Istra More<sup>8</sup> gdje je on podijeljen na donji pliocen s laporima te rijetkim glinama i siltovima ukupnih debljina od 10-50 m, srednji koji sadrži laporovite gline, siltit i djelomice pijesak ukupnih debljina 25-250 m, te gornji pliocen s laporima i rjeđe pješčenjacima debljina 50-200 m. Ti su sedimenti nastali u hemipelagičkom okolišu ili u distalnom dijelu delte, tj. prodelti. Smatramo da se pliocenski litofacijes, kao pretežito homogen, može imenovati kao **formacija Istra**.

**Miocen-paleocen:** Na području nekoliko plinskih polja probušene su ili nabušene karbonatne naslage koje su u polju Marica određene starošću od paleocena do donjega miocena. Slično je određena starost vapnenaca u širem prostoru polja Katarina, prema Italiji, gdje su oni

svrstani u srednji i gornji eocen. Takvi sedimenti zasada su opisani samo na zapadnom rubu zone sjevernojadranskih polja prema Italiji, tj. približno na granici JKP prema Jadransko-jonskom bazenu. To je litološki homogen litofacijes karbonata nađen tek mjestimice i slabije je istražen pa smatramo da bi za sve sedimente Jadranskog bazena starosti od paleocena do miocena trebalo zadržati postojeću **formaciju Susak**.

**Mezozoik:** Sve eventualno nabušene sedimente u području Sjevernog Jadrana za koje je pretpostavljena ili dokazana mezozojska starost, kao što su kredne stijene u polju Marica, i dalje bi trebalo nazivati **formacijom Dinaridi**.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom je radu ukazano na različitost pliocenskih i pleistocenskih naslaga u Sjevernom Jadranu formiranih tijekom stvaranja i zapunjavanja prostora koji se danas naziva Padskom depresijom. Ona predstavlja dio Jadranskog bazena, dijelom smješten u talijanskom, a dijelom u hrvatskom podmorju. Nadalje, opisani su i slučajevi gdje su dosegnute karbonatne naslage i uglavnom mezozojske ili kenozojske starosti. Podatci o litološkom sastavu stijena i naslaga u Sjevernom Jadranu bili su dostupni iz velikog broja objavljenih radova s analizama podataka prvenstveno iz dubokih bušotina.

Izdvojene su i imenovane formacije kao fundamentalni dijelovi litostratigrafske nomenklature prema svim pravilima, u ovom slučaju litološke homogenosti ili sličnosti kako je to propisano Sjevernoameričkim stratigrafskim kodeksom. To su: *formacija Istra* pliocenske i *formacija Ivana* pleistocensko-holocenske starosti. Pliocenski sedimenti opisani su kao nepropusni. Uglavnom dominiraju lapori uz rijetke laporovite gline, gline i siltove. Pijesci i slabokonsolidirani pješčenjaci su, u hrvatskom dijelu Padske depresije, iznimno rijetki. Zato je formacija Istra opisana kao uglavnom litološki homogena cjelina nepropusnih sedimentata. Mlađe naslage pleistocena i holocena predstavljene su izmjenom nepropusnih i propusnih sedimentata. Kao nepropusni sedimenti opisane su laporovite gline, glinoviti lapori, a propusni su siltiti, slabokonsolidirani pješčenjaci, siltovi i pijesci. Tako formacija Ivana predstavlja monotonu izmjenu nepropusnih i propusnih naslaga.

Logičan sljedeći korak kojim bi se nastavilo prikazano istraživanje bilo bi kartiranje regionalnih diskordancija između pojedinih formacija, pa čak i unutar njih, kao i utemeljivanje i praćenje mogućih regionalno rasprostranjenih repernih slojeva. Vjerujemo da je moguća i daljnja podjela na članove uzimajući u obzir rezultate brojnih geofizičkih mjerenja velike razlučivosti. Za ovo bi temeljni podatci bili dobiveni iz karotažnih mjerenja i interpretacije refleksijske seizmike, a poslužili bi u određivanju i imenovanju regionalnih EK-markera (karakteristični tanki slojevi u konkordantnom slijedu, sinkrone plohe ili kronohorizonti) i EK-repera (karakteristične plohe vezane za diskordancije).

## 6. LITERATURA

### 6.1. Tiskani radovi i knjige

1. Bouma, A.H. (1962) *Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation*, Amsterdam, Elsevier.
2. Cita, M.B. and Ryan, W.B.F. (1972) *The Pliocene Record in deep sea Mediterranean sediments. Times-scale and general synthesis*, Initial Reports DSDP, Washington.
3. Colantoni, P., Gallignani, P. and Lenaz, R. (1979) Late Pleistocene and Holocene Evolution of the North Adriatic Shelf (Italy), *Marine Geology*, 33, M41-M50.
4. Correggiari, A., Roveri, M. and Trincardi, F. (1996) Late Pleistocene and Holocene Evolution of the North Adriatic Sea, *Quaternario*, 9, 2, 697-704.
5. Đureković, M., Krpan, M., Pontiggia, M., Ruvo, L., Savino, R. and Volpi, B. (1998) Geological modelling and petrophysical characterisation of turbiditic reservoirs of the Ivana gas field – R. Croatia, *Nafta*, 49, 7/8, 241-258.
6. Fairbanks, F.G. (1989) A 17 000 years glacio-eustatic sea level record: influence on glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation, *Nature*, 342, 637-642.
7. Herak, M. (1987) *Geologija, Školska knjiga*, Zagreb.
8. Kalac, K. (2008) *Biostratigrafsko-kronostratigrafska istraživanja pliocensko-pleistocenskih naslaga u podmorju Jadrana s posebnim osvrtom na klimatske promjene*, Naftaplin, knjiga 45/8, Zagreb.
9. Kuenen, P.H. H. (1957) Sole markings of graded graywacke beds, *Journal of Geology*, 65, 231-258.
10. Middleton, G.V. & Hampton, M.A. (1976) *Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity lows – in: Stanley, D. J. & Swift, D.J.P. (ed.): Marine Sediment Transport and Environmental Management*, John Wiley, New York.
11. North American Commission On Stratigraphic Nomenclature (2005) North American Stratigraphic Code, *AAPG Bulletin*, 89, 11, 1547-1591.
12. Piller, W.E., Harzhauser, M. and Mandić, O. (2007) Miocene Central Paratethys stratigraphy – current status and future directions, *Stratigraphy*, 4, 151-168.
13. Prelogović, E. and Kranjec, V. (1983) Geološki razvitak područja Jadranskog mora. *Pomorski zbornik*, 21, 387-405.
14. Rio, D., Channel, J.E.T., Bertoldi, R., Poli, M.S., Vergerio, P.R., Raffi, I., Sprovieri, R. and Thunell, R.C. (1997) Pliocene sapropels in the northern Adriatic area: Chronology and paleoenvironmental significance, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 135, 1-25.
15. Rögl, F. (1998) Paleogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene), *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 99A, 279-310.
16. Stanley, D.I. (1995) A global sea level curve for the late Quaternary: the impossible dream?, *Marine Geology*, 125, 1-6.
17. Thunel, M. (1971) Građa tercijarnog bazena u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora, *Nafta*, 22, 4-5, 275-434.
18. Tišljarić, J. (1994) Sedimentne stijene, *Školska knjiga*, Zagreb.
19. Van Der Lingen, G.J. (1969) The turbidite problem, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 12, 7-50.
20. Vdović, N. & Juračić, M. (1993) Sedimentological and Surface Characteristics of the Northern and Central Adriatic Sediments, *Geologia Croatia*, 46, 1, 157-163.
21. Velić, J. (2007) *Geologija ležišta nafte i plina*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
22. Veseli, V. (1999) *Facijesi karbonatnih sedimenata mlađeg mezozoika i paleogena u pučinskim bušotinama sjevernog Jadrana*, Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
23. Vlahović, I., Tišljarić, J., Velić, I. & Matičec, D. (2005) Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 220, 3-4; 333-360
24. Zelić, M., Mlinarić, Ž. & Jelić-Balta, J. (1999) Croatian Northern Adriatic Ivana gas field ready for development (Reservoir characteristics and gas inflow conditions into the well), *Nafta*, 50, 1, 19-37.

### 6.2. Izvori s interneta

25. URL 1, <http://records.viu.ca/~cearles/messinian-crisis-apr03.htm>, 8. XI. 2010.
26. URL 2, [http://commons.wikimedia.org/wiki/Adriatic\\_Sea](http://commons.wikimedia.org/wiki/Adriatic_Sea), 8. XI. 2010.
27. URL 3, [http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline\\_of\\_glaciation](http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_glaciation), 8. XI. 2010.

## ZAHVALA

Rad predstavlja litostratigrafsku analizu načinjenu u 2010. godini u okviru projekta „Stratigrafska i geomatematička istraživanja naftno-geoloških sustava u Hrvatskoj“ (broj 195-1951293-0237) financiranog od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH. Zahvaljujemo recenzentima na korisnim i dobronamjernim sugestijama.



Autori:

**Josipa Velić**, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, e-pošta: josipa.velic@rgn.hr (redoviti profesor)

**Tomislav Malvić**, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i upravljanje ležištima, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, e-pošta: tomislav.malvic@ina.hr (docent, savjetnik)