

Potencialnost karbonatnih kamnin za nastanek ogljikovodikov v zahodni Sloveniji

Carbonate rocks of west Slovenia as potential sources for hydrocarbons

Bojan Ogorelec¹, Bogdan Jurkovšek¹, Drago Šatara², Gertrud Barič³,
Bogomir Jelen¹ & +Borislav Kapović⁴

¹ Geološki zavod Ljubljana, Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko,
Dimičeva 14, 1009 Ljubljana, Slovenija

² Gračansko borje 9, 10000 Zagreb, Hrvaška

³ INA-Naftaplin, Služba za laboratorijska istraživanja,
Lovinčičeva 1, 10000 Zagreb, Hrvaška

⁴ INA-Projekt, Savska 88a, 10000 Zagreb, Hrvaška

Ključne besede: karbonatne kamnine, ogljikovodiki, mezozoik, Slovenija

Key-words: carbonate rocks, hydrocarbons, Mesozoic, Slovenia

Kratka vsebina

Raziskave zajemajo okolje nastanka in litološke značilnosti ter geokemične in optično-mikroskopske analize organske snovi 196 vzorcev apnencev in dolomitov iz zahodnega dela slovenskih Dinaridov. Dobljeni rezultati so zazdaj orientacijski. Analiziranih je bilo 14 potencialnih formacij različnih starosti, od zgornjega perma do paleocena. Triasne in jurske kamnine vsebujejo v povprečju 0,2 % C_{org} in niso potencialne za nastanek nafte in plina. Več C_{org} vsebujejo zgornjepermški in karnijski apnenci, neugodna v njih pa je sestava kerogena, ker je ta pretežno terestričnega izvora. Med deloma potencialne matične kamnine lahko izločimo spodnjekredne črne apnenice lagunskega faciesa s Trnovega pri Novi Gorici. Črni ploščasti in laminirani Komenski in Tomajski apnenec ter plasti Liburnijske formacije kažejo steer mejne vsebnosti C_{org} , imajo pa neugodno sestavo kerogena.

Abstract

The research comprises depositional environment and lithological characteristics as well as geochemical and optical analyses of 196 limestone and dolomite samples from Upper Permian to Paleocene age from the western part of Slovenian Dinarides. The obtained results of 14 investigated formations are orientational. Triassic and Jurassic rocks contain 0.2 % C_{org} in average and are not potential source rocks for hydrocarbons. The Upper Permian and Carnian beds contain more C_{org} , but vitrinite constituent of terrestrial origin is unfavorable for the kero-

gene composition. The black Lower Cretaceous limestone of lagoonal facies from Trnovo near Nova Gorica can be considered as partial potential source rock for hydrocarbons. Black platy and laminated Komen and Tomaj limestone and rocks of the Liburnian Formation indicate a moderate content of C_{org} but have unfavorable composition of kerogene.

Uvod

Raziskave nafte in plina so bile v Sloveniji v zadnjih desetletjih osredotočene v večjem delu na Mursko depresijo, ki pripada zahodnemu delu obsežnega Panonskega bazena. Tak koncept raziskav so narekovala odkritja nafte in plina med drugo svetovno vojno v okolici Lendave. Leta 1943 je bilo odkrito naftno-plinsko polje Petišovci, takoj za njim pa še polji Dolina in Filovci. Črpanje plina iz globljih slojev petišovske strukture poteka še danes, medtem ko so zaloge iz Doline in Filovec izčrpane.

V slovenskem delu Dinaridov so naftno-geološke raziskave potekale bistveno manj intenzivno. V petdesetih in šestdesetih letih so bili v Slovenskem Primorju in na Krasu z geofizikalnimi metodami ugotovljeni nekateri strukturni elementi, ki bi lahko predstavljali pasti za ogljikovodike. S površinskimi raziskavami in s stratimetrijskim snemanjem profilov so bile kasneje raziskane mezozojske karbonatne formacije, predvsem njihove biostratigrafske in facialne značilnosti. Izvrtana ni bila nobena naftna raziskovalna vrtina. Najbližje globoke vrtine so tako v Istri pri Rovinju (Ro-1, 4.135 m; Kranjec, 1981) in na italijanskem ozemlju – Amanda 1 v Beneški depresiji (7.305 m, najgloblja "off shore" vrtina v Mediteranu), nadalje vrtina Cesarolo-1 pri izlivu Timava (4.332 m; Cati et al., 1989a, 1989b) in 1.400 metrov globoka vrtina SPAN-1 pri Čedadu (Sartorio et al., 1987). V sklepni fazi raziskav je tudi prek 7000 m globoka vrtina Cagnacco pri Udinah. Vse našteje vrtine so bile v naftnem pogledu sicer negativne, posredovale pa so obilico zelo pomembnih stratigrafsko-litoloških in tektonskih podatkov. Rovinjska vrtina in vrtina Amanda sta prevrtali celotno mezozojsko karbonatno skladovnico Istrske platforme in sta končali v permskih karbonatno-klastičnih plasteh.

Skoraj nobenih podatkov pa doslej nismo imeli o vsebnosti organske snovi v karbonatnih kamninah in o njihovi potencialni matičnosti. Več podatkov imamo le o njihovih facialnih razvojih v slovenskem delu Dinaridov (Pleničar & Premru, 1975; Pleničar & Pavlovac, 1984). Vse predmene o možnosti karbonatnih kamnin za formiranje in migracijo ogljikovodikov so temeljile na opisnih podatkih, kot so "bituminozni apnenci ali dolomiti", "duh po bitumnu", "pojavi organske snovi" in podobno.

Glede na slabo poznavanje naftno-geoloških parametrov mezozojskih kamnin v zahodnih Dinaridih je bilo s srednjeročnim *Programom naftnih raziskav v Sloveniji za obdobje 1986–1990* predvideno, da dodatno raziščemo tudi njihove potencialne matične lastnosti. V ta namen smo v obdobju 1986–88 raziskali 196 vzorcev apnencev, dolomitov in skrilavcev različnih starosti od zgorjega perma do paleocena. Predmet teh raziskav in objave so predvsem delež organske snovi v kamninah, okolje njihovega nastanka, litologija in diagenetske značilnosti ter sestava bitumna. Dobljeni analitski rezultati zaenkrat predstavljajo le prepotrebne osnovne podatke za programiranje nadaljnjih, dražjih raziskav, kot so geofizikalne meritve in morebitne globoke raziskovalne vrtine.

Predstavljeni podatki so rezultat skupnih raziskav Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko iz Ljubljane, INA-Projekta Zagreb in Geokemijskega laboratorija

INA-Naftaplin. Terenske in regionalne raziskave so izvajali B. Ogorelec, B. Jurkovšek, B. Kapović in D. Šatara, geokemične analize in njihovo interpretacijo G. Barić, mikroskopijo organske snovi B. Jelen, kompilacijo podatkov pa B. Ogorelec.

Raziskave sta financirala Nafta Lendava in RSS (Raziskovalna skupnost Slovenije), današnje Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije.

Predmet raziskav

Potencialnost paleozojskih in mezozojskih karbonatnih kamnin smo raziskovali v zahodnem delu slovenskih Dinaridov, predvsem na Krasu, Trnovskem gozdu, v širši okolici Idrije in v Polhograjskem hribovju (sl. 1). V tem prostoru smo lahko zajeli kamnine od zgornjega perma do paleocena. Pri načrtovanju raziskav smo med potencialne matične kamnine uvrstili zgornjepermske apnenice in dolomite, karnijske in spodnjekredne apnenice ter zgornjekredne tankoploščaste in laminirane apnenice Tržaško-komenske planote. Delno smo prištevali sem še jurske in kredne plasti Slovenskega jarka. Omenjene kamnine smo za nastanek ogljikovodikov izločili kot zanimive zaradi njihove temne barve in mikrofaciesa. Temno barvo apnencev in dolomitov pogojujeta razpršena organska snov in pirit, po katerih sklepamo na redukcijske razmere med njihovo sedimentacijo in kasnejše diageneze. Vse našete plasti so se odlagale v zelo mirnem okolju, večidel v lagunah in zaprtem delu šelfa, nekatere pa v globljem okolju.

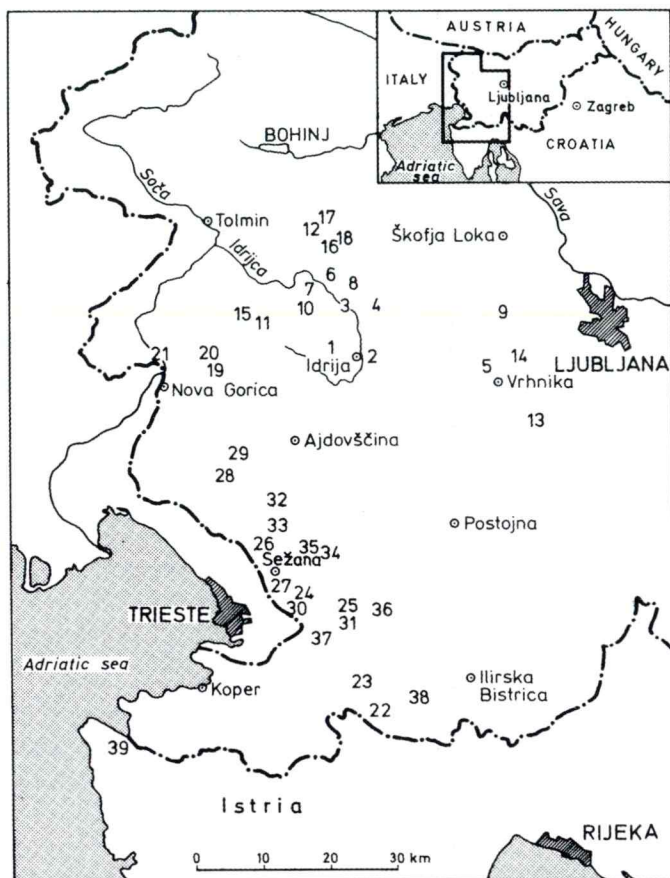
Vzorci za geokemične analize smo izbrali iz serije štiridesetih stratigrafskih profilov in večjih golic. Sami profili niso predmet objave, litologija in facies kamnin ter vsebnost organskega ogljika pa so shematsko prikazane na sliki 2.

Vsi raziskani vzorci so bili pregledani z bituminološko-luminiscentno metodo in analizirani na vsebnost organskega ogljika. Na izbranih vzorcih so bile napravljene še piroliza organske snovi (38 vzorcev), sestava bitumna, kromatografske analize nasičenih ogljikovodikov in mikroskopska analiza kerogena.

Splošno o matičnih kamninah

Matične kamnine za nastanek ogljikovodikov so tiste, v katerih se organska snov tako rastlinskega kakor živalskega porekla zaradi anaerobnih pogojev v sedimentu ohrani skozi geološka obdobja. Kazalec vsebnosti organske snovi v kamnini je količina organskega ogljika (C_{org}). Z vidika naftne potencialnosti karbonatnih kamnin so zanimive tiste, ki vsebujejo nad 1 % C_{org} . Kamnine, ki vsebujejo 0,3–1 % C_{org} , sodijo v obrobno skupino (mejne vrednosti), kamnine z manj kot 0,3 % C_{org} pa po kriterijih Robertsonovega geokemičnega laboratorija za naftno matičnost niso perspektivne. Vendar sama vsebnost organske snovi ni zadostna za oceno naftne potencialnosti neke kamnine. Poznati moramo namreč še sestavo organske snovi, njeno poreklo in druge parametre, med njimi tudi termalno evolucijo sedimentacijskega bazena, v katerem je kamnina nastajala.

Organsko snov v sedimentu sestavljata *bitumen* – frakcija, ki je topna v organskih topilih- in *kerogen*, netopni del organske snovi s strukturo polimerov. Glede na to, da sestavljajo kerogen velike molekule, ga težko analiziramo. To je danes možno s pirolizo (segrevanjem v inertni atmosferi), kjer ta razpada v nižje enote, katere nato lahko ločimo s plinsko in masno kromatografijo.



Sl. 1. Položaj in starost vzorcev, odvzetih za geokemične raziskave

Fig. 1. Locations and age of geochemical samples

Zgornji perm – Upper Permian:

1 Vojskarska planota – Rejc, 2 Idrija (rudnik -Hg mine), 3 Masore, 4 Javorjev Dol, 5 Žažar

Trias – Triassic:

Skitij – Scythian: 6 Želin – Cerčno, 7 Jadršce; *Anizij – Anisian*: 8 Cerčno – Baba, 9 Polhov Gradec – Sevnik; *Ladinij – Ladinian*: 10 Oblakov vrh; *Karnij – Carnian*: 11 Zgornja Trebuša, 12, Huda-južna, 13 Borovnica, 14 Drenov Grič; *Norij in retij – Norian & Rhaetian*: 15 Čepovan, 16 Zakojca

Jura – Jurassic: (globljevodni razvoj – deep water environment)

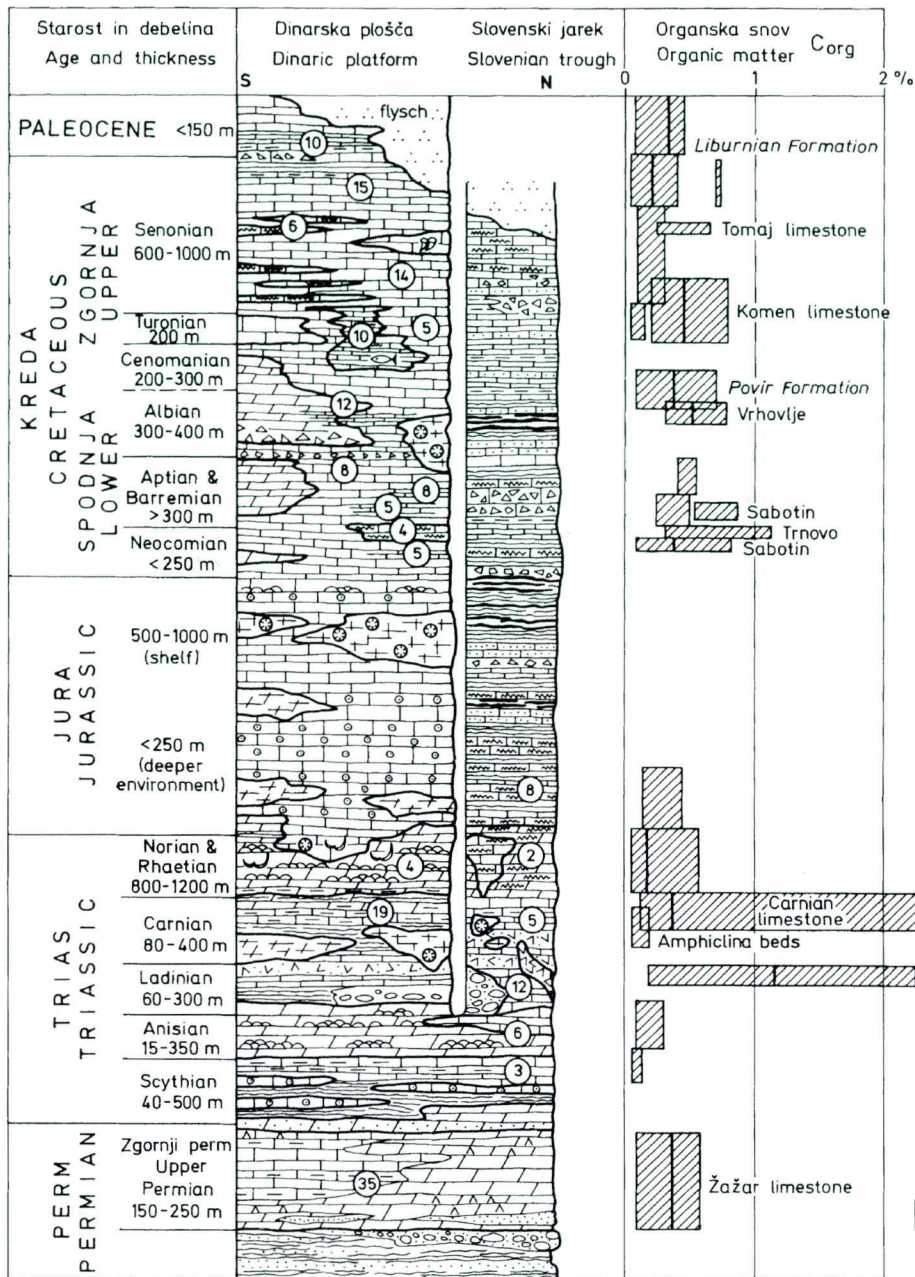
17 Hudažužna, 18 Porezen

Kreda – Cretaceous:

Hauterivij – Hauterivian: 19 Trnovo; *Barremij-aptij – Barremian-Aptian*: 20 Voglarji, 21 Sabotin, 22 Golac, 23 Markovščina; *Albij-cenomanij – Albion- Cenomanian*: 24 Povir, 25 Divača, 26 Vrhovlje-Kreplje; *Turonij-santonij – Turonian-Santonian*: 27 Sežana; *Komenski apnenec* (cenomanij – turonij) – *Komen limestone* (Cenomanian – Turonian): 28 Komen-Škrbina, 29 Tomačevica; *Senonij – Senonian* (Sežanska formacija – Sežana formation): 30 Sežana, 31 Divača; *Tomažski apnenec – Tomaj limestone* (zgornji senonij – Upper Senonian): 32 Dutovlje, 33 Križ

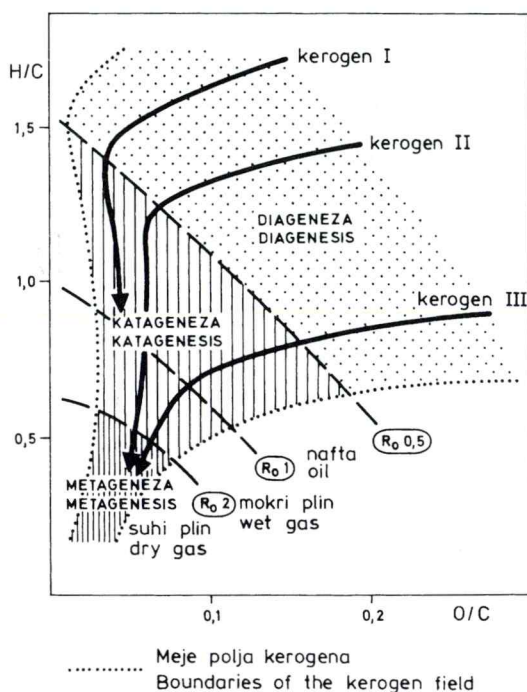
Kreda-Paleocen (Liburnijska formacija) – **Cretaceous-Paleocene** (Liburnian Formation):

34 Senadole, 35 Štorje, 36 Vremski Britof, 37 Kozina, 38 Hrušica, 39 Sečovlje



Sl. 2. Shematski litološki stolpec z raziskanimi formacijami in glavnimi geokemičnimi značilnostmi karbonatnih kamnin (delež C_{org} , indeks vitrinitne odsevnosti...). Številke v krogih pomenijo število raziskanih vzorcev posamezne formacije

Fig. 2. Schematic lithologic column with investigated formations and main geochemical characteristics of carbonate rocks (C_{org} content, vitrinite reflection index ...). Numbers in circles are indicating number of investigated samples of the formation



Sl. 3. Van Krevelenov diagram klasifikacije kerogena na osnovi atomskih razmerij H/C in O/C ter faze diageneze organske snovi. Za primerjavo so podane približne vrednosti odsevnosti vitritinita v % ($R_0 = 0,5-2$); po Tissotu (1984)

Fig. 3. The Van Krevelen diagram. Chemical classification of kerogen types according to H/C and O/C atomic ratios and diagenetic stages of organic matter. Vitrinite reflexion data in % are presented for comparison ($R_0 = 0.5-2$); after Tissot (1984)

Na osnovi atomskih razmerij H/C in O/C ločimo tri tipe kerogena, kar ponazarja van Krevelenov diagram na sl. 3 (iz Tissot & Welte, 1984). Za tip I, imenovan tudi "algalno – sapropelski kerogen", je značilno, da nastaja z razgradnjo planktonskih alg in je obogaten z lipidi. Ima visoko H/C razmerje (1,3–1,7) in nizko razmerje O/C (pod 0,1). Ob termalni zrelosti je glavni producent nafte in ga večidel zasledimo v oljnih skrilavcih. Kerogen tipa III ali "huminski kerogen" nastaja z razpadom kopenskih rastlin oziroma iz lignina, tanina in celuloze. Zanj je značilno nizko začetno razmerje H/C in visoko razmerje O/C. Pri njegovi maturaciji nastanejo plinasti ogljikovodiki ("gas prone"). Podobno organsko sestavo kot kerogen III imajo tudi nekatere vrste premoga. Kerogen II je mešanica med tipoma I in III in je značilen za morsko okolje. Nastaja z razpadom fito- in zooplanktona in drugih morskih organizmov ali terigenih lipidov v redukcijskem okolju. Je najpogostnejši tip kerogena za nastanek nafte.

Prehod kerogena v nafto, plin ali premog je funkcija temperature, pritiska in časa. Ta sprememba se prične med 50 in 70°C. Idealne temperature za formiranje nafte so med 80 in 130°C (Tissot et al., 1974), kar pri normalnem geotermičnem gradientu (30°/km) odgovarja globini 3 – 4.000 metrov. To pomeni, da morajo biti plasti, v katerih “dozoreva” nafta, prekrte z debelo skladovnico sedimentov. Pri manjših globinah lahko z biokemičnimi procesi nastane le plin, predvsem metan.

Bitumen predstavlja tisti del organske snovi v kamnini, ki je topljiv v organskih topilih. V njem lahko ločimo štiri osnovne sestavine – nasičene ogljikovodike, aromatske ogljikovodike, smole in asfaltene. Z analizo teh komponent ugotavljamo izvor in zrelost organske snovi in tiste diagenetske spremembe, ki so rezultat oksidacijskih, mikrobioloških in drugih degradacijskih procesov.

Metode, s katerimi raziskujemo zrelost organske snovi v sedimentu, se ločijo na *optične* in *kemične*. Med prve sodita meritev barve palinomorf in spor ter odsevnost vitrinitne komponente (R_o). Znano je namreč, da je kemična zrelost maceralij funkcija temperature. Z zrelostjo se spreminja barva organske snovi od bledorumene preko rumene, oranžne do rjave in črne. Nafta nastaja v tisti fazi zrelosti organske snovi, ki jo označuje indeks vitrinitne odsevnosti $R_o = 0,5\text{--}1,3\%$ in je znana kot *naftno okno* (oil window – D o w, 1977). Pri vrednostih R_o 0,8–2,0 % nastaja najprej “mokri plin” s kondenzati, pri vrednostih $R_o = 1,0$ do 3,0 % pa “suhi plin”, ki je zastopan v glavnem z metanom.

Med kemičnimi metodami raziskav organske snovi sta najpomembnejši piroliza in plinska kromatografija. Prva temelji na sežigu organske snovi v inertni atmosferi pri temperaturah med 250 in 550°C. Dobljeni parametri treh plinskih “sunkov” na diagramu (S_1 do S_3) predstavljajo: S_1 – nizkotemperaturni sunek (low temperature peak); ta sunek kaže tisti delež prostih ogljikovodikov, ki se izločijo pri nizkih temperaturah (pod 300°C) – bitumen; S_2 – visokotemperaturni sunek (high temperature peak) predstavlja tisti del organskih sestavin, ki se izločijo pri termični razgradnji kerogena pri $T_{\max}$ (navadno pri temperaturah med 400 in 500°C) – kerogen; S_3 preostali del CO_2 po končanem pirolitskem postopku.

Iz dobljenih podatkov pirolize dobimo tudi dva zelo pomembna podatka, ki opredeljujeta tip kerogena – *vodikov indeks* (HI) kot razmerje $mg\ HC/g\ C_{org}$ in *kisikov indeks* (CI) kot razmerje med $mg\ CO_2/g\ C_{org}$. Vsota $S_1 + S_2$, izražena s kg ogljikovodikov na tono kamnine, predstavlja *genetski naftni potencial*. Kamnine z manj kot 2 $kg\ t^{-1}$ ogljikovodikov niso matične kamnine za nafto, imajo le delni potencial za plin, kamnine z do 6 $kg\ t^{-1}$ imajo zmeren genetski potencial, tiste z več kot 6 $kg\ t^{-1}$ pa so dobre matične kamnine (Tissot & Welte, 1984).

Organska snov, ki je bogata s sapropeli, ima visok vodikov indeks (HI) in nizek ogljikov indeks (OI), medtem ko imajo kerogeni, bogati s huminsko snovjo, obratno nizek indeks HI in visok ogljikov indeks OI (Espitalié et al., 1977). V splošnem obstaja zelo dobra korelacija med vodikovim in kisikovim indeksom, izmerjenima pri pirolizi kamnine ter med H/C in O/C razmerjema pri elementarni analizi kerogena.

Rezen organsko-kemičnih značilnosti (delež C_{org} , vrste organske snovi in njene termične zrelosti) je za prepoznavanje potencialnih kamnin za nastanek ogljikovodikov pomembno tudi poznavanje ugodnih faciesov in njihovih sedimentacijskih okolij (Demailson & Moore, 1980; Moorkens, 1991).

Ugodne faciese za nastanek ogljikovodikov v veliki meri sestavljajo sedimenti nizkoenergijskih okolij (low energy depositis); povečini so laminirani in brez znakov bioturbacije. Taki tipi kamnin so laporji, glinovci, mikritni karbonati in kombinacije le-teh, v splošnem pelitni sedimenti. Njihova temna ali črna barva, ki je največkrat

posledica razpršene organske snovi in pigmenta avtigenega pirita, kaže na redukcije razmere v sedimentacijskem bazenu. Obstajajo pa tudi primeri, kjer je pirit nastal v fazi kasne diageneze, potem ko je prisotna organska snov že oksidirala in je bila degradirana. Delež pirita je pogosto proporcionalen s količino organske snovi. V sedimentnih, bogatih z organsko snovjo, so večkrat prisotni tudi fosfatni minerali (kažejo na prisotnost hranilnih snovi za mikroorganizme v času sedimentacije), povišane v njih pa so tudi vsebnosti nekaterih elementov, kot so U, Cu, Mo in Ni (npr. permški bakrovi skrilavci v severni Nemčiji – "Kupferschiefer").

Dobra kazalca aerobnih in anaerobnih procesov v sedimentacijskem okolju sta tudi paleontološka in palinološka vsebina. V anoksičnem okolju so namreč bentoški fosili odsotni, palinološka združba pa je indikator morskih ali terestričnih rastlin oziroma spor.

Eden od kazalcev višje vsebnosti organske snovi v sedimentu je tudi njegova višja radioaktivnost; vzrok temu je, da organska snov veže radioaktivne delce iz morske vode. Zato kažejo sedimenti, bogati z organsko snovjo, visok "gama-ray log" in višjo upornost kakor druge kamnine (to razlagamo z višjo upornostjo organske snovi).

Rezultati raziskav

Zgornji perm

Zgornjepermske apnenice in dolomite smo raziskali v treh sklenjenih profilih v širši okolici Idrije in Žirov: na Vojskarski planoti (profil Rejc), pri Masorah in v Javorjevem Dolu pri Sovodnju (sl. 1). Skupno smo analizirali 35 vzorcev. Vojskarska planota predstavlja namreč tisto tektonsko enoto, kjer v zahodni Sloveniji zgornjepermske plasti izdanjajo najbolj južno. Planota je del Idrijsko-trnovskega pokrova in je narinjen na kredne apnenice in paleogenski fliš Vipavske doline.

V obdobju zgornjega perma je pripadalo raziskano območje zahodne Slovenije prostranemu plitvemu šelfu, ki se je razprostiral od severne Italije (Bosellini & Hardie, 1973) proti Madžarski in je potekal tudi prek Slovenije (Slovenska plošča; Buser, 1989). Črni apnenici in dolomiti leže nad srednjepermskimi klastiti (grödenski peščenjaki) ter navzgor prehajajo zvezno v skitsko karbonatno-klastično zaporedje. Apnenec se je odlagal v zaprtem šelfu lagunskega značaja (Grad & Ogorelec, 1980; Buser et al., 1986). Lokalno se javljajo tudi plasti satastega dolomita in sadre, ki nakazujejo občasne evapornitne pogoje sedimentacije. Dolomit je večji del nastal med zgodnjo diagenozo s kapilarno koncentracijo Mg^{++} ionov v litoralnem nadplimskem okolju. Po favni, mikrofaciesu in makroskopskih teksturah sklepamo na zelo podoben razvoj zgornjepermskih kamnin Idrijsko-žirovskega ozemlja z enako starimi karbonatnimi plastmi v Liki (Kochansky – Devidé, 1965, 1979; Sremac, 1991).

Analize 35 vzorcev kažejo, da je vsebnost organske snovi v zgornjepermskih apnenicah in dolomitih, kljub njihovi temni do črni barvi in ponekod vonju po bitumnu, precej skromna (sl. 2). Večina vzorcev vsebuje malo organske snovi, od 0,08 do 0,62 % C_{org} , v povprečju okrog 0,3 % C_{org} . Le nekaj vzorcev kaže mejne vrednosti z okrog 0,5 % organske snovi. Med apnenici in dolomiti ne opazujemo razlike glede vsebnosti organske snovi.

Iz profila Masore ob Idriji so bili od 22 vzorcev izločeni za pirolitsko analizo štirje (tabela 1). Glede na podatek $S_2 = 0$ vzorci nimajo naftnega potenciala. Vsebnost bitumna v teh vzorcih je zelo nizka in ne preseže 870 ppm. Kemična analiza enega od

apnenec (SP – 93/14) iz srednjega dela formacije je pokazala, da vsebuje bitumen 39 % alkanov, 10 % aromotov, 18 % smol in 33 % asfaltenov. Kromatografska analiza istega vzorca kaže, da v bitumnu prevladujejo ogljikovodiki s sestavo C_{15} do C_{37} , z izrazito prevlado C_{24} in C_{25} , vsi molekularni parametri kažejo na terestrično poreklo organske snovi.

Da bi ugotovili vpliv površinskega preperevanja in izluževanja organske snovi, smo raziskali tri sveže vzorce črnega dolomita iz polja Ljubevč znotraj idrijskega rudišča. Vsebnost organske snovi v preiskanih treh vzorcih zelo niha. Dva vzorca vsebujeta 0,43 in 0,32 % C_{org} , kar je enak vrstni red kakor različni iste formacije na površini, bistveno več organske snovi (2,34 % C_{org}) pa vsebuje vzorec skrilavega dolomita.

Optične analize kerogena vzorcev z Vojskarske planote in iz Masor kažejo, da v sestavi kerogena močno prevladujejo maceralije vitritne skupine (80–95 %), kar kaže na neugoden organski facies za nastanek ogljikovodikov. Po raziskavi razgradnje ligninsko-huminskih delcev v vzorcih in po kromatografskih analizah bitumna lahko sklepamo, da večji del granulozne organske snovi izvira iz kopenskih rastlin. Le v vzorcih iz Javorjevega Dola se javlja tudi kortikularno tkivo alg. Stopnja termične spremembe organske snovi je visoka ($R_o = 2,32\%$) in predstavlja začetno fazo metageneze.

Rezultati geokemičnih in optičnih analiz zgornjepermskih plasti idrijskega prostora kažejo, da ti apneneci in dolomiti zaradi relativno nizkih vsebnosti C_{org} in sestave kerogena praktično niso potencialne matične kamnine, minimalna pa je tudi prisotnost sekundarnih ogljikovodikov.

Trias

Skitske plasti so v osrednji in zahodni Sloveniji razvite delno klastično in delno karbonatno. V spodnjem delu zaporedja se znati dolomiti z detritičnim kremenom in sljudo menjavajo s peščenjaki in tanjšimi plastmi ter lečami oolitnega apnenca. Kamnine kažejo na plitvo oksidacijsko sredino z visoko energijo vode (Grad & Ogorelec, 1980), konodonti pa na vpliv pelagiala (Kolar – Jurkovšek, 1990). V zgornjem delu zaporedja se javlja do 60 m debela skladovnica temnega mikritnega apnenca lagunskega faciesa z znaki občasne litoralne sedimentacije. Iz tega apnenca smo v Jagrščah in Želinu pri Cerknem orientacijsko raziskali le tri vzorce. Apnenec vsebuje od 0,05 do 0,11 % C_{org} , kar je občutno prenizko, da bi spodnjetriasni apnenec zazdaj lahko uvrstili v potencialne matične kamnine. Temna barva kamnine je posledica piritnega pigmenta in ne organske snovi.

Anizične plasti so v osrednji Sloveniji razvite precej enotno, večidel kot tanko do srednjeplastovit dolomit, tu in tam pa tudi kot apnenec. Dolomit je po strukturi mikriten do drobnozrnat sparit. Teksturine oblike, kot so izsušitvene pore, laminiti in stromatoliti, kažejo na njegovo sedimentacijo v plitvem litoralnem okolju (Grad & Ogorelec, 1980). Dolomitizacija je pretežno zgodnjediagenetskega značaja. Debelina anizičnih plasti se na raziskanem ozemlju giblje med 120 in 250 metri.

Geokemično smo raziskali le šest vzorcev. V profilu Baba nad Cerknim se med dolomitom javlja nekaj deset metrov debel paket ploščatega in skrilavega biomikritnega apnenca temno sive barve. Ta se je odlagal v plitvih lagunah znotraj prostranega karbonatnega šelfa. Vsebnost organske snovi v raziskanih vzorcih dolomita in apnenca se giblje med 0,08 in 0,30 % C_{org} , kar zazdaj ni dovolj za njihovo naftno potencialnost.

Ladinijske plasti: Ob koncu anizičnega obdobja je dotedaj enotna Slovenska karbonatna plošča razpadla. Prišlo je do nastanka Dinarske karbonatne plošče na jugu, Julijske plošče na severu in vmesnega Slovenskega bazena, ki se vleče od Tolmina čez osrednjo Slovenijo proti Zagrebu (Buser, 1989). Aktivno tektoniko so spremljali izlivi predornin in njihovih tufi, ki se javljajo med apnenci.

Iz širše okolice Idrije in Cerknega smo na več lokalnostih (Jagršče, Oblakov vrh, Špik) raziskali 12 vzorcev temnega ploščastega apnenca. Stratigrafsko se apnenec javlja med ladinskimi tufi in zrnatim dolomitom cordevolske starosti. Ploščast apnenec je po strukturi laminiran mikrit s pelagično mikrofavno (radiolariji, konodonti, foraminifere). Odlagal se je v nekoliko globljem okolju. Pigment organske snovi in pirit kažeta na redukcijske razmere v sedimentacijskem okolju.

Vsebnost organske snovi v preiskanih vzorcih je v mejah med 0,19 in 2,76 % C_{org} , s povprečjem okrog 1,2 %. Večina vzorcev kaže povišano vsebnost organske snovi, vendar pirolitska analiza ni potrdila matičnih lastnosti apnenca za nastanek nafte. Visoke vrednosti S_3 pikov na diagramih pirolitske analize so vezane na povišano vsebnost kisika v kerogenu, višje koncentracije kisika pa običajno vsebuje terestrični, celuložno-ligninski tip organske snovi. Na povečani dotok organske snovi s kopnega med sedimentacijo sklepamo tudi po maceralnih analizah kerogena, saj vsebujejo vzorci 75–80 % vitrinitne komponente. Zrelostna stopnja kamnine, določena na osnovi refleksije vitrinita ($R_o = 2,76\text{--}3,02\%$) kaže na visoko metagenetsko fazo spremembe organske snovi, ki se že približuje metamorfni coni.

Geokemične analize črnega ladinijskega apnenca z idrijskega prostora torej kažejo, da ta ni potencialna matična kamnina za ogljikovodike, kljub relativno visoki vsebnosti C_{org} . Organska snov predstavlja le ostanek terestrične komponente, s katero je bil apnenec bogat med njegovo sedimentacijo.

V *karnijskem obdobju* se je sedimentacija nadaljevala na celotnem slovenskem ozemlju. Znotraj Dinarske platforme se je v priobrežnih lagunah odlagal biomikritni apnenec, ki je bil lokalno tudi dolomitiziran (npr. Trebuša na Vojskarski planoti, Borovnica). Apnenec je značilno črne barve in ima rahel vonj po bitumnu. Iz profilov pri Borovnici, Drenovem Griču, Orlah in Trebuši smo raziskali 19 vzorcev. Vsebnost organske snovi se v vzorcih giblje med 0,14 in 2,51 % s povprečjem okrog 0,35 % C_{org} , kar je na spodnji meji potencialne matičnosti kamnine. Apnenec ima nizek delež topljive bitumsne komponente (pod 200 ppm), iz plinsko-kromatografskih analiz nekaterih vzorcev pa ugotavljamo degradacijo ogljikovodikov. Organska snov je večidel terestričnega izvora. To se med drugim dopolnjuje tudi s tanjšimi polami premoga pri Orlah in Drenovem griču, ki se javljajo med apnencem (Buser, 1974; Pleničar, 1970). Le manjši del bitumna je morsko-lipidnega izvora.

Črni lapornati apnenci iz Drenovega griča so bili raziskani s pirolitsko analizo, kerogen pa mikroskopsko zaradi odsevnosti vitrinita. Vsi trije vzorci imajo zelo visoko odsevnost ($R_o = 2,2$ do $3,2\%$), kar kaže na doseženo metagenetsko stopnjo (cona suhega plina) in na zmanjšano možnost generiranja ogljikovodikov. Maceralije sestavljajo vitrinit, vitrodetrinit in mikrinit. Organska snov nima sposobnosti fluorescenca. Vodikov indeks (HI) v istih vzorcih je zelo nizek (6 do 28) in potrjuje visoko termično spremembo organske snovi.

Vzorec črnega biomikritnega apnenca iz Trebuše vsebuje nizek delež bitumna (136 ppm), iz njegove plinsko-kromatografske analize pa lahko ugotovimo degradacijo ogljikovodikov. Ta se kaže v povišanem deležu n-alkanov v območju višjih ogljikovodikov (C_{18} do C_{28}), medtem ko je izoalkanov le 12 %.

V nekoliko globljem okolju, v Slovenskem jarku so se v karnijskem obdobju odla-

gali temni apnenci in skrilavci (amfiklinske plasti). Te smo orientacijsko raziskali s petimi vzorci s Porezna in Hudajužne. V karbonatnem paketu amfiklinskih plasti se črn mikritni apnenec menjava s kalkarenitom, z laporjem in sem in tja s tufskim peščenjakom (Buser & Ogorelec, 1987). Raziskani vzorci vsebujejo od 0,07 do 0,32 % organskega ogljika, kar je prenizko, da bi apnenec uvrstili med potencialno matičnega za nastanek ogljikovodikov.

Več organske snovi vsebuje karnijski mikritni dolomit iz okolice Jagršč pri Idriji. Raziskani vzorec vsebuje 0,61 % C_{org} , kar je mejna vrednost za potencialne matične kamnine. Vodikov indeks, izražen kot razmerje med HC/C_{org} pa je nizek (22) in kaže na to, da dolomit nima lastnosti matične kamnine.

Norijsko-retijske plasti so v zahodni Sloveniji razvite kot glavni dolomit (Hauptdolomit, Main dolomite) in njegov lateralni različek dachsteinski apnenec, na prostoru Slovenskega jarka pa kot baški dolomit. Vse tri formacije so glede na svetlo barvo kamnine in na njeno strukturo za nafto nezanimive ali zelo malo zanimive. Zato smo orientacijsko raziskali le štiri različke temnejšega pasovitega dolomita s stromatolitno teksturo ter dva različka temnega in drobnozrnatega dolomita baškega razvoja. Glavni dolomit je nastajal v obrežnih in zaprtih delih šelfa (Ogorelec & Rothe, 1992), kjer so se menjavali pod-, nad- in medplimski pogoji sedimentacije, medtem ko je baški dolomit nastal s kasnodiaogenetsko dolomitizacijo ploščatega apnenca z rožencem v globljem okolju.

Vsebnost C_{org} v raziskanih vzorcih se giblje med 0,06 in 0,61 % s poprečjem 0,15 %, kar je prenizko, da bi glavni dolomit uvrstili med potencialne matične kamnine za nastanek ogljikovodikov. Na meji matičnosti je le en vzorec stromatolitnega dolomita iz Čepovana, ki vsebuje 0,61 % C_{org} . Seveda pa je splošna trditev, da je glavni dolomit za nastanek nafte nezanimiva formacija, samo na podlagi štirih raziskanih vzorcev preuranjena. Podatki imajo strogo orientacijski pomen.

Jura

Apnenci Dinarske karbonatne platforme so se v zahodni Sloveniji skozi vse jursko obdobje odlagali na plitvem, pretežno odprtem karbonatnem šelfu (Buser, 1979; Orehek & Ogorelec, 1980). Za liasno in doggersko zaporedje je značilna več sto metrov debela skladovnica svetlega oolitnega in biosparitnega apnenca, v spodnjem malmu pa so bili na območju Trnovskega gozda obsežni koralni grebeni (Turnšek, 1966; Turnšek et al., 1981). Glede na strukturne tipe in facialne značilnosti jurski apnenec Dinarske platforme ne uvrščamo med potencialne matične kamnine. Zato jih v tej fazi raziskav geokemično tudi nismo raziskali.

Kot potencialno matično kamnino jurskega obdobja smo izločili le okrog 150 metrov debel paket črnih apnencev in karbonatnih skrilavcev iz Slovenskega jarka. Iz profilov na Poreznu, pri Zalem Logu in pri Hudajužni smo zato orientacijsko raziskali osem vzorcev lapornih apnencev in glinovcev. Po strukturi je apnenec mikriten in pogosto vsebuje bogato favno radiolarijev in krinoidnih ploščic. Po faciesu kamnine sklepamo, da so se ti apnenci in glinovci odlagali v globljem in mirnem okolju, kjer so bili redukcijski pogoji. Glinovec vsebuje od 0,16 do 0,27 % C_{org} , apnenec pa od 0,32 do 0,48 % C_{org} , kar ga uvršča na spodnjo mejo matičnosti. Domnevamo lahko, da sta bila v sedimentacijskem okolju zmanjšana biloška aktivnost in prekinjen dotok terigenegega materiala, kar se odraža v nizkem deležu C_{org} . Zelo nizka je v apnencu vsebnost bitumna. Ta se giblje med 100 in 200 ppm, zato teh kamnin zazdaj nismo raziskali z večjim številom vzorcev.

Kreda

Pri načrtovanju naftno geoloških raziskav karbonatnih kamnin Slovenskega Primorja in zahodne Slovenije, smo se najbolj obetavnih rezultatov nadejali pri krednih plasteh, predvsem pri spodnjekrednih temnosivih apnencih in dolomitih ter pri Komenskem in Tomajskem apnencu cenomanijske do senonijske starosti. Zato smo iz krednega zaporedja geokemično raziskali skupaj 102 vzorca apnenca in dolomita (sl. 2).

Polovica raziskanih vzorcev krednih apnencev in dolomitov je spodnjekredne starosti. Odvzeli smo jih na 20 lokalitetah.

Hauterivijske starosti sta okrog 15 metrov debeli paket temnega ploščastega apnenca na Sabotinu in 40 metrov debeli paket črnega ploščastega apnenca z rožencem, ki izdanja ob cesti pri cerkvi v vasi Trnovo na Trnovskem gozdu. Po strukturi je apnenec na Sabotinu biomikrit in biopelmikrit; odlagal se je v zaprtem šelfu z lagunami. Delež organske snovi v petih raziskanih vzorcih se giblje med 0,15 in 0,87 % s srednjo vrednostjo petih vzorcev 0,36 % C_{org} .

Več organske snovi vsebuje apnenec pri Trnovem. Za štiri raziskane vzorce imamo vrednosti C_{org} med 0,42 in 1,08 %. Pirolitske analize kažejo, da ima ta apnenec genetski potencial v mejah od 3,88 do 4,13 mg HC/g kamnine, kar pomeni, da ga uvrščamo med matične kamnine z nizko sposobnostjo generiranja ogljikovodikov. Kerogen je označen kot tip II (mešani sapropelsko-huminski tip) s povečano količino lipidov morskega izvora, zrelost organske snovi, ocenjena na osnovi T_{max} 426 in 427°C pri pirolizi pa je nizka. Glede na relativno visoke vrednosti C_{org} smo pri vzorcih iz Trnovega pričakovali precej višji genetski potencial. Predvidevamo lahko, da je bil delež kerogena zmanjšan pri oksidacijskih procesih, kar je povzročilo zmanjšanje naftne generacijske sposobnosti apnenca. Delež bitumna v dveh raziskanih vzorcih je visok in se giblje med 1770 in 2010 ppm. V njegovi komponentni sestavi prevladujejo asfalteni (40–53 %) nad smolami (18–24 %), delež ogljikovodikov pa je nizek in znaša le 30–36 %. Plinsko-kromatografska analiza je pokazala, da pripada v bitumnu 92 % n-alkanom, izoalkanov pa je 7 %. Razen algnih lipidov sestavljajo organsko snov tudi mikrokroorganizmi (bakterije). Razmerje pristana in fitana (Pr/Ph) je nižje od 1 (0,35 in 0,52), kar kaže na anoksične razmere med sedimentacijo apnenca. Raziskani bitumen je sekundarnega izvora, v začetnem zrelem stadiju spremembe, njegova komponentna sestava pa kaže neke degradacijske značilnosti, kar je razumljivo glede na površinske vzorce.

Barremijsko-aptijske starosti je pet vzorcev iz okrog 10 metrov debelega paketa temnih dolomitiziranih apnencev z lističasto krojitvijo pri Voglarjih na Trnovskem gozdu in osem vzorcev iz okrog 25 metrov debelega zaporedja ploščastega črnega biomikritnega apnenca s tankimi polami laporja na Sabotinu. Vzorci iz Voglarjev vsebujejo 0,29 do 0,54 % C_{org} , ki je terestričnega izvora (ligninsko-huminski detritus z vključki vitrinita).

Za vzorce s Sabotina, ki vsebujejo 0,61 do 0,85 % C_{org} , je značilen zelo nizek naftni potencial. Ta je pogojen z neugodnim, terigenim poreklom organske snovi. Ogljikovi indeksi raziskanih vzorcev so v mejah 171–246 mg HC/g C_{org} in kažejo, da je apnenec dosegel zrelo katagenetsko fazo organske spremembe.

Apnenec vrhnjega dela barremijsko-albijskega zaporedja smo raziskali z dvema profiloma pri Markovščini in Golcu pri Obrovu. Osem vzorcev temnega in ponekod ploščastega biomikritnega apnenca vsebuje 0,42 do 0,56 % organske snovi. Bitumen iz profila pri Markovščini je bil raziskan tudi s komponentno in kromatografsko

analizo. Ekstrakt bitumna kaže povečano vsebnost smolnih (43 %) in asfaltenskih (22 %) komponent. Plinsko-kromatografska analiza je pokazala povečani delež n-alkanov (66 %) in dominacijo ogljikovodikov v molekularnem območju C_{19} – C_{25} . Prisotni bitumen je sekundarnega, migracijskega porekla, komponentna sestava pa kaže na njegovo kasnejšo spremembo.

Temni apneneci, dolomiti in dolomitne breče *albijsko-cenomanijske* starosti sestavljajo na Tržaško-komenski planoti več sto metrov debelo Povirsko formacijo (Jurkovšek et al., 1996). Iz spodnjega dela formacije smo pri Povirju raziskali sivi zrnati dolomit, ki ima duh po bitumnu, dva vzorca pa sta iz temno sivega miliolidnega apnenca Povirske formacije. Dolomit je nastal s kasnodiaogenetsko dolomitizacijo in vsebuje 0,17 do 0,76 % C_{org} . Organska snov je koncentrirana v medzrnskih porah in domnevamo, da je produkt migracije ogljikovodikov med kasnejšo diageneze. Apnenec iz istega paketa, odvzet pri Divači, ima občutno manj organske snovi (0,08 in 0,28 %).

Raziskave temno sivega in črnega laminiranega in stromatolitnega apnenca in ploščatega miliolidnega apnenca, odvzetega ob železniški progi pred predorom med Dutovljami in Vrhovljami, je z organsko snovjo bogatejši. Osem raziskanih vzorcev iz te lokalitete vsebuje med 0,35 in 0,78 % C_{org} , kar je glede vsebnosti organskih snovi na spodnji meji matičnosti za karbonate. Tudi v teh plasteh je neugodna sestava keroгена, saj prevladuje kerogen terestričnega izvora (tip III) z zelo nizkim genetskim potencialom (0,62 mg HC/g kamnine).

V *zgornjem cenomaniju in turoniju* se je na Dinarski karbonatni plošči zahodne Slovenije odlagal večidel debeloplastoviti do masivni rudistni apnenec (rudistne lupine so premeščene), na Tržaško-komenski planoti znan kot Repenska formacija (Jurkovšek et al., 1996). Rudistni apnenec lokalno nadomešča sivi plastoviti in mikritni apnenec s pelagičnimi fosili, ki kažejo na vpliv cenomanijsko-turonijske pelagične epizode. Pet vzorcev, odvzetih severno od Sežane, kaže, da ta mikritni apnenec nima nobenega naftnega potenciala, saj vsebuje le 0,02 do 0,15 % organske snovi.

Z evstatičnim dvigom morske gladine v cenomaniju in turoniju (Haq et al., 1987) je prišlo ponekod na Dinarski karbonatni platformi do nastanka lagun z anoksičnimi razmerami, v katerih so se odlagali črni ploščasti in laminirani apneneci z rožencem, ki so v literaturi poznani kot Komenski apneneci, komenski skrilavec ali celo ribji skrilavec (Buser, 1973; Ogorelec et al., 1987; Jurkovšek et al., 1996; Šribar, 1995). Marsikje na Krasu te plasti vsebujejo dobro ohranjene karbonizirane ribje skelete in številne fosile pelagičnih organizmov. V zadnjem času pogosto omenjajo prav cenomanijsko-turonijski nivo Komenskega apnenca med dokazi za drugi oceanski anoksični dogodek (Jenkyns, 1991; Jurkovšek et al., 1996; Ogorelec et al., 1996; Kolar – Jurkovšek et al., 1996). Zato smo se ugodnih naftno-geoloških rezultatov o organski snovi v karbonatnih kamninah na Krasu nadejali prav pri temno sivih ploščastih in laminiranih apnencih z gomolji roženca. Večidel, okrog 100 metrov debeli paket Komenskega apnenca je razvit v okolici Komna, manjše oziroma tanjše leče podobnega apnenca pa se na južnem delu Tržaško-komenske planote pojavljajo še v spodnjem senoniju (sl. 2), vendar slednjih ne moremo povezati s prej omenjenimi dogodki.

Kljub ugodnemu faciesu in drugim litološkim parametrom pa vsebuje Komenski apnenec iz različnih nivojev relativno malo organske snovi. V desetih preiskanih vzorcih se delež C_{org} giblje med 0,38 in 0,83 %; le v enem vzorcu dosega vsebnost C_{org} 1,74 %, kar sicer nakazuje srednje dobro matičnost. Optične raziskave kažejo, da v

apnencu prevladuje organska snov terestričnega izvora (ligninsko-huminski tip), kar kamnini precej znižuje njeno sposobnost za nastanek ogljikovodikov.

Podobne organsko-kemične parametre, kakor jih ima Komenski apnenec, kaže tudi črni ploščasti apnenec z rožencem, ki je santonijsko-campanijske starosti in se javlja znotraj Lipiške formacije (sl. 2). Poimenovan je kot Tomajski apnenec (Jurkovšek et al., 1996) in izdanja v več tanjših horizontih in lečah na jugovzhodnem delu Tržaško-komenske planote. Raziskali smo ga v železniškem useku pri Dutovljah. Šest raziskanih vzorcev vsebuje 0,32 do 0,73 % C_{org} s srednjo vrednostjo 0,48 %, kar Tomajski apnenec uvršča na spodnjo mejo naftne potencialnosti. V primerjavi s Komenskim apnencem vsebujejo raziskani vzorci Tomajskega apnenca več organske snovi vodnega porekla (alinita), kar je za naftno matičnost kamnine vsekakor ugodnejše.

Apnenec *spodnjesezionijske* starosti (coniacij-santonij) pripada plastovitemu sive-mu biomikritnemu apnencu z redkimi rudistnimi biostromami (Sežanska formacija – Jurkovšek et al., 1996). Lokalno se v tem apnencu pojavljajo vrhnji vložki oziroma paketi črnega Komenskega apnenca, opisanega prej. S 14 vzorci smo apnenec Sežanske formacije raziskali v profilih okrog Sežane in pri Divači.

Raziskani vzorci kažejo zanemarljivo vsebnost organske snovi, kar jih ne uvršča v potencialne matične kamnine za nafto in plin. Njihov delež C_{org} se giblje med 0,04 in 0,29%. Optične analize kerogena kažejo, da je organska snov terestričnega izvora.

Prehodne plasti na meji kreda/paleocen

Prehodne plasti med zgornjo kredo in paleocenom, imenovane tudi Liburnijska formacija (Stache, 1889; Pavlovac, 1963; Jurkovšek et al., 1996), smo raziskali orientacijsko s profili pri Vremskem Britofu, Kozini, Štorjah in Senadolah. Debelina te formacije je na prostoru Tržaško-komenske planote zelo spremenljiva in doseže debelino med 100 in 400 metri. V spodnjem delu formacije, ki je še maastrichtijske starosti, se menjavajo temni biomikritni apnenci s plastmi svetlejšega biosparita z giroplevrmi. Večidel Liburnijske formacije pa gradi temnosiv do črn, večkrat nekoliko lapornat biomikritni apnenec. Ta se je odlagal na plitvem zaprtem šelfu in v lagunah. Emerzijske breče, izsušitvene pore in stromatolitne plasti, ki so najpogostnejše prav na meji med kredo in terciarjem, kažejo na občasne litoralne razmere in cementacijo v vadoznem okolju. Pogostne so tudi inkrustacije karbonatnega sedimenta s *Paroniporo* sp. v vadoznem okolju (Drobne et al., 1988; Jurkovšek et al., 1996; Ogorelec et al., 1995). Med favno prevladujejo miliolide, haraceje, laginofore ter skeletne in neskeletne alge.

Vsebnost organske snovi v 25 raziskanih vzorcih iz Liburnijske formacije je nižja od spodnje meje za matičnost kamnine. Delež C_{org} se giblje med 0,02 in 0,43 % s povprečjem 0,23 % C_{org} . Izjema je le vzorec karbonatnega laminita tik pod plastjo z rapidioninami v Vremskem Britofu, ki vsebuje 0,74 % C_{org} . Kljub povišani vsebnosti organske snovi v tem vzorcu pa je pirolitska analiza pokazala, da laminit nima sposobnosti za generiranje ogljikovodikov. Vsebnost termovaporiziranega ogljikovodika je nizka in kaže na skromno vsebnost bitumna (205 ppm). Mikroskopska analiza kerogena kaže, da tega v enaki meri sestavljata terestrična in amorfna snov, medtem ko je liptinidne komponente le okrog 5 %. Liptinidi kažejo jasno rumeno fluorescenca, medtem ko amorfna komponenta zelo slabo ali celo ne fluorescira. Na podlagi teh analiz lahko sklenemo, da je amorfna snov alohtonega izvora oziroma je rezultat

spremembe terestrične organske snovi. Na pretežno terestrični izvor organske snovi v apnencih Liburnijske formacije nam kažejo tudi tanjše plasti premoga, ki se pojavljajo pri Vremskem Britofu, Lipici, Rodiku in Sečovljah.

Razprava in sklepi

Raziskave so zajele blizu dvesto vzorcev različnih apnencev, dolomitov in karbonatnih skrilavcev iz zahodne Slovenije. Stratigrafsko je zastopano celotno zaporedje od zgornjega perma prek posameznih triasnih formacij do jurskih in krednih plasti. Težišče raziskanega ozemlja je bilo Slovensko Primorje, kjer smo analizirali karbonate šelfnega razvoja, manjši del raziskav pa je zajel tudi globljevodne sedimente Slovenskega jarka. Te smo raziskovali v širši okolici Cerknega.

Dobljeni rezultati o naftni potencialnosti raziskanih kamnin so, kar moramo poudariti, še vedno zelo orientacijski, saj je bil naš namen v tej fazi le, da analiziramo čimveč potencialnih formacij za generiranje ogljikovodikov. V ta namen smo zazdaj raziskali 14 formacij. Podatki predstavljajo le manjši korak naprej glede na dosedanje poznavanje tovrstne problematike. Zavedati se moramo, da vse navidez bituminozne kamnine niso matične za nafto in plin. Ugotavljanje naftne potencialnosti kamnin je namreč zelo kompleksno, odvisno od številnih geokemičnih in drugih sedimentoloških parametrov. Osnovna pogoja za nastanek nafte sta predvsem pravi facies kamnine in stopnja zrelosti organske snovi, iz katere se ob ugodnih fizikalno-kemičnih razmerah ta lahko generira, migrira in akumulira v razne pasti.

Podrobnejši podatki oziroma rezultati organsko-kemičnih, mikroskopskih in facialnih analiz so podani za vsako geološko obdobje in formacijo že med tekstom. Zato tu prikazujemo le osnovne sklepe:

- Zgornjevermski apnenec in dolomit šelfnega razvoja idrijskega prostora (Žažarska formacija) sta bila raziskana s 35 vzorci. Kljub temni barvi je vsebnost C_{org} v njih dokaj skromna (0,08 do 0,62 %), kemične in optične analize bitumna pa kažejo, da ima organska snov pretežno terestrični izvor in visoko termično spremembo ($R_0 = 2,3$ %), ki predstavlja že začetno fazo metageneze.

- Triasne plasti so bile raziskane z 51 vzorci. V povprečju vsebujejo okrog 0,2 % C_{org} . Izjemi sta le črni ladinijski apnenec iz okolice Jagrš (0,2 do 2,7 % C_{org} , povprečno 1,2 %) in karnijske plasti (jul in tuval) iz okolice Drenovega griča in Trebuše (0,14 do 2,51 % C_{org} , povprečno 0,35 %). Vsi ti apnenci imajo tudi neugodno sestavo organske snovi, saj imajo skromen delež bitumna (pod 200 ppm), organska snov pa je tudi tu pretežno terestričnega izvora. Zato triasni karbonati zazdaj za naftno potencialnost niso posebno zanimivi.

- Glede na to, da se je jurski apnenec odlagal na dobro prezračeni, plitvi Dinarski karbonatni plošči, le-tega že po faciesu nismo predvideli kot potencialnega za ogljikovodike. Zato ga tudi nismo raziskali s kemičnimi in optičnimi metodami. Iz spodnjekjurskega obdobja smo raziskali le 8 vzorcev črnega apnenca in karbonatnega skrilavca iz Slovenskega jarka. Rezultati so skromni (0,3 do 0,48 % C_{org} in nizek delež bitumna – pod 200 ppm).

- Največjo pozornost pri raziskavah smo namenili spodnjekrednim temnim apnencem in dolomitom ter zgornjekrednima Komenskemu in Tomajskemu apnencu na Tržaško-komenski planoti. Kredne plasti smo raziskali z 92 vzorci. Kot delno potencialno matično kamnino smo zazdaj izdvojili črni ploščasti apnenec hauterivijske starosti iz Trnovega pri Novi Gorici, ki ima 0,42 do 1,08 % C_{org} in genetski naftni

potencial 3,88 do 4,13 mg HC/g kamnine. Organsko snov v pretežni meri sestavlja alginat.

– Manj obetavni so zazdaj rezultati analize organske snovi Komenskega in Tomajškega apnenca. Kljub temu, da oba kažeta ugoden facies (črni karbonatni laminiti lagunskega razvoja) in nad 0,5 % C_{org} v povprečju, pa je v njih neugodna sestava organske snovi, saj prevladuje terestrična komponenta. Tomajški apnenec vsebuje v primerjavi s Komenskim apnencem vseeno nekoliko več alginata, kar je za naftno potencialnost ugodnejše.

– Apnenec Liburnijske formacije na prehodu zgornje krede in paleocena smo raziskali s 25 vzorci. Kljub navidez ugodnemu faciesu kamnine in njegovi temni barvi je vsebnost organske snovi v apnencu zelo nizka (povprečno 0,23 % C_{org}), skromna pa je tudi vsebnost bitumna (pod 200 ppm). Kerogen v enaki meri sestavljata terestrična in amorfnata snov.

Matičnost karbonatnih kamnin zahodne Slovenije je podoben geološki problem, kakršnega srečujemo na severozahodnem delu Jadransko-dinarske karbonatne platforme, saj je bila jugozahodna Slovenija v celotnem mezozojskem obdobju njen sestavni del. S to problematiko so se na območju Dinaridov intenzivno ukvarjali že Ogulinec (1952), Gjetvaj in sodelavci (1986), Koščec (1972), Grandić (1974), kasneje pa Šebečić (1979, 1980, 1982, 1984, 1988), Šebečić in Ercegović (1983), Barićeva (1971, 1988), Barićeva in sodelavci (1987, 1991), Cota in Barićeva (1997) in drugi.

Med potencialne matične kamnine se v Dinaridih najpogosteje, glede na facies, uvrščajo zgornjekredni oziroma turonijski laminirani apnenci (Jelaska, 1973; Jerinić et al., 1974), zgornjepermski lagunski apnenci in drobnozrnati apnenci šelfnih korit (lemeški razvoj – Grandić, 1974), glede na kemične analize organske snovi pa zgornjekredni apnenci (raziskovalna vrtna na Braču – Jacob et al., 1983) in paleogenski apnenci (raziskave pri Sinju). Gjetvaj in sodelavci (1986) iščejo matične kamnine glede na tektoniko in debelino evaporitnega kompleksa v večjih globinah, in sicer v karbonskih, permskih, srednje- in zgornjetriasnih, zgornjejurskih in zgornjekrednih plasteh. Šebečić (1988) je precej skeptičen za generiranje in akumulacijo nafte v Zunanjih Dinaridih. To utemeljuje s tankimi paketi kerogenih sedimentov mezozojske starosti, ki ne predstavljajo posebno velik naftni potencial, in z debelimi evaporitnimi kompleksi, ki so v povprečju debeli od enega do dva tisoč metrov, največ pa do 3.800 metrov (vrtna Nin-1; Kranjec, 1981). Generiranje nafte v Dinaridih je po Šebečiću (1988) poseben problem tudi zaradi nizkih geotermičnih gradientov v karbonatnih formacijah, kjer ti znašajo le 1–1,7°C/100 m (Horvat et al., 1987). Zato naj bi bile matične kamnine zelo globoko, problem pa naj bi bile tudi večje akumulacije kerogena tipa I in II.

Pojavi matičnih kamnin so ugotovljeni na raznih delih Jadranske karbonatne platforme (Barić, 1971, 1988; Barić et al., 1987, 1991; Cota & Barić, 1977). Kot dobre matične kamnine so izločeni karbonatni paketi spodnje in zgornjekredne starosti iz bazena Dugega otoka. Organska snov je v teh kamninah pretežno morskoga izvora in je v nezrelem do zrelem stadiju termičnih sprememb. V nekaterih vrtnah kažejo znake matičnih kamnin za nastanek ogljikovodikov tudi jurski in triasni sedimenti, čeprav imajo te kamnine zaradi svoje litološke heterogenosti zmanjšan naftni potencial. V zadnjem obdobju se naftno-geološke raziskave Dinarsko-Jadranskega prostora intenzivirajo, predvsem z dodatnimi seizmičnimi meritvami, laboratorijskimi analizami in reinterpretacijami starejših podatkov.

Za slovenski prostor so pomembni podatki globoke vrtnine Ro-1 pri Rovinju. Zanj

je značilno, da je brez sledov ogljikovodikov, čeprav ima ugodno lego na temenu antiklinale istrskega paraavtohtona in je brez evaporitov (Kranjec, 1981).

Razen Jadransko-Dinarske karbonatne plošče so zaradi primerjav slovenskega prostora zanimive tudi naftno-geološke ugotovitve prostora severne Italije (Mattavelli & Novelli, 1990; Pieri & Mattavelli, 1986; Dainelli & Pieri, 1986). Kot matične kamnine za nafto in plin omenjeni navajajo avtorji zgornjepermski Belerofonski apnenec, predvsem pa retijsko-liasne karbonatne skrilavce Južnih Alp, ki so se odlagali v prostranih evksinskih bazenih (formacija Riva di Solto) in laporne apnenice na meji spodnje in zgornje krede. Evksinski bazeni so iz obdobja retija znani tudi iz formacije Glavnega dolomita v Severnih Alpah (Zankl, 1971; Fruth & Scherreiks, 1984). Nafta naj bi po termalni zrelosti nato migrirala v sosednje mezozojske karbonatne kolektorje, vlažni plin in kondenzati pa so v Padski nižini migrirali v terciarne klastične kolektorje (Mattavelli et al., 1983). V vzhodnem delu Padske nižine je na globini pod 3000 metri produktivno naftno polje Cavone, kjer so kolektorske kamnine spodnjekredne apnenčeve in dolomitne breče, kakršne poznamo pri nas na Krasu znotraj Brske in Povirske formacije (Jurkovšek et al., 1996).

Če se po kratki razpravi in primerjavi nekaterih naftno-geoloških podatkov iz Jadransko-Dinarske karbonatne plošče ter bližnjega prostora severne Italije in Južnih Alp vrnemo v slovenski prostor, lahko štejemo med delno potencialne matične kamnine za nastanek ogljikovodikov v zahodni Sloveniji le tanjše pakete spodnjekrednega temnega apnenca. Precej manj so zazdaj ugodni podatki zgornjepermskih in zgornjekrednih apnenecv in dolomitov, medtem ko so jurske in triasne karbonatne kamnine raziskanega prostora za nafto nezanimive.

Zahvala

Avtorji se za strokovno recenzijo in koristne nasvete k tej razpravi prisrčno zahvaljujemo akad. prof. dr. Mariu Pleničarju in uredniku revije prof. dr. Stanku Buserju. Finančno sta raziskave omogočila Nafta Lendava in Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije prek raziskovalnih projektov. Vsem naša iskrena hvala.

Carbonate rocks of west Slovenia as potential sources for hydrocarbons

Introduction

During the past few decades, the oil and gas exploration in Slovenia has been focused on the Neogene strata in the Mura depression located in western part of the Pannonian basin. In this area some minor oil and gas fields were found.

Geological exploration of the Slovenian part of the Dinarides was much slower mainly due to several km thick complex of the Jurassic and Cretaceous beds. Since until present almost no data on organic matter contents in carbonate rocks were available and their potential as source rocks was fairly unknown, a research programme based on a team of Slovenian and Croatian geologists was formed. For the research purposes about 200 samples of limestones, dolomites and shales of different ages ranging from the Upper Permian to Paleogene were investigated. The studied strata are located in the SW part of Slovenia (fig. 1).

According to facies, colour and other lithologic characteristics of potential rocks the Upper Permian limestone and dolomite, Carnian beds and Cretaceous laminated and platy dark colored limestone from the Triest-Komen plateau (figs. 1 and 2) have been chosen for studies. All studied samples were investigated by the bituminous luminiscence and the C_{org} contents was determined. On 38 chosen samples the pyrolysis of organic matter and composition of bitumen have been performed as well the optical analysis of kerogen.

Results

The *Upper Permian limestones* and dolomites have been studied on 35 samples from the Idrija and Žiri region (fig. 1). Their depositional environment was restricted shelf of lagoonal character. The dolomite is mainly of early diagenetic origin (Grad & Ogorelec, 1980; Buser et al., 1986). The analyses indicate that the C_{org} content is relatively low in spite of their dark color and local bituminous odour. The majority of samples contain from 0.08 to 0.62 % of C_{org} and up to 870 ppm of bituminous matter. Optical analysis of kerogen indicates strong predominance of macerals of the vitrinite group. The distribution of C_{15} – C_{37} hydrocarbons with strong predominance of C_{24} indicates terrestrial origin of organic matter. Due to low C_{org} content and kerogen composition, the Upper Permian rocks are not considered potential source rocks for hydrocarbons.

Scythian beds are developed in part clastically and in part as carbonates on the territory of Slovenia. In the uppermost part of the sequence an up to 60 m thick package of dark coloured limestone of lagoonal facies occurs. Three samples of the mentioned limestone were analysed; the C_{org} contents were up to 0.11 %.

Anisian beds were investigated with 6 samples from the profile Babe at Cerkno. The beds are developed as bedded dolomite of lagoonal and intertidal environment. Locally, the dolomite is replaced by a dark biomicritic limestone. The studied samples contain from 0.08–0.30 % of C_{org} , and therefore can not be regarded as potential source rocks for hydrocarbons.

Ladinian beds are diversely developed in west Slovenia due to collapse of the Slovenian platform and the formation of two separated carbonate platforms – Dinar-

ic and Julian, and the Slovenian trough located in-between (Buser, 1989). Carbonate rocks encountered in the trough are accompanied by shales and extrusive rocks.

From the Idria area, 12 samples of dark platy limestone were analysed. According to their structure they belong to micrites with pelagic fauna. The organic matter contents of the investigated samples range from 0.10 to 2.76 % and the average value is of about 1.2 % C_{org} . In spite of favourable C_{org} data, the pyrolysis analyses (high S_3 values) and the composition of macerals (high percentage of the vitrinite matter) the kerogen is of unfavourable composition. The organic matter is only a remain of terrestrial components the limestone was enriched with during sedimentation processes.

Carnian beds were deposited on a carbonate platform as well as in deeper environment of the Slovenian trough. From Drenov grič and surroundings of Trebuša (figs. 1 and 2) 19 samples of dark biomicritic limestone of lagoonal facies were studied. The C_{org} contents of these samples range from 0.14 to 2.51 %, being 0.35 % in average. The limestone is low in soluble bituminous matter (up to 200 ppm), and the organic matter is mainly of terrestrial origin. Very high reflection index ($Ro = 2.2 - 3.2$ %) indicates the attained degree of metagenesis.

In somewhat deeper environment of the Slovenian trough dark limestones and shales (Amphyelina beds) were deposited during the Carnian time. Five investigated samples of this facies type contain 0.07 to 0.32 % of C_{org} , which makes it too low for the limestone to be regarded as potential rock for the hydrocarbons.

Norian-Rhaetian beds of west Slovenia are developed as the Main dolomite and its lateral equivalent the Dachstein limestone, and on the territory of the Slovenian trough as coarse grained Bača dolomite with chert lenses. All above mentioned formations are not very promising for oil exploration due to their light colour and lithology. We have analysed only four samples of the darker stromatolitic dolomite formed in the restricted littoral parts of the carbonate platform (Ogorelec & Rothe, 1993). The C_{org} content in the studied samples ranges from 0.06 to 0.61 %, being 0.15 % on the average, which is too low for the rocks to be regarded as potential oil source rocks.

During the *Jurassic* the limestones of the Dinaric platform were deposited on shallow, mainly open carbonate platform (Buser, 1979; Orehek & Ogorelec, 1980). The Liassic and Dogger successions are characterised by several hundreds metres thick sequence of oolitic and biosparitic limestone. During the Lower Malm, a huge coral reef developed on the territory of Trnovski gozd (Turnšek, 1966; Turnšek et al., 1981). According to the structural types and facial characteristics, the Jurassic limestones of the Dinaric platform can not be regarded as potential source rocks. For this reason they were not geochemically examined during this stage of studies.

As a potential source rock of the Jurassic age black platy limestones and carbonaceous shales from a 150 metres thick package occurring in the Slovenian trough were analysed. These beds contain between 0.16 and 0.48 % of C_{org} (8 investigated samples), similarly low is also the content of bitumen (100–200 ppm).

The most favourable data were expected from *Cretaceous limestones and dolomites*. For this reason 102 rock samples were analysed.

Based on the data obtained, four samples of dark-coloured platy biomicritic limestone of Hauterivian age are very promising. The limestone outcrops in a 40 metres thick sequence in Trnovo near Nova Gorica. The C_{org} content ranges from 0.42 to 1.08 % in the treated samples. The pyrolysis study indicates the rock production index ranges from 3.88 to 4.13 mg HC/g rock ranging them among source rocks with low potential for hydrocarbon generation. Kerogen is a mixture of sapropelic-humine type with increased amounts of lipids of marine origin.

The samples of the *Barremian – Aptian age* from the Komen plateau comprise from 0.29 to 0.78 % of C_{org} , the average being of approx. 0.5 %. According to their structure they belong to dark-colored, commonly platy and locally dolomitised biomicritic limestones. Their depositional environment was restricted shelf of lagoonal character with local and episodic littoral conditions. The samples have unfavourable composition of organic matter as it is chiefly of terrestrial origin with low production index (under 1 mg HC/g rock). The organic matter is concentrated in intercrystalline pore spaces in dolomite of Povirje formation, and we suppose that it is a result of hydrocarbon migration during the late diagenesis.

During the *Upper Cenomanian and Turonian* the majority of thickly bedded to massive rudist limestone was deposited. On the Trieste-Komen plateau, this limestone is known as the Repen Formation (Jurkovšek et al., 1996). With eustatic rise of the sea level locally lagoons with anoxic conditions existed on the platform. These lagoons were the depositional environment of black-coloured and laminated limestones with chert nodules known in the literature as the Komen limestone (Buser, 1973; Ogorelec et al., 1987; Jurkovšek et al., 1996). Beside the benthic fossils numerous pelagic organisms – calcispheres mainly are present indicating episodic interconnections of lagoons with the open sea. They are the only evidence for the second oceanic anoxic event (OAE II - Jenkyns, 1991). In spite of unfavourable facies and other lithologic characteristics the Komen limestone contains relatively small amounts of organic matter. In 10 of the investigated samples, the contents of C_{org} ranges from 0.38 to 0.83 %, and only in one of the samples it amounts to 1.74 % of C_{org} . However, the results of optical investigations are unfavourable due to terrestrial origin of organic matter in this limestone.

Similar parameters based on organic chemistry and facies as obtained for the Komen limestone are also encountered in the black-coloured and platy Tomaj limestone with chert nodules of the *Santonian-Campanian age* (Jurkovšek et al., 1996). Six of the investigated samples contain from 0.32 to 0.73 % of C_{org} , what ranks the Tomaj limestone to the lowermost range of hydrocarbon potential source rocks. In comparison with the Komen limestone it contains more organic matter of marine origin.

Transitional beds encountered on the *Cretaceous/Tertiary boundary* known also as Liburnian formation (Stache, 1889; Pavlovec, 1963; Jurkovšek et al. 1996) were studied in several profiles. On the territory of Karst, the formation attains between 100 and 400 metres of thickness. In the lower part of the formation alternation of dark-coloured biomicritic limestone and light-coloured limestone with gyropleuras and rudists is prevailing. The majority of the formation is of Danian age and consists of dark to black marly limestone. It was deposited in a restricted shelf environment with lagoons. The organic matter contents in 25 studied samples from the Liburnian formation indicates that this limestone is not potential oil source rock. The contents of C_{org} ranges from 0.08 to 0.43 %. Kerogen is composed of equal parts of terrestrial and amorphous matter.

The obtained results for the hydrocarbon genetic potential of the investigated Upper Permian and Mesozoic carbonate rocks of west Slovenia must still be considered only informationally. The analyses encompassed 14 formations each of them being represented with only few samples collected from the surface. Therefore, the obtained data can serve as guideline for future studies of potential oil and gas source rocks in Slovenia.

Literatura

- Barić, G. 1971: Sadržaj i tipovi bitumoida u nekim dinaridskim bušotinama i u bušotini Jadran-1. – *Nafta*, 22/4–5, 322–334, Zagreb.
- Barić, G. 1988: Rezultati geokemijskih ispitivanja stijena Dinarsko-jadranskog područja i rubnih dijelova Panonskog bazena. – *Nafta*, 39/9, 527–535, Zagreb.
- Barić, G., Maričić, M. & Radić, J. 1987: Geochemical characterisation of organic facies in the Dugi Otok Basin, the Adriatic Sea (yugoslavia). – *Advances in Organic Geochemistry*, 13, 1/3 (1988), 343–349, Amsterdam.
- Barić, G. & Tari – Kovačić, V. 1991: Geochemical prospecting of the Adriatic carbonate platform. – 2nd Int. Symp. Adriatic Carbonate Platform, Zadar 1991, Abstract, 29 p. Zagreb.
- Bosellini, A. & Hardie, L. A. 1973: Depositional theme of a marginal marine evaporite. – *Sedimentology*, 20, 5–27, Blackpool.
- Buser, S. 1973: Tolmač lista Gorica, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Zvezni geol. zavod, 50 p. Beograd.
- Buser, S. 1974: Tolmač lista Ribnica, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. – Zvezni geol. zavod, 60 p. Beograd.
- Buser, S. 1979: Jurassic Beds in Slovenia. – 16th Europ. Micropaleont. Colloq., 27–36, Ljubljana.
- Buser, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian basin (NW Yugoslavia). – *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 40 (1987), 313–320, Roma.
- Buser, S., Grad, K., Ogorelec, B., Ramovš, A. & Šribar, L. 1986: Stratigraphical, paleontological and sedimentological characteristics of Upper Permian beds in Slovenia, NW Yugoslavia. – *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 34, 195–210, Roma.
- Buser, S. & Ogorelec, B. 1987: Carnian Amphicline beds – Hudajuzna. – Int. symp. Evolution Karstic carbonate platforms. Guidebook, 13–18, Trieste.
- Cati, A., Fichera, R. & Cappelli, V. 1989a: Northeastern Italy. Integrated processing of geophysical and geological data. – *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 34, 273–288, Roma.
- Cati, A., Sartorio, D. & Venturini, S. 1989b: Carbonate platforms in the subsurface of the Northern Adriatic area. – *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 34, 295–308, Roma.
- Cota, L. & Barić, G. 1997: Petroleum potential of the Adriatic offshore, Croatia. – 18th Int. Meet. Organic Geochemistry, Maastricht 1977 (in press).
- Dainelli, L. & Pieri, M. 1986: The evolution of petroleum exploration in Italy. – *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 31, 243–254, Roma.
- Demailson, G. J. & Moore, G. T. 1980: Anoxic environments and oil source bed genesis. – *AAPG Bull.*, 64/8, 1179–1209, Tulsa.
- Dow, W. G. 1977: Kerogene studies and geological interpretations. – *Jour. Geochem. Explor.*, 7, 79–99, Amsterdam.
- Drobne, K., Ogorelec, B., Pleničar, M., Zucchi – Stolf, M. L. & Turnšek, D. 1988: Maastrichtian, Danian and Thanetian Beds in Dolenja vas (NW Dinarides, Yugoslavia). Microfacies, Foraminifers, Rudists and Corals. – *Razprave 4. razr. SAZU*, 29, 147–224, Ljubljana.
- Espitalié, J., Laporte, J. L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P., Paulet, J. & Bouteffeu, A. 1977: Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. – *Rev. Inst. Fr. Pétrol.*, 32, 23–42, Paris.
- Fruth, I. & Scherreiks, R. 1984: Hauptdolomit – Sedimentary and Paleogeographic Models (Norian, Northern Calcareous Alps). – *Geol. Rundschau*, 73/1, 305–319, Stuttgart.
- Gjetvaj, I., Martinec, R., Vlašić, B. & Batušić, V. 1986: Problematika i perspektive na istražnim područjima INA-Naftaplina. – *Nafta*, 37/7–8, 343–352, Zagreb.
- Grad, K. & Ogorelec, B. 1980: Zgornjepermske, skitske in anizične kamenine na žirovskem ozemlju. – *Geologija*, 23/2, 189–220, Ljubljana.
- Grandić, S. 1974: Neke naftogeološke karakteristike naslaga. – 1. godišnji znanstveni skup Sekcije za primjenu geologije, geofizike in geokemije, Opatija, 5–14, Zagreb.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. & Vail, P. R. 1987: Chronology of fluctuating Sea Levels since the Triassic. – *Science*, 235, 1156–1167, Washington.
- Horvat, K., Vlašić, B., Putniković, A. & Frank, G. 1987: Pregled rezultata i pravci budućih istražnih radova INA-Naftaplina. – *Nafta*, 38/11–12, 613–616, Zagreb.
- Jacob, H., Jenko, K. & Spaić, V. 1983: O disperznim, čvrstim do polučvrstim, prirodnim naftnim bitumenima Jadranskog obalnog područja (vanjski Dinaridi) Jugoslavije. – *Nafta*, 34, 693–, Zagreb.
- Jelaska, V. 1973: Paleogeografska i naftogeološka razmatranja zapadnog dijela karbonatnog šelfa Dinarida. – *Geol. vjesnik*, 25, 57–64, Zagreb.
- Jenkyns, H. C. 1991: Impact of Cretaceous Sea Level Rise and Anoxic Events on the Mesozoic Carbonate Platform of Yugoslavia. – *AAPG Bull.*, 75/6, 1007–1017, Tulsa.

Jerinić, G., Jelaska, V. & Alajbeg, A. 1974: Upper Cretaceous Organic-Rich Laminated Limestones of the Ariatic Carbonate Platform, Island of Hvar, Croatia. – AAPG Bull., 78/8, 1313–1321, Tulsa.

Jurkovšek, B., Toman, M., Ogorelec, B., Šribar, L., Drobne, K., Poljak, M. & Šribar, Lj. 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote 1:50.000 – Kredne in paleogenske karbonatne kamnine. – Geološki zavod Ljubljana, 143 p, Ljubljana.

Kochansky – Devidé, V. 1965: Karbonske i permske fuzulinidne foraminifere Velebita i Like. Srednji i gornji perm. – Acta geol., 5, 101–137, Zagreb.

Kochansky – Devidé, V. 1979: Brušane, Velebit Mt. – Permian Excursion D. – 16th Europ. Micropaleontol. Colloq., 163–170, Ljubljana.

Kolar – Jurkovšek, T. 1990: Smithian (Lower Triassic) conodonts from Slovenia, NW Yugoslavia. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 9, 536–546, Stuttgart.

Kolar – Jurkovšek, T., Jurkovšek, B. & Summesberger, H. 1996: Reflection of the two pelagic episodes in the macrofossil association of the Komen and Tomaj Limestones of the Trieste-Komen plateau, Slovenia. – In: Drobne, K., Goričan, Š. & Kotnik, B. (eds.) – The role of impact processes in the geological and biological evolution of the planet Earth. – Int. workshop Postojna '96, 41–43, Ljubljana.

Košćec, B. 1972: Površinske pojave ugljikovodika u zoni Vanjskih Dinarida i na morskom dnu sjevernog Jadrana. – Simpozij o istraživanju ležišta nafte i plina na Jadranu i u zoni Vanjskih Dinarida, 148–155, Zagreb.

Kranjec, V. 1981: Neke značajke naftoplinonosti naslaga i moguća daljnja nalazišta ugljikovodika u predjelima Vanjskih Dinarida i jadranskog podmorja. – Pomorski zbornik, 19, 385–412, Rijeka.

Mattavelli, L. & Novelli, L. 1990: Geochemistry and habitat of the oils in Italy. – AAPG Bull., 74/10, 1623–1639, Tulsa.

Mattavelli, L., Ricchiuti, T., Grignani, D. & Schoell, M. 1983: Geochemistry and Habitat of Natural Gases in Po Basin, Northern Italy. – AAPG Bull., 67/12, 2239–2254, Tulsa.

Moorens, T. L. 1991: Depositional environments of organic-rich sediments and the recognition of the different types of source rocks. – Zbl. Geol. Paläont., I/8, 1973–1089, Stuttgart.

Muftić, M. & Behilović, S. 1968: Bituminozne stijene Hercegovine. – Geološki glasnik, 12, 231–259, Sarajevo.

Ogorelec, B., Orehek, S., Buser, S. & Pleničar, M. 1987: Komen Beds – Skopo at Dutovlje. – Int. Symp. Evol. Karstic Carb. Platforms, Guidebook, 61–66, Trieste.

Ogorelec, B. & Rothe, P. 1992: Mikrofazien, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien. – Geologija, 35, 81–181, Ljubljana.

Ogorelec, B., Dolenc, T., Cucchi, F., Giacomich, R., Drobne, K. & Pugliese, N. 1995: Sedimentological and Geochemical Characteristics of Carbonate Rocks from the K/T Boundary to Lower Eocene in the Karst Area (NW Adriatic Platform). – 1. Hrv. geol. kongres, Opatija, Zbornik radova 2, 415–421, Zagreb.

Ogorelec, B., Jurkovšek, B. & Šribar, L. 1996: Škrbina (Komen limestone) – the first pelagic episode (Cenomanian – Turonian transgression). In: Drobne, K., Goričan, Š. & Kotnik, B. (eds.) – The role of impact processes in the geological and biological evolution of the planet Earth. – Int. workshop Postojna '96, 183–188, Ljubljana.

Orehek, S. & Ogorelec, B. 1980: Korelacija mikrofacijskih i geokemijskih značajnosti jurskih i krednih kamenin južne karbonatne platforme Slovenije. – Zav. geol. i geof. istraž., Vestnik, A 38/39, 171–185, Beograd.

Ogulinec, J. 1952: Problematika naftne geologije u Jugoslaviji. – Nafta, 2, 37–42, Zagreb.

Pavlovac, R. 1963: Stratigrafski razvoj starejšega paleogena v južnozahodni Sloveniji. – Razprave 4. razr. SAZU, 7, 421–556, Ljubljana.

Pieri, M. & Mattavelli, L. 1986: Geological Framework of Italian Petroleum Resources. AAPG Bull., 70/2, 103–130, Tulsa.

Pleničar, M. 1970: Tolmač lista Postojna, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. – Zvezni geol. zavod, 62 p., Beograd.

Pleničar, M. & Pavlovac, R. 1984: Facijalni razvoji nekaterih mezozojskih i kenozojskih kamnin Slovenije. – Nafta, 35/1, 5–10, Zagreb.

Pleničar, M. & Premru, U. 1975: Facijalne karakteristike sjeverozapadnih Dinarida. – 2. skup. Znanst. savjeta za naftu, JAZU, 47–54, Zagreb.

Sartorio, D., Tunis, G. & Venturini, S. 1987: Nuovi contributi per l'interpretazione geologica e paleogeografica delle Prealpi Giulie (Friuli orientale): il pozzo SPAN 1. – Riv. It. Paleont. Strat., 93/2, 181–200, Milano.

Sremac, J. 1991: Zona Neoschwagerina craticulifera u Srednjem Velebitu. – Geologija, 34, 7–55, Ljubljana.

Stache, G. 1889: Die Liburnische Stufe und deren Grenz-horizonte. – Abh. k. k. geol.

Reichanstr., 13/1, 1–170, Wien.

Šebečić, B. 1979: Bituminozne pojave Dinarida. – *Nafta*, 30/2, 55–62, Zagreb.

Šebečić, B. 1980: Problemi migracije i akumulacije ugljikovodika i naftno-geološke osobine karbonatnih naslaga Dinarida (Hipotetski trendovi migracije ugljikovodika). – *Nafta*, 31/2, 59–71, Zagreb.

Šebečić, B. 1982: O naftnomatičnom potencijalu i pokušaju njegove procjene iz kemijskih analiza bituminoznih stijena vanjskih Dinarida. – *Nafta*, 33/10, 537–544, Zagreb.

Šebečić, B. 1984: Bituminozne pojave Vinišća kod Trogira. – *Geol. vjesnik*, 37, 175–196, Zagreb.

Šebečić, B. 1988: O problematiki otkrivanja matičnih stijena u nas. – *Nafta*, 39/10, 547–559, Zagreb.

Šebečić, B. & Ercegović, M. 1983: Prilog poznavanju stupnja zrelosti kerogena nekih bituminoznih karbonatnih naslaga vanjskih Dinarida. – *Nafta*, 34/4–5, 183–188, Zagreb.

Šribar, L. 1995: Evolucija gornjokredne Jadransko-dinarske karbonatne platforme u jugozapadnoj Sloveniji. – Magistrski rad, Sveučilište u Zagrebu, 89 p.

Tissot, B. P. 1984: Recent Advances in Petroleum Geochemistry Applied to Hydrocarbon Exploration. – *AAPG Bull.*, 68/5, 545–563, Tulsa.

Tissot, B. P., Durand, B., Espitalié, J. & Combaz, A. 1974: Influence of nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. – *AAPG Bull.*, 58/3, 499–506, Tulsa.

Tissot, B. P. & Welte, F. C. 1984: *Petroleum Formation and Occurrence*. – Springer Verl., 669 p, Berlin.

Turnšek, D. 1966: Zgornjejurska hidrozojska favna iz južne Slovenije. – *Razprave 4. razr. SAZU*, 9, 335–428, Ljubljana.

Turnšek, D., Buser, S. & Ogorelec, B. 1981: An Upper Jurassic Reef Complex from Slovenia, Yugoslavia. – *SEPM Spec. Publ.*, 30, 361–369, Tulsa.

Zankl, H. 1971: Upper Triassic Carbonate Facies in the Northern Limestone Alps. – In: Müller, G. (ed.) – *Sedimentology of parts of Central Europe*. – 7th Int. Sedim. Congr. Heidelberg, Guidebook, 147–186, Frankfurt/M.