

UDK 551.78:553.98(497.12)=863

Poizkus iskanja organskih parametrov terciarnih sedimentnih kamenin v vzhodni Sloveniji

Search for organic parameters of the Tertiary sedimentary rocks in the eastern Slovenia. An attempt

Bogomir Jelen

Geološki zavod Ljubljana, Parmova 37, 61000 Ljubljana

Kratka vsebina

V letih od 1981 do 1983 napravljeni poizkus raziskave o nastanku in pojavljanju nafte in zemeljskega plina v vzhodni Sloveniji ni uspel zaradi številnih težav. Zato članek prinaša le nekatere rezultate optične in kemične analize organske snovi in mineraloške analize kamenine. Pokazale so, da je organska snov v spodnjemiocenskih plasteh, kjer je geotermična stopnja visoka, že na metagenetski stopnji pretvorbe. Zunaj območja visoke geotermične stopnje je organska snov zgornjeoligocenskih plasti na prehodu iz diagenoze v katagenozo. Tudi ostali organski parametri kažejo, da so lahko bile spodnjemiocenske plasti v severovzhodni Sloveniji matična kamenina.

Abstract

The study of the formation and occurrence of oil and gas in eastern Slovenia was undertaken during the years 1981 to 1983. The attempt was not successful due to many difficulties. Results of optical, chemical, and mineralogical analysis carried out on well core samples are presented. It appears that the organic matter from the Lower Miocene sedimentary rocks is at the outset of the metagenesis in the parts where geothermal gradient is high. Other organic parameters indicate that the Lower Miocene beds in north-eastern Slovenia can be reasonably considered as a possible source rock.

Uvod

V vzhodni Sloveniji so ležišča in pojavi nafte ter zemeljskega plina. Pridobivanje in iskanje novih ležišč teče tam že nekaj desetletij. Vse dosedanje raziskave pa niso bile zasnovane na temeljnih poznavanjih izvora, razmer nastajanja in migriranja ogljikovodikov. Ne poznamo tudi možnosti za nastanek nafte in zemeljskega plina drugod po Sloveniji. Hiter razvoj instrumentalnih analiznih metod po šestdesetem letu je pripeljal do novih pogledov, ki niso bili upoštevani v raziskavah na nafto in zemeljski plin v Sloveniji in tudi ne

v Jugoslaviji. Rezultat novih pogledov je organsko geokemični in geološki model takšnih raziskav, po zgledu katerega sem načrtoval raziskavo. Nameraval sem z instrumentarno analizo in geološko-temporurno-časovnim modelom začeti ocenjevati možnosti nastanka fosilnih ogljikovodikov v Sloveniji. Z raziskovanjem sem prišel tam, kjer so že ležišča in pojavi fosilnih ogljikovodikov. V letih od 1981 do 1983 sem v okviru usmerjenega raziskovalnega programa Nafta, plin in termalne vode izvedel začetne poizkusne določitve organskih parametrov sedimentnih kamenin v vzhodni Sloveniji. Analizne metode sem izbral glede na raziskovalne možnosti in razpoložljiva finančna sredstva. Številne težave, nakopičene predvsem okoli pridobivanja vzorcev in instrumentarnih analiz, so me vodile h kasnejši odločitvi, da s takšno raziskavo preneham. Zato članek samo obvešča o poskusu takšne raziskave in o nekaj dobljenih rezultatih.

Načrtovanje raziskave in metodika dela

Izhodišče modela za iskanje možnosti za nastanek fosilnih ogljikovodikov, ki sem ga nameraval uporabiti, je ugotavljanje treh med seboj neodvisnih organskih parametrov kamenin: 1. količine organske snovi, 2. kvalitete organske snovi in 3. zrelosti organske snovi. Kvaliteta organske snovi (tip kerogena), ki je odvisna od biokemične zgradbe izhodne organske snovi, določa genetični potencial organske snovi in tipe ter relativne količine iz nje nastalih ogljikovodikov. Količina organske snovi (TOC — skupni — totalni organski ogljik) določi genetični potencial kamenine in pove, ali je lahko nastala zadostna količina ogljikovodikov, potrebna za migracijo. Zrelost organske snovi (dosežena faza ireverzibilne kemične pretvorbe organske snovi, ki je odvisna od temperature in časa) pove, v kateri fazi je nastajanje ogljikovodikov, katere faze so že potekle in kakšen je delež v prejšnjih fazah nastalih ogljikovodikov. Ne pove pa, v katerem geološkem času so posamezne faze potekale. Vsi trije parametri naj bi se prikazali v obliki loga (zapisa sprememb z globino), kajti posamezni vzorci so nezanesljivi pokazatelji tendence porazdelitve vrednosti parametrov. Ko so dosežene določene vrednosti parametrov, so izpolnjeni trije pogoji za matično kamenino. Četrty pogoj, iztisljivost nastalih ogljikovodikov, še ni merljiv.

Sledi faza raziskave, ko moremo določiti položaj matične kamenine v geološkem modelu. V tej fazi je zelo pomembno pravilo poznavanje litostratigrafije in kronostratigrafije. Kronostratigrafija se običajno postavi po biokronologiji.

Zatem se v geološki model vrišejo izolinije zrelosti, izračunane iz matematičnega odnosa med kinematiko kemične pretvorbe organske snovi, temperature in časom. Izolinije zrelosti na geološkem modelu določajo čas in kraj nastanka ogljikovodikov ter posredno migracijske in kolektorske razmere v okolici.

Druga in tretja faza tega modela raziskave temeljita na nekaterih predpostavkah omenjenega odnosa in geološkega modela. Zato je približnost tega, v praksi potrjenega modela raziskovanja, tem manjša, čim bolj se geološki in matematični model približujeta ničelni hipotezi.

Za določitvev organskih parametrov kamenine je na razpolago veliko število instrumentarnih analiz. Glede na raziskovalne in finančne zmožnosti sem raziskavo omejil na fizikalno-kemično analizo kerogena. V času raziskovanja do-

segljive analize metode so izbrane tako, da so za ocenitev potencialnosti kame-nine za nastanek ogljikovodikov potrebni parametri po možnosti kontrolirani vsaj po enkrat (tab. 1). Določitev TOC in atomskega razmerja H/C ter O/C je bila napravljena na Kemijsko tehnološkem sektorju REK E. Kardelja v Trbovljah. Masnospektrometrično analizo ^{13}C in ^{12}C so opravili na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani. Merjenje odsevne sposobnosti huminita in vitrinita ter mikroskopiranje v odsevni svetlobi sem izvedel na Odseku za geologijo, FNT, Univerza E. Kardelja v Ljubljani. Raziskavo organskega faciesa v presewni svetlobi sem opravil na Geološkem zavodu v Ljubljani. Indeks kristaliničnosti illita je bil prav tako izmerjen na Geološkem zavodu Ljubljana.

Pri analizah, ki sem jih sam izvedel, sem se držal pogojev merjenja in do-ločitev, ki jih priporočajo Stach et al. (1975) in Staplin (1969). Električna napetost v merilnem delu instrumentiranja za merjenje odsevne sposobnosti

Tabela 1. Uporabljene analizne metode za ocenitev količine, kvalitete in zrelosti kerogena

Table 1. Applied analytical methods for kerogen characterization

Analiza Analysis Ocenitev Estimation	TOC	H/C, O/C	$\delta^{13}\text{C}$	Organski facies Organic facies	R_o	SCI	IK
Količina Quantity	○						
Kvaliteta Quality		○	○	○			
Zrelost Maturity		○			○	○	○

Uspešnost ocenitve: ○ zelo dobra excellent ○ dobra fair ○ slaba low
Efficiency:

TOC Skupni - totalni organski ogljik - Total organic carbon

H/C Atomsko razmerje med vodikom in ogljikom - Atomic ratio

O/C Atomsko razmerje med kisikom in ogljikom - Atomic ratio

$\delta^{13}\text{C}$ Izotopska sestava $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ glede na PDB standard v ‰ - The carbon isotopic composition $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of kerogen versus PDB standard (in ‰)

Organski facies: Organska snov glede na njeno sestavo določeno v presewni in odsevni svetlobi mikroskopa

R_o Odsevna sposobnost huminita oziroma vitrinita v imerzijskem olju v %
- Huminite and vitrinite reflectance in oil (in %)

SCI Stopnja zrelosti organske snovi določena po barvi spor in peloda. Skala po Robertson Research geochemistry laboratories - Spore coloration index according to Robertson Research geochemistry laboratories

IK Indeks kristaliničnosti illita - Illite crystallinity index

organskih klastov oziroma maceralov premoga med merjenjem ni bila zadovoljivo stabilizirana, zato so izračunane R_o vrednosti huminita in vitrinita približne (R_o — odsevna sposobnost organskih klastov in maceratov premoga v imerzijskem olju v odstotkih).

Zaradi zahtev raziskave sem vztrajal pri analiziranju jeder vrtin. Prizadeval sem si za izdelavo logov, pa čeprav s postopnim dopolnjevanjem. Uspelo mi je zagotoviti si vzorce iz petišovskega naftno-plinskega polja v vrtini 2 od globine 2868 do 3148 metrov in iz globin 117 ter 315 metrov nad njim v vrtini 1. Vrzal med 315. in 2868. metrom sem poskušal zapolniti z vzorci jedra vrtine 3 med 700 in 875 metri. Ker je bila vrtina 3 izvrtana na soboškem masivu, sem spremenil geološke pogoje merjenja zrelosti organske snovi. Še dostopni deli jedra vrtine 4 so omogočili raziskavo kamenine spodnjemiocenske starosti (R i j a v e c , 1976), za katero P l e n i č a r (1973) misli, da je matična za ogljikovodike severovzhodne Slovenije. Zunaj območja pojavljanja ogljikovodikov v severovzhodni Sloveniji sem za raziskavo iskal prevrtane starejše terciarne plasti. Zanimala me je predvsem zrelost organske snovi nad andezitnimi vulkanskimi izlivmi.

Podatki o vrtinah in vzorcih za raziskavo

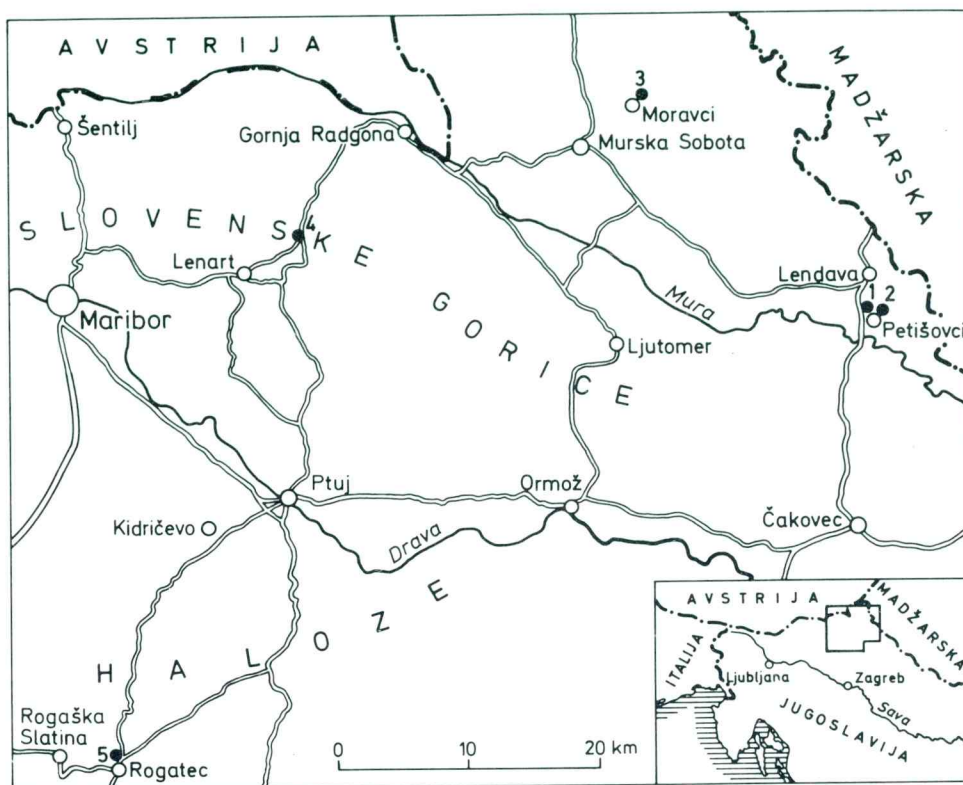
Mesta vrtanja vrtin kaže slika 1. Statigrafski položaj vzorcev in njihove današnje globine so prikazani na slikah 2 in 3.

Vrtina 1 (Petišovci premog — 1/81). Vrtina je bila izvrtana nad petišovskim naftno-plinskim poljem. Končno globino 450 m je dosegla v zgornjepontijskih plasteh (podatka sta iz rokopisnih poročil inž. K. G r a d a in inž. Ž. Š k e r l j). Vzorci za raziskavo:

Vrtina/vzorec	Globina	Kamenina	Starost
1/1	117,40 m	lignit	pliocen
1/2	315,0 m	lignit	zgornji pontij

Vrtina 2 (Petišovci gas — 6/81). Vrtina je bila izvrtana v petišovsko naftno-plinsko polje. Ustavili so jo v členu čentiba murskosoboške formacije na globini 3200 m. Začetek člena čentiba je na globini 2002 m (podatki iz rokopisnega poročila inž. B. V r b a n o v c a in inž. J. N o v a k a). Za vzorčevanje sem imel na razpolago jedra vrtine od globine 2868 do 3148 metrov. Vzorci za raziskavo:

Vrtina/vzorec	Globina	Kamenina	Barva	Starost
2/1	2868,0 m	peščeni lapor	temno siva	srednji do spodnji miocen
2/2	2876,20 m	lapor	temno siva	srednji do spodnji miocen
2/3	3147,90 m	lapornati pešč.	temno siva	srednji do spodnji miocen



Sl. 1. Položajna skica vrtin z raziskanimi vzorci

Fig. 1. Sites of the wells studied

Vrtina 3 (Moravske Toplice — 6 82). Vrtina je bila izvrtana na soboškem masivu. Dosegla je globino 907,0 m. Jedrovali so med 730,0 in 902,0 metra. Jedrovani del vrtine je pontijske starosti (podatki so iz rokopisnih poročil dr. L. Žlebnika in inž. Ž. Škerlj). Vzorci za raziskavo:

Vrtina vzorec	Globina	Kamenina	Barva	Starost
3/1	740,50 m	glina	siva	pontij
3/2	782,70 m	lignit	siva	pontij
3/3	804,30 m	organska glina	črna	pontij
3/4	875,30 m	lapor	svetlo siva	pontij

Vrtina 4 (Benedikt — 2 74 (76)). Vrtina je prevrtala spodnjesarmatijske, badenijske in karpatijske plasti. V plasti otnangijske starosti so zavrtali približno na globini 266 m. Na 757. metru pa so zavrtali v metamorfno podlago terciarnim plastem (Novak, 1977, Rijavec, 1976). Za vzorčevanje so bili dostopni ostanki jedra med 533. in 724. metrom. Vzorci za raziskavo:

Vrtina Starost Age		5	4	2	1	3
KVAR- TAR						
PLIOCEN	DACIJ					
	PONTIJ				●	●
	PANONIJ					
	SARMATIJ					
	BADENIJ					
	KARPATIJ					
	OTTNANGIJ		●	●		
	EGGEN- BURGIJ					
OLIGO- CEN	EGERIJ	●				

Sl. 2. Stratigrafski položaj raziskanih vzorcev

Fig. 2. Stratigraphic horizons studied

Vrtina Globina Depth (in m)		5	4	2	1	3
100	●				●	
200	●					
300	●				●	
400	●					
500			●			
600						
700			●			●
800						●
2800				●		
2900				●		
3000						
3100				●		
3200						

Sl. 3. Današnje globine raziskanih vzorcev

Fig. 3. Present-day depth of the studied core samples

Vrtina/vzorec	Globina	Kamenina	Barva	Starost
4/1	533,0 m	muljevec	temno siva	ottnangij
4/2	718,50 m	meljasti lapor	temno siva	ottnangij
4/3	724,0 m	meljasti lapor	temno siva	ottnangij

Vrtina 5 (Rogatec — 1/79). Vrtina leži zunaj območja pojavljanja ogljikovodikov v severovzhodni Sloveniji. Zavrtala je v temno sivi peščeni glinasti lapor zgornjeoligocenske starosti. Na globini 616,0 m je dosegla andezit in se v njem ustavila na globini 660,20 m. Bituminološko-luminiscentna analiza laporja je pokazala povišane vrednosti bitumnov smolastega in oljno-smolastega tipa (podatki iz rokopišnih poročil inž. K. Grada, dr. L. Rijavec in dr. J. Pavšiča). Vzorci za raziskavo:

Vrtina/vzorec	Globina	Kamenina	Barva	Starost
5/1	80,0 — 91,0 m (kompozit. vz.)	peščeni glin. lapor	temno siva	zgornji oligocen
5/2	190,0 m	peščeni glin. lapor	temno siva	zgornji oligocen
5/3	300,0 m	peščeni glin. lapor	temno siva	zgornji oligocen
5/4	440,0 m	peščeni glin. lapor	temno siva	zgornji oligocen

Ocenitev organskih parametrov in možnosti za nastanek ogljikovodikov

Rezultati analiz so prikazani v tab. 2 do 6 in na sl. 4.

Pretvorba organske snovi pontijskega stratigrafskega nivoja v vrtini 1 in 3 je na stopnji srednje diageneze. V tej fazi kemične pretvorbe nastajajo diagenetski plin CH_4 in CO_2 ter heteroatomski bitumni. Za nastajanje ogljikovodikov je organska snov na diagenetski stopnji pretvorbe nedozorela (tab. 7, sl. 4). Z vrednostmi R_0 je določen rang premogu pontijskega stratigrafskega nivoja. Premog v vrtini 1 lahko po DIN standardu uvrstimo v prehod med mehkim in trdim premogom, v vrtini 3 pa v temni trdi rjavi premog. Z ozirom na globino in lego na soboškem masivu pretvorba organske snovi v vrtini 3 ni dosti napredovala glede na pretvorbo v vrtini 1.

V petišovskem naftno-plinskem polju je pretvorba organske snovi na globini od 2868,0 do 3147,90 metra dosegla srednjo katagenetsko stopnjo, ki je optimalna za nastanek tekočih ogljikovodikov (tab. 7, sl. 4). Na globini 3147,90 m se že približa fazi lomljenja ogljikovih verig nastalih tekočih ogljikovodikov. Koliko časa so te plasti v optimalni fazi nastajanja tekočih ogljikovodikov, bi pokazal geološko-temperaturno-časovni model. Organska snov nižje ležečih plasti, globine ne poznamo, je torej že prešla optimalno fazo nastajanja tekočih ogljikovodikov in je v optimalni fazi nastajanja »mokrega« plina, še nižje pa suhega plina (CH_4 , CO_2 , H_2S in N_2). V vrtini 4 je dosežena takšna zrelost organske snovi. V vzorcih ugotovljeni organski facies ima majhen genetični potencial za nastanek ogljikovodikov. Med pretvorbo odda največ CH_4 in CO_2 ter nekaj aromatične nafte, katere količina je odvisna od deleža mikroorganizmov.

Tabela 2. Rezultati analiz vzorcev jedra vrtine 1 pri Petišovcih
Table 2. Source-rock data of core samples from the 1st well near Lendava (Petišovci)

Vrtina/Vzorec Well/Core sample	Globina Depth	Kamenina Rock	R _o	SCI
1/1	117,40 m	lignit lignite	0,25 0,1 0,1 0,5	2
1/2	315,0 m	lignit lignite	0,34 0,05 0,3 0,5	2-3

$\bar{R}_o$	s	$\bar{R}_o$	Povprečna vrednost 100 meritev Mean value of 100 measurements
$R_o \text{ min.}$	$R_o \text{ max.}$	s	Standardni odklon Standard deviation
$R_o \text{ min.}$		$R_o \text{ min.}$	Najnižja izmerjena vrednost
$R_o \text{ max.}$		$R_o \text{ max.}$	Najvišja izmerjena vrednost

Razlaga ostalih znakov je pri tabeli 1
For further explanation see table 1

Tabela 3. Rezultati analiz jedra vrtine 2 pri Petišovcih
Table 3. Source-rock data of core samples from the 2nd well near Lendava (Petišovci)

Vrtina/Vzorec Well/Core sample	Globina Depth	Kamenina Rock	TOC	Organski facies Organic facies	R _o
2/1	2868,0 m	peščeni lapor sandy marl	1,41	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic	0,94 0,1 0,6 1,3
2/2	2876,20 m	lapor marl	1,48	amorfen amorf	
2/3	3147,90 m	lapornati peščenjak marly sandstone	1,32	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic	0,99 0,1 0,7 1,3

Razlaga znakov pri tabelah 1 in 2
For explanation see table 1 and 2

Tabela 4. Rezultati analiz vzorcev jeder vrtine 3 pri Moravcih
Table 4. Source-rock data of core samples from the 3th well near Murska Sobota (Moravci)

Vrtina/Vzorec Well/Core sample	Globina Depth	Kamenina Rock	Organski facies Organic facies	H/C	O/L	R _o	SCI
3/1	740,50 m	glina clay	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic ~5 % sporinita sporinite cca 5 %	1,19	0,28	-	2-3
3/2	782,70 m	lignit lignite	premog coal	0,97	0,30	$\frac{0,29}{0,22} \frac{0,02}{0,32}$	2-3
3/3	804,30 m	organska glina organic clay	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic do ~5 % sporinita sporinite up to cca 5 %	1,16	0,27	-	2-3
3/4	875,30 m	lapor marl	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic do ~5% sporinita sporinite up to cca 5 %	1,10	0,25	$\frac{0,39}{0,28} \frac{0,08}{0,51}$	2-3

Razlaga znakov pri tabelah 1 in 2
For explanation see table 1 and 2

Tabela 5. Rezultati analiz vzorcev jeder vrtine 4 pri Benediktu v Slovenskih goricah
 Table 5. Source-rock data of core samples from the 4th well near Benedikt in Slovenske gorice

Vrtina/Vzorec Well/Core sample	Globina Depth	Kamenina Rock	TOC	Organski facies Organic facies	H/C	O/C	$\delta^{13}\text{C}$	R_o	SCI	IK
4/1	533,0 m	muljevec mudstone	3,10	amorfni do semiamorfni amorphons to semiamorphons	0,40	0,06	-20,57	$\frac{2,20}{2,10} \frac{0,06}{2,25}$	-	-
4/2	718,50 m	meljasti lapor silty marl	3,20	amorfni do semiamorfni amorphons to semiamorphons	-	-	-	-	-	-
4/3	724,0 m	meljasti lapor silty marl	3,06	amorfni do semiamorfni amorphons to semiamorphons	0,40	0,05	-20,45	$\frac{2,66}{2,53} \frac{0,05}{2,69}$	-	5

Razlaga znakov pri tabeli 1 in 2

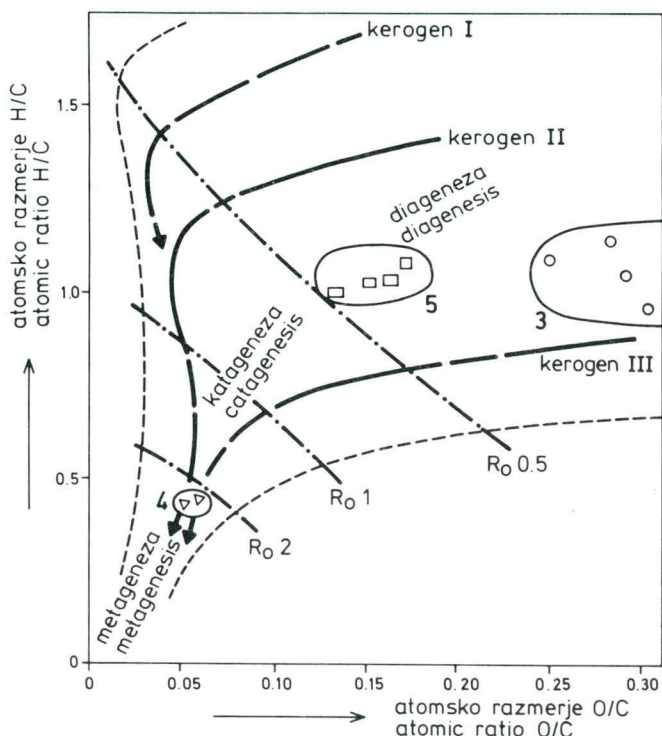
For explanation see table 1 and 2

Tabela 6. Rezultati analiz vzorcev jeder vrtine 5 pri Rogatcu
 Table 6. Source-rock data of core samples from the 5th well near Rogatec

Vrtina/Vzorec Well/Core sample	Globina Depth	Kamenina Rock	TOC	Organski facies Organic facies	H/C	O/C	$\delta^{13}C$	R_o	SCI	IK
5/1	80,0-99,0 m composit sample	peščeni glinasti lapor sandy clayey marl	1,48	strukturirani ligninsko-humisni structured ligno-humic do ~10 % eksinita exinite up to cca 10 %	1,10	0,17	-	-	3-4	7
5/2	190,0 m	peščeni glinasti lapor sandy clayey marl	1,52	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic <10 % eksinita exinite <10 %	1,05	0,16	-	$\frac{0,73}{0,48} \frac{0,40}{1,01}$	3-4	7
5/3	300,0 m	peščeni glinasti lapor sandy clayey marl	1,21	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic do ~10 % eksinita exinite up to cca 10 %	1,04	0,15	-22,28	-	3-4	-
5/4	440,0 m	peščeni glinasti lapor sandy clayey marl	1,73	strukturirani ligninsko-humusni structured ligno-humic do ~10 % eksinita exinite up to cca 10 %	1,0	0,13	-22,10	$\frac{0,71}{0,48} \frac{0,34}{1,20}$	3-4	-

Razlaga znakov pri tabeli 1 in 2

For explanation see table 1 and 2



Sl. 4. Vzorci s poznanim razmerjem H/C in O/C na van Krevelenovem (dopolnila Tissot & Welte, 1978) diagramu Fig. 4. Studied core samples with known H/C and O/C atomic ratio in the van Krevelen diagram. Scheme of kerogen evolution from Tissot & Welte (1978)

Zgodnjo metagenetsko stopnjo pretvorbe organske snovi v vrtini 4 dokazujejo rezultati treh analiznih metod (tab. 5, sl. 4). Na ostanek organskega ogljika (rezidualni ogljik) v spodnjemiocenskih plasteh je pred kratkim pokazala tudi piroliza (rock — eval analiza) vzorcev iz vrtine Murski gozd-6 od globine 3200 do 3800 metrov. Po skali umerjenja paleotemperatura — stopnja pretvorbe organske snovi odgovarja na globini 3400 m izmerjeni temperaturi $R_o \geq 2,0$. Ugodna je tudi ocenitev kvalitete in količine organske snovi v vrtini 4. Amorfnosti do semiamorfni organski facies je lahko zelo primeren za nastanek ogljikovodikov. Njegov genetični potencial je odvisen od sestave, ki pa na stopnji metageneze ni več določljiva. Semiamorfni del pa je le pokazal prisotnost ligninsko-humusne snovi v organskem faciesu. Čeprav analiza $\delta^{13}C$ ne da povsem dobrih in analitičnih podatkov, sem kljub temu poskušal z njeno pomočjo približno ugotoviti kvaliteto organske snovi. Primerjava vrednosti $\delta^{13}C$ vzorcev iz vrtin 4 in 5 (tab. 5—6), kjer je sestava organskega faciesa vzorcev iz vrtine 5 poznana, kaže, da je bilo razmerje H/C v vzorcih iz vrtine 4 večje kot v vzorcih iz vrtine 5 (glej na sl. 4). Količina TOC presega povprečno vrednost klastičnih matičnih kamenin. Če vrednosti TOC pomenijo ostanek organskega ogljika, potem je bila izhodna količina ogljika vsaj dvakrat tolikšna.

Tabela 7. Stopnje pretvorbe in zrelosti organske snovi. Diageneza, katageneza, metageneza in metamorfoza po Tissot & Welte, 1978

Table 7. Stages of transformation of organic matter. Diagenesis, catagenesis, metagenesis and metamorphism after Tissot & Welte, 1978

Stopnja pretvorbe Transformation stages		Stopnja zrelosti Maturation stages	
Diageneza Diagenesis	Zgodnja Early $R_o \sim 0,2$	Nedozorela Immature	Hidrogeli Hidrogel
	Srednja Middle $R_o \sim 0,4$		
	$R_o \sim 0,5$	Pozna Late	Prehod k zrelosti Transition to maturity
Katageneza Catagenesis	Zgodnja Early $R_o \sim 0,6$		
	Srednja Middle $R_o \sim 1,3$	Dozorela Fully mature	
	$R_o \sim 2$		Pozna Late
Metageneza Metagenesis	Zgodnja Early $R_o \sim 3$	Prehod k prezorelosti Transition to post-mature	Huminosol
	$R_o \sim 4$	Pozna Late	
Metamorfoza Metamorphism			

Parametri organske snovi, kakršni so bili ugotovljeni v vrtini 4, podpirajo Pleničarjevo (1973) domnevo, da so spodnjemiocenske plasti matična kamenina za nafto in plin v severovzhodni Sloveniji.

Stopnja pretvorbe organske snovi zunaj območja pojavljanja ogljikovodikov v severovzhodni Sloveniji je v zgornjeoligocenskih plasteh v vrtini 5, odloženih nad andezitnimi kameninami, na prehodu iz diageneze v katagenezo. Vrednosti $R_o \simeq 1$ se ne ujemajo s podatki ostalih analiznih metod, vrednosti R_o okoli 0,5 pa so z njimi usklajene (tab. 6, sl. 4). Bituminološko-luminiscentna analiza je pokazala povišano vsebnost bitumnov smolastega in oljno smolastega tipa, ker organska snov prične na prehodu iz nedozorelosti v dozorelost oddajati več heteroatomskih, smolastih bitumnov. Kvaliteto organske snovi določajo mejne vrednosti H/C med kerogenom II in III.

Zaključek

Srednjediagenetsko stopnjo pretvorbe pontijskega stratigrafskega nivoja skladno potrjujejo R_o , SCI, kurilna vrednost premoga in stopnja gelifikacije. Razlika med pretvorbama v vrtini 1 in 3 ni izrazitejša, ker je geotermična stopnja na obeh krajih podobna. Dobljeni razliki je vzrok samo večja globina.

V vrtini 2 je bila na globini 2875 m izmerjena temperatura 125 °C. Na skali umerjena paleotemperatura — stopnja pretvorbe organske snovi tej temperaturi odgovarja vrednost R_o med 0,9 in 1. Izmerjeni vrednosti R_o , na osnovi katerih sem določil srednjekatagenetsko stopnjo pretvorbe, se dobro ujemata z vrednostima na skali umerjenja.

Zgodnja metagenetska stopnja pretvorbe, ugotovljena v spodnjemiocenskih plasteh v vrtini 4 med 533,0. in 724,0. metrom, je kar presenetljivo visoka. Dokazujejo jo rezultati treh analiznih metod. Geotermična stopnja je tam še danes zelo visoka. Na globini 635 m doseže temperatura 65 °C (Novak, 1977). Podobnost s stopnjo pretvorbe v spodnjemiocenskih plasteh v vrtini Murski gozd — 6, kjer po skali umerjenja paleotemperatura — stopnja pretvorbe organske snovi odgovarja na globini 3400 m izmerjeni temperaturi $R_o \geq 2,0$, je lahko prepričljiva. Tako naj bi organska snov spodnjemiocenskih plasti prešla diagenetske in vse katagenetske faze nastajanja ogljikovodikov in je v fazi oddajanja »suhega« plina.

Tudi preostala dva parametra sta ugodna. Zdajšnja vsebnost TOC, ki že presega povprečno vrednost za klastične matične kamenine, je pri določeni stopnji pretvorbe najmanj polovica izhodnega organskega ogljika. Kvaliteta organske snovi, ki je na stopnji metagenetske pretvorbe, je nedoločljiva. Po primerjavi organskih faciesov in vrednosti $\delta^{13}C$ predpostavljam večji genetični potencial (večje razmerje H/C) organske snovi v vrtini 4, kot ga ima kerogen II—III v vrtini 5.

Zgornje ugotovitve podpirajo Pleničarjevo (1973) domnevo, da so spodnjemiocenske plasti lahko matična kamenina za nafto in plin v severovzhodni Sloveniji.

Organska snov v vrtini 2 raziskanega intervala je bolj neprimerna za nastanek ekonomskih količin ogljikovodikov zaradi tipa organske snovi, strukturiranega kerogena III, in ker so vrednosti TOC dosti pod povprečjem klastičnih matičnih kamenin.

V vrtini 5 določena pretvorba kaže, da je organska snov od zgornje-oligocenskih plasti navzgor, vsaj južno od Haloz, za nastanek ogljikovodikov nedozorela.

Zahvala

Raziskava je bila odvisna od instrumentarnih analiz, ki so jih napravili dr. T. Dolenc, inž. M. Mišič in inž. T. Žuža. V merjenje odsevnosti organskih klastov in maceralov premoga me je uvedel C. Gantar. Citiranje podatkov iz svojih rokopisnih poročil so dovolili inž. K. Grad, dr. L. Rijavec, inž. Ž. Škerlj in dr. L. Zlebnik. Vsem se toplo zahvaljujem za sodelovanje in pomoč.

Literatura

Novak, D. 1977, Benedikt — 2 pri Lenartu v Slovenskih goricah. *Proteus* 39, 357—358, Ljubljana.

Pleničar, M. 1973, Možnost nastajanja naftnih nahajališč v Halozah in Slovenskih goricah. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 191—197, Ljubljana.

Rijavec, L. 1976, Biostratigrafija miocena v Slovenskih goricah. *Geologija*, 19, 53—82, Ljubljana.

Stach, E., Mackowsky, M. Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D. & Teichmüller, R. 1975, *Textbook of coal petrology*. 428 pp. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Staplin, F. L. 1969, Sedimentary organic matter, organic metamorphism, and oil and gas occurrence. *Bull. Petrol. Geol.* 17, 47—66, Ottawa.

Tissot, B. P. & Welte, D. H. 1978, *Petroleum formation and occurrence*. 538 pp., Springer-Verlag, Berlin.