

UDK 553.93.94.96:551.78(497.12)=863

Optična odsevnost nekaterih slovenskih premogov

Light reflectance of some Slovenian coals

Milan Hamrla

Geološki zavod Ljubljana, Parmova 37, 61000 Ljubljana

Kratka vsebina

Slovenska premogišča smo nanizali v 13 pasov ter jih ustrezno poimenovali. Merjeni parameter srednje povprečne optične odsevnosti huminitno-vitrinitnih maceralij na 34 priložnostnih vzorcih premogov omogoča njihovo preliminarno rangiranje. Večina teh premogov pripada različkom rjavega premoga prevladujočega nižjega ranga in spodnjim vrstam skupine črnega premoga. Višjemu rangu pripadata samo dva.

Razmerje merjenih odsevnosti in absolutne starosti preiskanih premogov je v splošnem linearno, pri čemer izstopajo anomalno zreli premogi. Diagram razmerja odsevnosti do ocenjene največje debeline prekritja nakazuje izpremenljive paleogeotermične gradiente. Rang premogov, ki je funkcija temperature in časa, je pod določenimi pogoji uporaben tudi v stratigrafske svrhe. Anomalno visoko zrelost nekaterih premogov tolmačimo z lokalnimi termičnimi vplivi rupelskega andezitnega vulkanizma.

Ugotovljeni rang premogov je tudi uporaben za preliminarno oceno naftnega in plinskega potenciala sedimentov, ki te premoge vsebujejo.

Abstract

Coal deposits and occurrences of Slovenia have been arranged into 13 belts and adequately named. Mean random light reflectance measurements on huminite-vitrinite macerals of 34 occasional coal samples made possible their preliminary ranging by rank. The majority of coals occupy the reflectance intervals of lower lignitous and hypobituminous ranks. Two coals only are of higher rank.

The measured reflectance and absolute age are positively related in general, with anomalous ranks standing out. The graph of reflectance versus estimated maximal depth of burial indicates variable paleogeothermic gradients. The coal rank — a function of temperature and time — could be conditionally used for stratigraphic purposes. The anomalous rank of some coals can be explained by local thermal effects of the Rupelian andesitic volcanism.

The established coal ranks may be also applicable to preliminary assessment of hydrocarbon potential of the coal-bearing sediments.

Uvod

Evolucija organske snovi v sedimentih je zvezen ireverzibilen proces, ki obstoji iz vrste kemičnih in fizikalnih pretvorb njenih komponent. Pri premogu ga imenujemo oglenitev, končni produkt pa je enotna, grafitu slična substanca. Doseženi stadij pretvorbe imenujemo zrelostno stopnjo ali rang, definiramo pa ga s kemičnimi ali fizikalnimi parametri.

V tem članku so navedene okvirne vrednosti ranga za nekaj slovenskih premogov, in sicer na osnovi kvantitativnega merjenja optične odsevnosti na poliranih preparatih. Preliminarni rezultati podajajo velikostni red srednje povprečne optične odsevnosti, raziskava pa zajema za zdaj le 34 priložnostnih vzorcev premogov iz raznih premogišč, ne glede na njihovo pomembnost, ter tri primerjalne vzorce. V začetku povzamemo značilnosti premogov in njihove razdelitve.

Slovenski premogi so kot kamenine le malo obdelani. Njihovo absolutno in relativno rangiranje po zrelosti se povezuje ne samo z vprašanji njihove klasifikacije, ampak tudi okolja, v katerem so nastajali: stratigrafije, faciesa, paleogeoterije, naftogenega potenciala in drugega. Podatki o odsevnosti, ki je objektivni pokazatelj zrelosti, tu lahko koristijo, zlasti še kadar bo raziskava ustrezno razširjena in dopolnjena.

Avtor se zahvaljuje prof. dr. Matiji Droveniku in prof. dr. Valeriji Osterc za dovoljenje in prijaznost pri delu z optičnimi instrumenti na Odseku za geologijo FNT Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani, kjer je opravil del meritev.

Premogi na Slovenskem

Premogišča najdemo v vseh geotektonskih enotah Slovenije. Nekatera so ekonomsko pomembna in jih grade debeli sloji premoga, druga so manj pomembna, veliko pa je nepomembnih ter jih sestavljajo le tanki sloji, pole in žile premoga. Najstarejši premogi so zgornjetriasni, najmlajši pliocenski. Večina je vezanih na terciarne plasti. Facies premogišč se menjava od telmatskega do brakično-morskega. Po geografskem okolju so limnično-paludalna, pa tudi paralično-lagunalna. Za marsikatero premogišče stratigrafski položaj še ni dokončno dognan. Premogi pripadajo skoro v celoti humusnemu tipu. Sapropelske komponente poznamo le v nekaterih staroterciarnih premogih.

Geografski položaj važnejših premogišč je razviden iz slike 1. Za tiste, ki jih tu obravnavamo, so v karti vpisane srednje povprečne odsevnosti vitritita. Tako po geografskih kot tudi geoloških vidikih jih lahko nanizamo v pasove. Razdelimo in poimenujemo jih takole:

Sl. 1. Geografski položaj premogišč v SR Sloveniji

Fig. 1. Geographic position of coal deposits and occurrences in SR Slovenia

Premogovni pasovi — Coal belts:

1 Koroški pas — Carinthia belt, 2 Ptujski pas — Ptuj belt, 3 Zreški okoliš — Zreče area, 4 Konjiški pas — Konjice belt, 5 Celjski pas — Celje belt, 6 Laški pas — Laško belt, 7 Senovski pas — Senovo belt, 8 Krški pas — Krško belt, 9 Ljubljanski pas — Ljubljana belt, 10 Bloški pas — Bloke belt, 11 Primorski pas — Littoral belt, 12 Istrski pas — Istria belt, 13 Kočevski pas — Kočevje belt



Koroški pas obsega mladoterciarna premogišča ob severnem vznožju severnih Karavank (Holmec, Mežica, Leše, Šteharnik, Sela, Stari trg).

Ptujski pas obsega zgornjemiocenska premogišča med Konjicami in Lendavo (Malahorna, Stanovsko, Jurovec, Podlož, Zabovci, Podgorci, Ključarovci, Presika, Murski gozd).

Zreški okoliš je ozek prostor, ki vsebuje v plasteh med zgornjo kredo in helvetom več premogovnih horizontov (sloj »pucka«, straniški sloj, Rugljev sloj, Osredkov sloj, Edvardov sloj, radanski sloj, zgornji radanski sloj).

Konjiški pas obsega premogišča talnega tipa med Okonino in Makolami (Poljane, Rečica, Št. Bric, Klanec, Soteska, Črešnjica, Žiče, Konjiška gora, Tolsti vrh, Zbelovo, Ljubečna, Podboč, Hrastovec, Šega pri Makolah). V ta pas se vključuje na zahodu še Lepena nad Jesenicami, priključimo pa mu tudi Velenje.

Celjski pas obsega oligocenska premogišča med Bohinjsko Bistrico, Motnikom in Rogatcem (Bohinjska Bistrica, Motnik, Zabukovica, Liboje, Pečovnik, Štore, Tratna, Sv. Križ pri Rogaški Slatini).

Laškemu pasu prištevamo vrsto premogišč v plasteh oligocena (Moravče, Zagorje, Trbovlje, Hrastnik, Dol, Laško, Trobni dol, Pojerje, Roginska gorca). Sem prištevamo na zahodu še Medvode.

Senovski pas med Mirno in Podsredo vključuje oligocenske in na zahodu tudi mlajše premoge (Gorenja vas, Krmelj, Kališovec, Srebotno, Senovo, Koprivnica, Slatna, Podgorje, Kozje, Lesično, Šentvid).

Krški pas obsega pliocenska premogišča okoliša Krškega polja (Globoko, Bučka, Otočec).

Ljubljanski pas obsega karnijska premogišča antracitov (Ligojna, Drenov grič, Orle, Velike Lašče).

Bloški pas obsega nekaj pojavov premoga v obliki tankih slojev, pol in vključkov v apnencih spodnje jure (Metulje — 4 km SE od Nove vasi, Retje, Kuželj ob Kolpi).

Primorski pas obsega zgornjekredna premogišča liburnijske serije vzhodno od Trsta (Bazovica, Lipica, Gaberk, Košana, Kal, Vremški Britof, Zavrhek, Neverke, Rodik, Kozina).

Istrskemu pasu pripada v Sloveniji le oceansko premogišče Sečovlje. Analogna premogišča tega pasu se nadaljujejo v Istro (Buzet, Karojba, Pazin, Pičan, Podlabin, Raša).

Kočevskemu pasu prištevamo izolirana mlada premogišča južne Slovenije (Ilirska Bistrica, Kočevje, Kanižarica, Griblje).

Evolucija kavstobiolitov

Kavstobioliti so gorljive litološke sestavine organskega porekla, trdne in fluidne, ki so nastale v teku geoloških procesov. To so premogi in nafta ter njihovi derivati.

Zrelost, sestav in razdelitev premogov

Kamenina premog je opredeljena s tipom, ki odraža genetske značilnosti organske snovi, in z njeno zrelostno stopnjo. Tip premoga določajo jasno definirane sestavine, imenovane maceralije (ICCP, 1957). Pod zrelostno stop-

njo ali rangom pa razumemo trenutno stanje v evoluciji kemično-konstitucijske zgradbe organske snovi. Koncept ireverzibilnega pretvorbenega zaporedja je osnovna postavka vsega študija fosilne organske snovi, parameter dosežene stopnje v pretvrbenem procesu pa temeljna karakteristika. Od sestave in ranga je odvisna tudi uporabnost.

Proces, pri katerem se nakopičeni rastlinski material izpreminja v premog pri več ali manj popolni odsotnosti kisika, imenujemo oglenitev. Ločimo začetno fazo diageneze ter poznejšo fazo metamorfoze, imenovano tudi geotermična faza ali katageneza. Prva obsega biokemični razkroj, druga pa je pogojena z vplivi povišane temperature in tlaka. Ugotovljeno je, da je za potek oglenitve važna predvsem temperatura, kateri je bila organska snov v teku časa podvržena. Označuje jo bogatenje z ogljikom ter siromašenje s kisikom, vodikom, vsebnostjo hlapnih snovi in vodo. Pri tem se odcepljajo voda, dušik, žveplovodik, ogljikov dvokis in metan. Količina odcepljenih plinov je znatna; samo metana se sprostí preko 200 Nm^3 na tono premoga (Bartenstein et Teichmüller, 1974). Fizikalno-strukturne spremembe zadevajo toplotno vrednost, poroznost, propustnost, trdoto in trdnost ter optične lastnosti. Spremembe v kemizmu in fizikalnih lastnostih so posledica pregrupacij v molekularni zgradbi primarnih bioloških sestavin.

Za termogenetsko evolucijo premoga je važna največja globina, v katero so bile premogonosne plasti pogreznjene. Z globino narašča temperatura in tej ustrezno rang; gradient ranga je odvisen od temperaturnega gradienta ter toplotne prevodnosti kamenin. Znano je Hiltovo pravilo, po katerem količina hlapnih snovi v premogu z globino pada. Schürmannovo pravilo pa se nanaša na manjšanje vsebnosti vlage v premogu z globino; pri tem je odločilen tlak, normalni gradient pa znaša okrog $4 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$. Potek oglenitve premoga je torej odvisen od njegove geološke zgodovine. Premog bo toliko bolj zrel, kolikor globlje so bile pogreznjene premogonosne plasti, kolikor višji so bili temperaturni gradienti okolja in kolikor daljši čas je bil izpostavljen določeni temperaturi. Med rangom in paleotemperaturami pa ni neke univerzalne relacije, saj je določeni rang lahko posledica različne termične preteklosti. Premog torej ni izrazit paleotermometer. Po Arrheniusovi enačbi kemične kinetike je vpliv časa na potek reakcije linearen, vpliv temperature pa eksponencialen. Pri poizkusih računskega vrednotenja teh relacij je težava v tem, da zgodovine grezanja premogišč in izpreminjanja temperaturnih gradientov običajno ne poznamo dovolj (Karweil, 1955; Buntebarth, 1979, 1980; Alpern, 1980; Robert, 1980, 1985).

Vpliv časa je toliko večji, kolikor je temperatura višja, oba pa se medsebojno lahko kompenzirata. Pri nizki temperaturi še tako visoka geološka starost ne more povečati ranga premoga. Znani so ruski spodnjekarbonski ligniti.

Vpliv tlaka, statičnega in dinamičnega, za spremembe v kemizmu ni pomemben. Pač pa sta od tlaka odvisna predvsem poroznost in anizotropija premoga. Premogi z malo vlage pri nizkem rangu kažejo na zgodnje tlačne vplive, visoko zreli premogi z obilo vlage ter slabo anizotropijo pa na odsotnost tlaka.

Lastnosti premogov so odvisne od petrografske sestave. Znano je, da sestavine — maceralije — pripadajo trem osnovnim maceralnim skupinam (vitrit, intertit, eksinit), ki so različnega botaničnega porekla, imajo različne ke-

mične in tehnološke lastnosti ter se pri procesu oglenitve različno vedejo (ICCP, 1957; Stach et al., 1975; Alperen, 1980). Vitrinit oziroma pri mladih premogih huminit je temeljna, najbolj enotna maceralna skupina, katere različki in tipi so nastali iz lignita in celuloze. Pretvorba tega materiala v huminite se prične že v biokemični fazi ter je fizikalno-koloidalen proces, ko organska snov preko mehkega, plastičnega stadija prehaja v gele. Ulminit, gelinit in pri zrelejših premogih kolinit imajo obliko temnih, sijajnih pasov in tudi sicer prepajajo organsko tkivo. Rastlinska struktura je pri tekstinitu oziroma telinitu še več ali manj izrazita in ohranjena. Z rastočo zrelostjo so razlike med lastnostmi maceralij vedno manjše, premog postaja vedno bolj enoten in v končnem stadiju sličen grafitu (Teichmüller, 1962; Stach et al., 1975).

Delitev premogov na rjave in črne ter antracite že kvalitativno grobo označuje zrelostno stopnjo. Šote ne štejemo med premoge. Z enostavnimi kemično-fizikalnimi kriteriji za ločevanje črnih od rjavih, kot so npr. test KOH za dokaz prisotnosti huminskih kislin, ligninska reakcija z razredčeno solitrno kislino in drugi (Petrascheck, 1921/22), premogov seveda ni moč zadovoljivo opredeliti, kakor tudi ne s kvantitativno kemično analizo. To velja zlasti za manj zrele premoge, kjer se parametri, kot so vsebnost ogljika, hlapne snovi, toplotna vrednost in spekljivost mnogo manj izpreminjajo kot pri zrelejših. Za mlade premoge pa je dober klasifikacijski parameter vsebnost vlage v jamsko-vlažnem stanju.

Pri mladih premogih ločimo manj in bolj trde različke, slednje dele tuje klasifikacije (nemška) še na medle in sijajne. Malo zrele mehke različke, ki vsebujejo makroskopsko jasno razpoznaven ksilit nizke stopnje gelifikacije, imenujemo pri nas lignit. Črne premoge delijo v svetu po njihovih osnovnih značilnostih in uporabnosti na več vrst (Demann et al., 1954; Alpern, 1981). V raznih deželah imajo svoja poimenovanja in klasifikacije. Nekatere razdelitve kaže s pripadajočimi parametri slika 2.

Jugoslovanski standard (JUS, 1984 a, b) deli premoge na 5 vrst po skupni vlagi in toplotni vrednosti, delno tudi količini hlapnih snovi, oboje za čisti premog. Črni premog je ena vrsta, antracit druga. Rjavi premogi se dele na 3 vrste; po skupni vlagi in vsebnosti katrana v čistem premogu se razvrščajo še na 30 podvrst, označenih z dvoštevilčnimi kodami.

Ker tvorijo premogi nepretrgano zrelostno vrsto, v kateri ločimo načeloma nizki, srednji in visoki rang, je bilo zasnovanih več poizkusov univerzalne genetske klasifikacije. Iz preteklosti so znane Grunerova, Hiltova, Mottova, Seylerjeva in Francisova univerzalna klasifikacija s pomočjo kemijskih parametrov (Francis, 1954), pa tudi nekatere čisto komercialne klasifikacije, kot npr. Van Krevelenova iz l. 1957, ženevska iz l. 1956 (sistem CODE) in druge (Demann et al., 1954; Alpern, 1981). Problem sodobne univerzalne

R_o	Srednja povprečna optična odsevnost huminit-vitrinita v imerz. olju — Mean random vitrinite reflectance in oil
hl	Hlapne sestavine v čistem premogu (<i>vpp</i>) — Volatile matter (<i>daf</i>)
C	Vsebnost ogljika v čistem premogu (<i>vpp</i>) — Carbon content (<i>daf</i>)
H ₂ O	Skupna vlaga v premogu brez pepela (<i>pp</i>) — Total moisture (<i>af</i>)
K	Toplotna vrednost čistega premoga (<i>vpp</i>) — Specific energy (<i>daf</i>)
λ_{max}	Valovna dolžina viška fluorescence eksinita — Sporinite fluorescence

NACIONALNE KLASIFIKACIJE NATIONAL CLASSIFICATIONS					R _o %	hI (vpp) %	C (vpp) %	H ₂ O (pp) %	K (vpp) MJ/kg (kcal/kg)	λ _{max} nm	KOKSAVOST COKING ABILITY	NASTAJANJE OGLJIKOVODIKOV HYDROCARBON GENERATION
SFRJ YUGOSLAVIA	FRANCIJA FRANCE	NEMČIJA GERMANY	ZDA USA	SSSR								
Šota	Tourbe	Torf	Peat		0,2	68				500		Humusne in lipoidne snovi Humic and lipid matter
Lignit L	Lignite tendre	Weich-	Lignite B	B1			60	75	23 (5500)	550		
Lignitni rjavi premog ML	Lignite mat	Lignite dur	Lignite A	B2	0,3	60	65	40	25 (6000)			Zgodnji diagenetski (biogeni) plin Early diagenetic (biogenic) gas
	Lignite brillant		Sub-bituminous C					30	26 (6200)			
Rjavi premog M		Glanz-	B	B3	0,4	50	70	20	(6500)	580		
	Flambants secs	Flamm-	A		0,5					590		
			C	D	0,6		77		30 (7160)	630		Nafta Oil
	Flambants gras	Gasflamm-	High volatile bituminous A	G	0,8	40	80	10		650		
				GŽ	0,9			8		675		Kondenzat in mokri plin Condensate and wet gas
					1,0		85		(7500)			
Črni premog K	Gras B	Gas-	Medium volatile bituminous	Ž	1,2	30	87					
	Gras A			KŽ								
	Gras à courte flamme	Fett-	Low volatile bituminous	K	1,4							
				OS	1,6	20	90					
	Gras	Ess-	Low volatile bituminous		1,8			5	35 (8360) (8500)			
				T	2,0		91					Suhi katagenetski (termogeni) plin Dry catagenic (thermogene) gas
	Maigre	Mager-	Semi anthracite		2,2	10	92					
Antracit A				PA	2,5							
	Antracite	Anthrazit	Anthracite		3,0		93					
					4,0							
	Perantracite	Meta-Anthrazit	Meta-anthr.	A	5,0		96	2,5	(9000)			Brez plina No gas
	Graphite	Graphit	Graphite		(11,0)							

Sl. 2. Nekaj grobo vzporejenih nacionalnih klasifikacij premogov z osnovnimi parametri. Po raznih virih
Fig. 2. Some national coal classifications, roughly adjusted, with basic parameters. After various sources

klasifikacije še ni rešen. Je več predlogov, kot npr. Alpernova univerzalna klasifikacija trdnih goriv, nemški predlog ali ruski predlog. Temeljni parameter vseh pa je optična odsevnost polirane površine vitrinita oziroma huminita, poleg še drugih (5 do 6) fizikalno-kemičnih parametrov, ki so izraženi s kodnimi števili (Alpern, 1981).

Relacija med odsevnostjo in drugimi parametri ranga je strogo linearna le v intervalu premogov z 10 do 35 % hlapnih snovi (Teichmüller, 1971), je pa prav tako primerjalna tudi zunaj tega intervala (McCartney et Teichmüller, 1972). Meje med premogi spodnjega, srednjega in zgornjega ranga so srednje povprečne odsevnosti vitrinita R_0 (v imerzijskem olju) okrog 0,5 % in 2 %. Te mejne vrednosti približno odgovarjajo stari delitvi med rjavimi, črnimi in antracitnimi premogi. Enotnosti glede razmejitve še ni in razni raziskovalci predlagajo svoje mejne vrednosti: 0,55 % in 2,5 % (McCartney et Teichmüller, 1972), 0,65 % in 2,2 % (Stach et al., 1975), 0,6 % in 2,0 % (Alpern, 1981), 0,6 % in ? % (nemški predlog).

Med novejšimi postopki ugotavljanja zrelostne stopnje premoga omenimo še fluorescenčno mikroskopijo, ki se je razvila z diagnostiko lipidne organske snovi pri raziskavah ogljikovodikov. Uporabna je tam, kjer ni vitrinita. Nekatere maceralije namreč fluorescirajo pri osvetlitvi s kratkovalovno svetlobo. Najbolj ne vedno fluorescira eksinit v odvisnosti od svoje narave in zrelosti. Inertinit ne fluorescira, vitrinit pa le izjemoma. Fluorescirajo tudi nekateri različni bitumenov. Metoda monohromatske fluorescenčne fotometrije potrebuje ustrezen standard in za zrelost ni diagnostična. Boljša je metoda spektralne analize fluorescence v vidnem delu spektra; oblike krivulje spektralne porazdelitve, valovne dolžine viškov (λ_{max}) ter »rdeče-zeleni kvocient« (razmerje intenzitet pri 650 nm in 400 nm) so parametri ranga (Teichmüller, 1974, 1981; Stach et al., 1975; Teichmüller et Ottenjann, 1977; Alpern, 1980; Jacob, 1980; Volkmann, 1982; Robert, 1981, 1985).

Intenziteta fluorescence eksinita z rangom pada in je obratno sorazmerna optični odsevnosti. Največja je pri srednji odsevnosti huminita okrog 0,6 % R_0 , z rastočo zrelostjo pa pojema in izgine pri vrednosti odsevnosti med 1 in 1,3 % R_0 .

Nastajanje tekočih ogljikovodikov

Določevanje odsevnosti vitrinita premogov ali v sedimentih razpršenega rastlinskega detritusa je ena od metod opredelitve stopnje maturacije organske snovi v naftnih matičnih kameninah. Odsevnost vitrinita je indikator njene termične transformacije. Nafta se tvori v matični kamenini iz pretežno lipidnih snovi le pri določenem zrelostnem stadiju, ki ga označujeta spodnja in zgornja meja odsevnosti vitrinita približno $R_0^{sp} = 0,5$ % ter $R_0^{zg} = 1,3$ % (slika 2). Tem mejam odgovarjata približni temperaturi 50 °C in 150 °C oziroma spodaj stadij svetlega rjavega premoga, zgoraj pa plinskega črnega premoga z okrog 30 % hlapnega. Tedaj se tudi pričena migracija ogljikovodikov (Bartenstein et Teichmüller, 1974; Stach et al., 1975; Teichmüller et Ottenjann, 1977; Alpern, 1978; Ammosov et al., 1980; Teichmüller, 1981; Robert, 1981, 1985).

Perspektivni temperaturni interval, v katerem lahko nastanejo v matični kamenini tekoči ogljikovodiki, imenujemo »naftno okno«. Njegov globinski do-

seg je odvisen od temperaturnega gradienta. Kjer termalna transformacija organske snovi še ni dosegla kritične zrelosti, to je pri vrednostih pod 0,5 % R_o , se pojavlja le zgodnje diagenetski (biogeni) plin, pri višjih stadijih katageneze med vrednostmi 1,3 in 3 % R_o , pa mokri ali suhi (termogeni) plin. Pri še višjih vrednostih tudi proces nastajanja plina preneha. Tej zgornji meji odgovarjajo premogi z okrog 93 % ogljika in 5 % hlapnega.

Za ugotavljanje stopnje organske maturacije so še drugi načini, kot npr. barva spor, spektralna fluorescenca eksinita, piroliza, plinska kromatografija in spektroskopske metode (Robert, 1985). Med njimi je optična metoda odsevnosti vitrinita hitra in enostavna, zahteva pa seveda pravilno identifikacijo organskih fragmentov.

Optična odsevnost nekaterih slovenskih premogov

Splošno o odsevnosti

Merjenje optične odsevnosti polirane površine premoga je raziskovalna metoda, ki je v uporabi skoraj štiri desetletja. Postopek je standardiziran (ICCP, 1957/75; Alpern, 1980). Obseg odsevnosti v olju znaša od 0,15 % za šote do največ 16 % za organski grafit.

Odsevnost vitrinita lahko nekoliko variira tudi v istem premogu iz naslednjih vzrokov:

- neenakost merjenih vitrinitnih različkov,
- submikroskopski vključki in impregnacije bitumenske, smolaste ali glinaste primesi v teh različkih,
- vpliv oksidacije (preperevanja),
- vpliv sedimentacijskega okolja, litologije in termalne prevodnosti,
- neenakost politure preparatov.

Razlike v odsevnosti različnih huminitnih maceralij, ki so lahko absolutnega velikostnega reda celo do $\pm 0,1$ % (Künstner et al., 1980), so po Teichmüllerjevi (1981) pogojene z različno stopnjo biokemičnega razkroja ter variacijami v stopnji gelifikacije raznih rastlinskih komponent. Tudi Jacob (1980) meni, da gredo razlike na račun facialno pogojenih različkov vitrinita. Razlike v odsevnosti so opazili tudi drugi raziskovalci, ki so maceralije različno poimenovali, kot npr. vitrinit A in B, homokolinit in heterokolinit, psevdovitrinit in še drugače (Koch, 1969). Eliminacija teh potencialnih razlik je možna tako, da za merjenje izberemo kar le mogoče enoten in čist gelast različek: ulinit ali gelinit pri mlajših in kolinit pri zrelejših premogih.

Maceralije skupin intertinita in eksinita za rangiranje po odsevnosti ne pridejo v poštev. Odsevnost prvih niha med 3 in 6 % R_o , že pri nizkih zrelostnih stadijih premogov, pri drugih pa je skoraj vedno občutno nižja od odsevnosti vitrinita.

Pojav odsevnosti in njeno naraščanje je v zvezi z urejanjem notranje zgradbe huminske snovi premoga pri procesu oglestitve. Aromatski kompleksi postopno kondenzirajo, reducirajo pa se nearomatske grupe. Zvezen proces se odraža v izpreminjanju kemijskih, fizikalnih in tehnoloških lastnosti premogov. Neko značilno stanje v zgradbi se doseže pri odsevnosti okrog 1,5 % R_o ; takrat je vsebnost aromatskega ogljika največja in kisika najmanjša, premogi imajo

najmanj vode, najboljše koksne lastnosti in vrsto drugih fizikalnih skrajnosti (Teichmüller, 1962). Urejanje aromatskih kompleksov v nekake lamele več ali manj vzporedno plastovitosti, verjetno tudi pod vplivom tlaka, je vzrok anizotropiji, ki je z rastočim rangom vedno močnejša.

Vpliv oksidacije (preperevanja) na odsevnost vitrinita so intenzivno proučevali zlasti z vidika samovžiga in izpreminjanja koksni lastnosti premoga. Narava in pogoji oksidacije so seveda lahko zelo različni. Počasna oksidacija pri nizki temperaturi je preperevanje premogov na zraku, na primer na izdankih premogovih slojev ali pod vplivom podzemnih voda. Tak premog spremeni kemizem, toplotna vrednost se zniža, izgube se reološke in spremene še druge tehnološke lastnosti. Oksidacija pri nizkih temperaturah pa le zelo malo vpliva na strukturno-konstitucijsko zgradbo vitrinita, ki je za optično odsevnost odločilna. Ta ostane skoraj nespremenjena. Da ni bistvene razlike med odsevnostjo svežega, neoksidiranega premoga in premoga, ki je bil podvržen naravnemu preperevanju, je dokazoval Chandra (Stach et al., 1975). Isto velja tudi za umetno oksidacijo. Nasprotno pa je Marchioni (1983) opazoval nepravilna odstopanja odsevnosti oksidiranih in neoksidiranih premogov v relativnem razponu od 6 do 20 % R_o , po vsej verjetnosti v odvisnosti od temperaturne oksidacije.

Vpliv zmerne oksidacije je za pričujoče delo zanemarljiv. Omenjamo ga le v toliko, ker del vzorcev izhaja iz izdankov, odvalov in zbirk ter je bil več ali manj oksidiran. Šele oksidacija pri visokih temperaturah nad 150 °C odsevnost vitrinita občutno poveča v odvisnosti od vrste dejavnikov, kot so temperatura, zrelost in vrsta premoga, trajanje oksidacije, granulacija, hitrost pretoka kisika itd. Pod mikroskopom se kaže v nastanku oksidacijskih robov.

Drugi dejavniki v zvezi z možnimi razlikami v odsevnosti vitrinitnih različkov, zlasti mladih premogov, so pri tej preliminarni raziskavi manj pomembni.

Meritve in rezultati

Optično odsevnost smo merili na 34 priložnostnih vzorcih slovenskih premogov iz raznih nahajališč in na dveh iz Istre ter enem iz Srbije. Pretežno kosovne preparate, skupno 50, je pripravil Ciril Gantar na Odseku za geologijo FNT Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani. Preparati so orientirani poljubno ali približno pravokotno na slojevitost. Vzorci premogov so iz zbirke Geološkega zavoda Ljubljana in avtorja, nekaj jih je bilo svežih iz vrtin in jamskih del, nekaj pa ponovno nabranih na terenu.

Za merjenje odsevnosti sta služila deloma fotometrična aparatura Odseka za geologijo FNT, ki jo sestavljata Leitzov mikroskop Ortholux in fotometer MPE z napetostno stabilizacijo, monohromatorjem in galvanometrom z občutljivostjo 10^{-9} A za delec skale, deloma Berekov fotometer na Leitzovem mikroskopu KPM. Uporabljen je bil Leitzov imerzijski objektiv $25\times 0,65$, pri čemer je premer površine merjenja pri Berekovem fotometru 0,08 mm, pri fotometru MPE pa 0,01 mm.

Vrednosti odsevnosti, merjene z obema aparaturama, so dobro primerljive in odstopajo za nekaj enot le v drugi decimalki. Preciznost obeh aparatov je praktično enaka. Lomni količnik imerzijskega olja ($n_i = 1,51585$) je bil določen na Abbejevem refraktometru. Kot standarda odsevnosti sta služila Leitzova

steklena prizma R 9 ter sintetični safir z odsevnostima v olju 1,252 % in 0,588 % za standardno valovno dolžino $\lambda = 546$ nm. Ta je pri instrumentu odseka FNT nastavljiva z monohromatorjem, pri Berekovem fotometru pa smo uporabili Leitzov zeleni filter 53 ($\lambda = 527$ nm) in odsevnost računsko korigirali za standardno valovno dolžino. Temperatura pri merjenju je znašala med 22 in 24 °C.

Za vsak vzorec smo naredili v povprečju 27 meritev in iz aritmetične sredine odčitkov izračunali srednjo odsevnost. V tabeli 1 navedene vrednosti so merjene srednje povprečne odsevnosti R_0 za huminitno-vitrinitno maceralijo preiskanih vzorcev. Merjeni so bili maceralni tipi eu-ulminit in tekstoulminit, pa tudi gelinit, pri zrelejših različnih telokolinit in gelokolinit.

Pričakovane in opazovane razlike med merjenimi odsevnostmi različkov R_0 huminita, mogoče pogojene tudi z oksidacijo, so približno istega velikostnega reda kot preciznost in primerljivost obeh aparatov. Natančnost podatka zelo grobo ocenimo na $R_0 \text{ } \% \pm 0,05$. V rezultatu je zato odločilna in značilna prva decimalka, druga pa ni zanesljiva. Po Alpernu (1980) je za malo in srednje zrele premoge prva decimalka srednje odsevnosti odločilna vedno, kadar je diagnoza vitrinita zanesljiva. Ker v tej raziskavi težav z identifikacijo maceralij ni bilo, je podatek srednje optične odsevnosti zanesljiv najmanj v prvi decimalki. Taka natančnost je za preliminarno raziskavo zadostna.

Za tri premoge višjega ranga so bile merjenje tudi najnižje in najvišje relativne odsevnosti, ki so navedene v tabeli 2.

Čeprav je orientacija preparatov slučajna, se skrajne merjene vrednosti dokaj dobro skladajo z vrednostmi premogov analognega ranga. Pri optično anizotropnih premogih se sicer kot karakteristični parameter uporablja $R_{\max}$. Vendar je tu srednja odsevnost R_0 dopustna karakteristika, če je anizotropija ($R_{\max} - R_{\min}$) $< 0,2 \text{ } \%$ (Teichmüller et al., 1979; Stach et al., 1975).

V tabeli 1 so navedeni še nekateri podatki, ki preiskane premoge karakterizirajo. Ti podatki iz različnih virov so neenotni ter imajo zato le orientacijsko vrednost.

Diskusija in zaključki

Jugoslovanski standard iz l. 1984 razdeli premoge na 5 vrst: lignit, lignitni rjavi premog, rjavi premog, črni premog in antracit. V vrsto črnega premoga gredo tisti, ki imajo 5 do 10 % skupne vlage, 15 do 40 % (vpp) hlapnega ter toplotno vrednost nad 30 MJ/kg (vpp). Ligniti in rjavi premogi se razdele po deležu skupne vlage in katrana še na 30 podvrst. Po standardu je lignit premog z več kot 40 % skupne vlage in toplotno vrednostjo 23 do 25 MJ/kg (vpp).

Če je pri »razdelitvi« črnih premogov na eno samo vrsto prevladoval tehnološki aspekt, saj take premoge pri nas uporabljamo le kot gorivo, je smiselnost delitve rjavih kar na 30 podvrst po parametru vsebnosti katrana še bolj vprašljiva.

Tudi parametra odsevnosti jugoslovanski standard še ne pozna. Z njim bi zrelostni položaj premogov in njihovo vrednost sodobneje karakterizirali. Sedanja razvrstitev služi le za grobo prakso, za podrobnejšo opredelitev pa ni uporabna. Tudi karakterizacija lignita je pomanjkljiva, saj je lignit litotip, katerega bistvena značilnost je prisotnost grobega ksilita, ki je za tehnologijo dobivanja in oplemenitenja odločilna sestavina.

Tabela 1. Odsevnost preiskanih vzorcev premoga in nekateri značilni podatki

Table 1. Reflectance of tested coal samples and some characteristic data

Zap. št.	(1) Lokalnost - Locality	(2) R _O %	(3) Starost - Age leta 10 ⁶ years 10 ⁶	(4) H _{max} m	(5) Kemizem - Chemistry C % hl VM % vlaga moisture %		
1	Otočec (odval)	L	0,20	Pont ? 6	250	55	37
2	Globoko (vrt. 5/84:270 m)	L	0,23	Pont 6	700	65	50
3	Krmelj (vrt. 77/81: 161 m. 2. sl. 242 m. 1. sl.)	L	0,250 0,24	Torton ? 13	400	65 59 53	38,5 36,2
4	Velenje (jama Preloge)	L	0,24	Zg. pliocen 5	600	65	60,5 45
5	Leše (izdanek Šteharinik) (jama)	L	0,25 0,255	Sarmat 12	600	66 60	50 25
6	Stanovsko (odval)	L	0,26	Sp. panon ? 10	1000	68	34
7	Murski gozd (vrt. 7/83:132 m)	L	0,28	Pont ? 8	1300	67	51 40
8	Jurovec (jama)	M	0,305	Sp. panon 10	1300	68	47,5
9	Zabovci pri Ptuj (vrt. Z-21:20 m)	M	0,305	Sp. panon 10	1300	?	
10	Kanižarica (vrt. 39/84:285 m)	M	0,32	Pliocen ? 6	600	68	60 30
11	Trbovlje (vrt. NV-5/84:46 m FV-13/84:117 m)	M	0,30 0,315	Rupel 30	850	70	50 25
12	Hrastnik (jama)	M	0,32	Rupel 30	900	71	50 25
13	Laško (jama Brezno)	M	0,32	Rupel 32	1000	72,5	50 24
14	Srebotno-Senovo (Vrt. V1-81:21,6 m)	M	0,335	Kat 25	900	69	56 25
15	Zagorje (jama) (vrt. KZ-22/83:345 m)	M	0,305 0,34	Rupel 30	800	69	52 26
16	Štore (jama)	MS	0,41	Zg. oligocen 32	800	72	48 20
17	Sela pri Slovenj Gradcu (jama)	S	0,44	Helvet ? 18	800	74	48 16
18	Motnik (jama)	S	0,48	Rupel ? 30	900	75	46 15
19	Št. Bric-Hrastovec (izdanek)	S	0,49	Oligocen ? 35	800	?	
20	Trobnji dol (vrt. 1/84:368 m)	S	0,60	Sr. oligocen 35	800	69	47,8 25
21	Lepena nad Jesenicami (rov)	Č	0,785	Sr. eocen 50	800	?	

22	Sečovlje (jama)	S	0,525	Cuis	50	1150	75,5	53,5	4,5
23	Pičan (jama)*	S	0,59	Sp. cuis	53	1400	80	52	
24	Raša (jama, kredni sloj)*	Č	0,64	Ilerd-cuis	55	1500	82	52	3
25	Vremski Britof (jama)	Č	1,0	Zg. maastricht	70	1900	85,7	23,5	1
26	Zg. radanski sloj (vrt. 5/59:73 m)	M	0,415	Helvet ?	18	600		?	
27	Radanski sloj (razkop odval jaška)	Č	0,74 0,77	Eocen ?	45	700	84	39	5
28	Osredkov sloj (izdanek)	Č	0,78	Eocen ?	50	850	78	40	
29	Straniški sloj (jama)	Č	0,785	Paleocen ?	60	900	82	37	2,5
30	"Pucka" sloj (izdanek vrt. V-7/83:72 m)	Č	0,795 0,795	Campan-maastricht	70	1000	84	38	2,5
31	Grahovo, Srbija- Gosavska kreda (izdanek)*	Č	0,79	Zg. senon	75	1100	80	38	7
32	Konjiška gora (odval)	Č	0,89	Oligocen ?	35	1600	80	35	3
33	Konjiški grad (odval)	Č	0,90	Oligocen ?	35	1600	78		
34	Zbelovska gorca (odval)	Č	0,91	Oligocen ?	35	1600	83	35	3
35	Tolsti vrh (odval)	Č	0,92	Oligocen ?	35	1600	80	40	5
36	Šega pri Makolah (jama)	Č	1,47	Sp. oligocen ?	37	1800	86	24	2
37	Orle pri Ljubljani (jama)	A	4,50	Karnij	200	3000	94	3,5	2

- (1) Oznaka premogišča ali sloja, v oklepaju izvor vzorca ter vrsta premoga: L - lignit z grobim ksilitom, M - medli rjavi premog, S - svetli rjavi premog, Č - črni premog, A - antracit
Designation of coalfields and seams, the sampling site in parenthesis, and the coal groups: L - lignite with coarse xylite, M - mat browncoal, S - brilliant browncoal, Č - bituminous coal, A - anthracite
- (2) Merjena srednja povprečna optična odsevnost huminita-vitrinita v imerzijskem olju
Measured mean random huminite-vitrinite reflectance in immersion oil
- (3) Ugotovljena ali domnevna stratigrafska pripadnost premogonosnih plasti z ustrezno absolutno starostjo v milijonih let
Established or assumed absolute age of the coal beds and the corresponding time span
- (4) Zelo grobo ocenjena največja debelina prekritja H_{max}
Very roughly estimated maximum depth of burial
- (5) Povprečne vsebnosti ogljika in hlapnih snovi za čisto premogovo snov (vpp) ter skupne vlage v premogu
Average carbon and volatiles contents (daf), and total coal moisture content

* Premogi izven SR Slovenije
* Coals from outside Slovenia

Tabela 2. Merjene skrajne vrednosti odsevnosti vzorcev
Table 2. Measured extreme reflectance values

Lokalnost Locality	$R_{\max}$	$R_{\min}$	R_o	$(R_{\max} - R_{\min})$	$R_{\max}/R_{\min}$
Vremski Britof	1,05	0,93	1,0	0,12	1,13
Šega pri Makolah	1,52	1,41	1,47	0,11	1,08
Orle pri Ljubljani	4,97	3,59	4,50	1,38	1,37

Pogostnost srednjih povprečnih optičnih odsevnosti za 34 vzorcev slovenskih premogov ter njihov položaj glede na zrelostni rang in JUS delitev kaže slika 3.

Pri nadaljnji oceni podatkov odsevnosti je zanimiva vrednost tega parametra za stratigrafijo premogonosnih plasti. Direktna opredelitev starosti premogov po odsevnosti seveda ni možna, ker ta ni le funkcija časa, ampak predvsem krajevno in časovno spremenljivih paleogeotermičnih pogojev oglenitve. Zato je relativna primerjava ranga in geološke starosti možna kvečjemu le lokalno in pri enostavni geotermični zgodovini premogišč. Obratno lahko iz znane geološke starosti sedimentov in optičnih parametrov sklepamo na termično zgodovino.

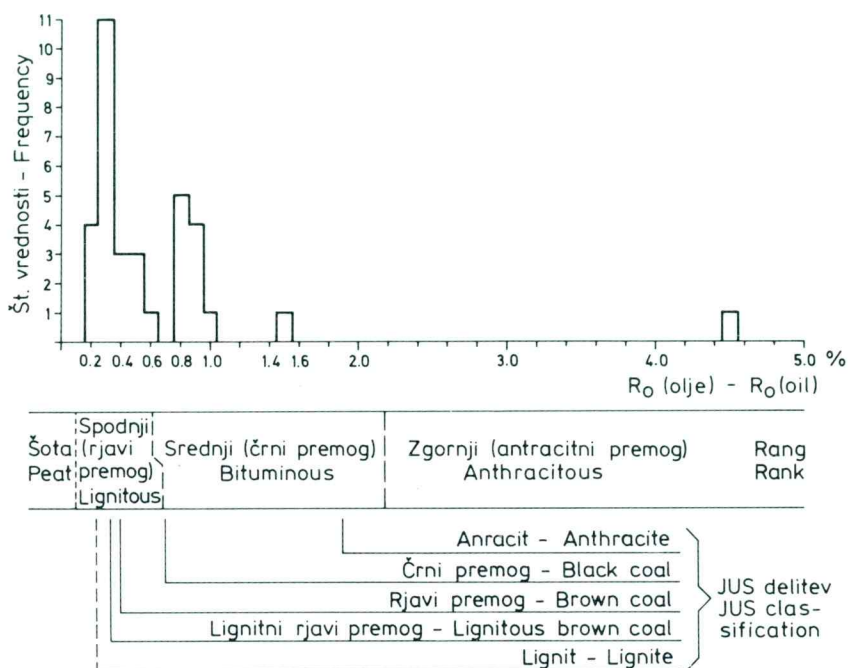
Geotermična zgodovina današnjega slovenskega prostora je bila v geološki preteklosti gotovo dokaj nestalna. Zlasti v obdobju alpinske orogeneze, ko je premikanja zemeljske skorje spremljal še magmatizem, nastali sedimentarni bazeni pa so se hitro polnili in poglobljali. Razmerje srednje povprečne odsevnosti in absolutne starosti obravnavanih premogov kaže slika 4. V principu je linearno; razpršene vrednosti definirajo pas, iz katerega izstopajo le premogi Konjiške gore in prav posebno premog iz Šege. Izrazito anomalen rang tega premoga se kaže tudi na sliki 5, ki predstavlja razmerje odsevnosti R_o in predpostavljenih največjih debelin prekritja. Nagib spojnice litostratigrafsko analognih premogov proti abscisi izraža povprečen gradient oglenitve

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta R_o}{\Delta H} = \text{grad J } (\text{‰ } R_o/100 \text{ m})$$

Ceprav so vrednosti za globine zelo približne, se kažeta vsaj dva gradienta: manjši s povprečno vrednostjo okrog 0,01 ‰ $R_o/100$ m za zgornjemiocenske in pliocenske premoge ter večji z vrednostjo okrog 0,024 ‰ $R_o/100$ m za paleogenske premoge Istre, zreškega in konjiškega pasu ter zgornjekredne premoge. Oligocenski premogi laškega pasu nakazujejo zelo položen gradient, ostali (oligocenski?) pa strmejšega. Slika bo jasnejša, ko bo na razpolago več bolj natančnih podatkov.

Izrazito anomalen položaj premoga iz Šege kaže na lokalno metamorfozo, ki ga je oplemenitila. Isto velja, sicer v manjši meri, tudi za premoge Konjiške gore, mogoče celo za premog Trobnega dola.

Iz tabele 1 vidimo, da se gibljejo vrednosti odsevnosti najmlajših premogov zgornjemiocenske in pliocenske starosti med 0,20 in 0,28 ‰ R_o . Nizka je tudi odsevnost krmeljskega premoga, kateremu sicer pripisujejo tortonsko starost (Pleničar et Premru, 1970). Nasprotno pa kaže premog Kanižarice, ki



Sl. 3. Histogram pogostnosti merjenih srednjih povprečnih odsevnosti R_o za 34 slovenskih premogov

Fig. 3. Frequency diagram of measured mean random reflectance values R_o for 34 Slovenian coals

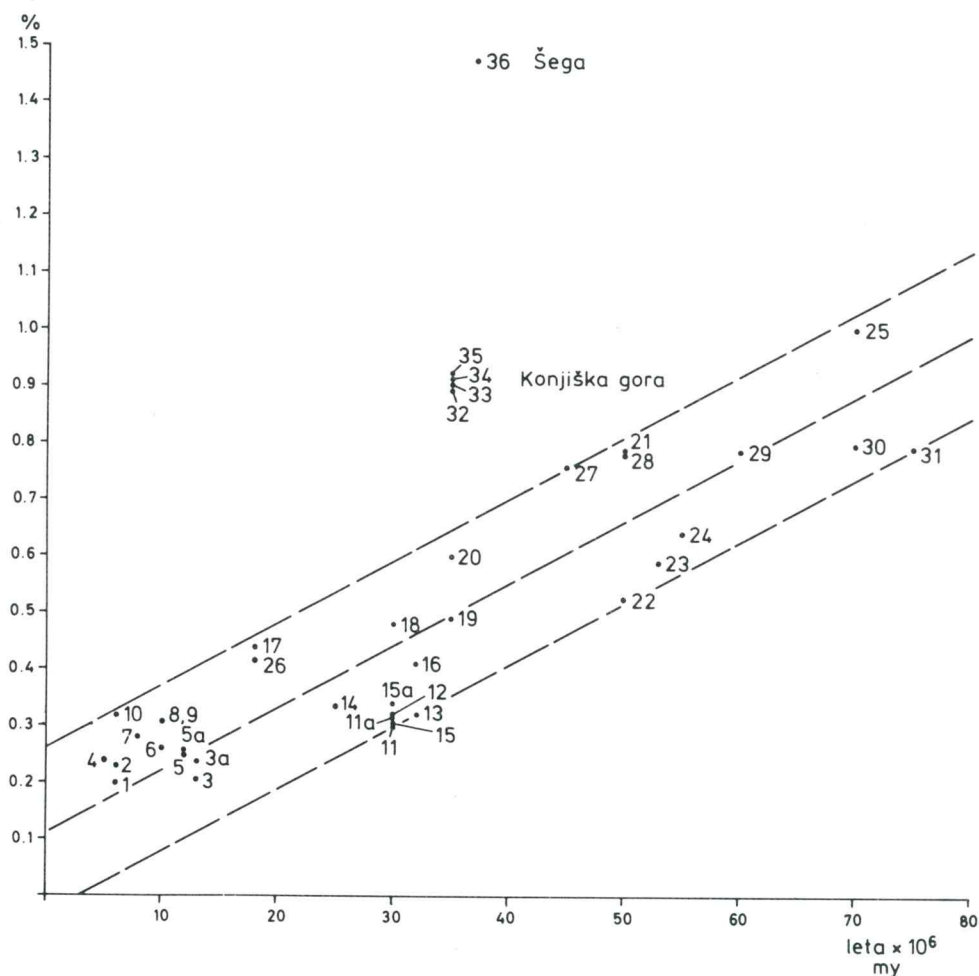
je uvrščen v pont (Petrascheck, 1921/22; Bukovac et al., 1984), rang oligocenskih premogov laškega pasu. Večina naših mladih premogov vsebuje ksilit, ki je v tipični obliki razpoznaven vse do ranga R_o okrog 0,30 %. Petrografske odgovarja tekstinitu.

Več ali manj pasasti medli rjavi premogi kažejo razpon srednje odsevnosti R_o približno med 0,28 in 0,40 %. Temen dopleritski ksilit v njih je pogosten (Süss, 1959). Taki so premogi laškega in senovškega pasu, delno celjskega in ptujskega pasu, pa tudi že omenjena Kanižarica. Temu rangi pripada največji del naših premogov.

Skupina svetlih rjavih premogov ima R_o vrednosti odsevnosti med 0,40 in 0,60 %. Temu rangi pripadajo premogi dela koroškega, celjskega, vzhodnega dela laškega in istrskega pasu, ki so po stratigrafskem položaju dokaj različni. Tako premog iz Sel pri Slovenj Gradcu ni identičen s tistim iz Leš, ki je sarmatske starosti (Štručl, 1970). Visoki rang premoga iz Trobnega dola pa v primerjavi z drugimi premogi laškega pasu kaže na možne lokalne termične vplive; za bližino vulkanskega centra govori 130 m debela plast andezitnega tufa v krovlini premogovega sloja.

Spodnjeeocenski premog iz Sečovelj se z odsevnostjo 0,52 % R_o uvršča v skupino svetlega rjavega premoga. Istrsko-primorski premogi so sicer zaradi svoje visoke vsebnosti organskega žvepla specifični in klasifikacija po kemizmu pri

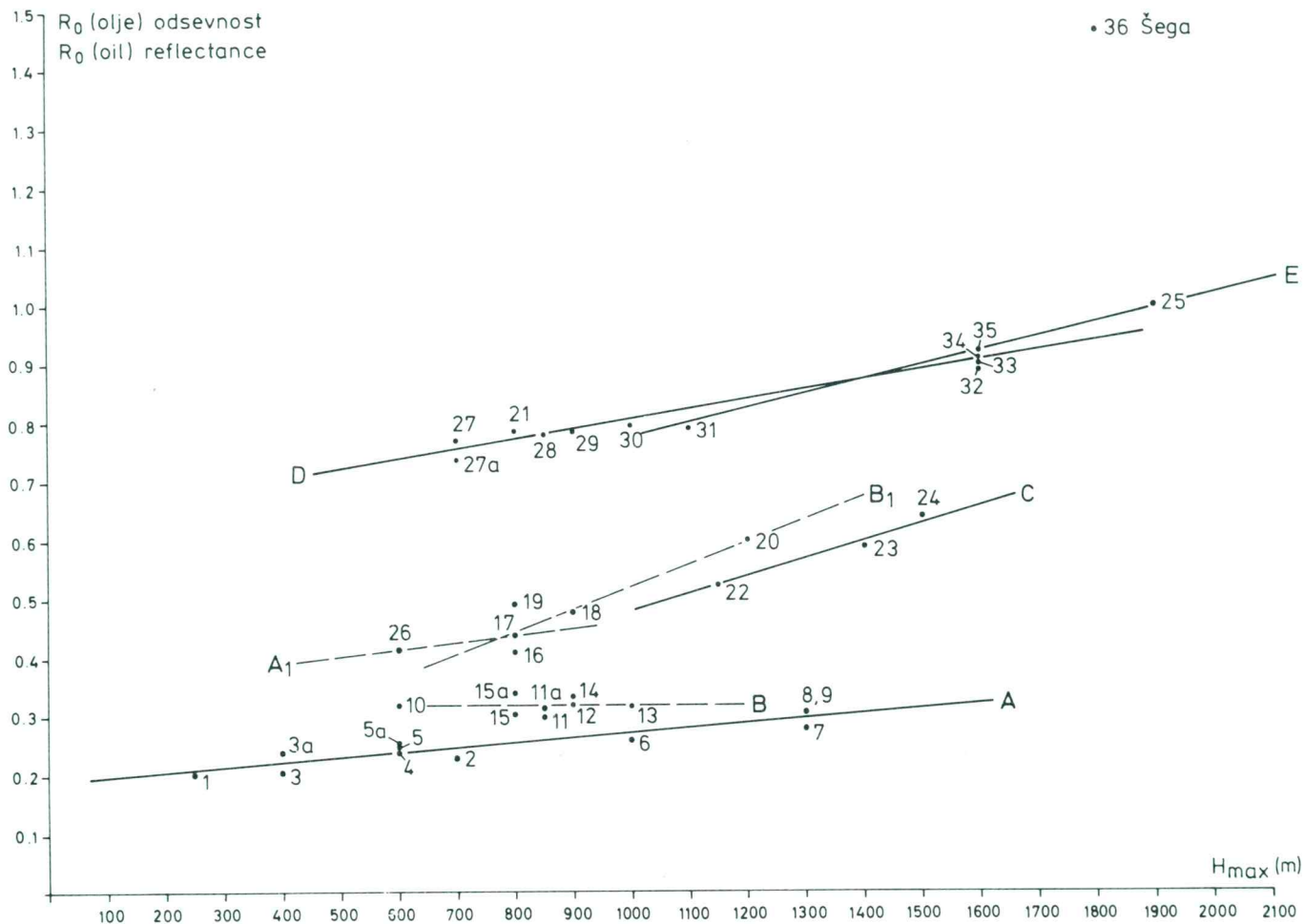
R_0 (olje) odsevnost
 R_0 (oil) reflectance



Sl. 4. Razmerje med merjenimi srednjimi povprečnimi odsevnostmi R_0 in starostjo premogonosnih plasti

Fig. 4. Relationship between measured mean random reflectance values R_0 and absolute age of coal-bearing beds

- A Zgornjemiocenski in pliocenski premogi — Upper Miocene and Pliocene coals
- A₁ Helvetski premogi? — Helvetian coals?
- B Oligocenski premogi laškega in senovškega pasu — Oligocene coals of Laško and Senovo belts?
- B₁ Ostali oligocenski ? premogi — Other Oligocene ? coals
- C Eocenski istrski premogi — Eocene coals of Istria
- D Paleogenski premogi zreškega in konjiškega pasu — Paleogene coals of Zreče and Konjice belts
- E Zgornjekredni premogi — Upper Cretaceous coals



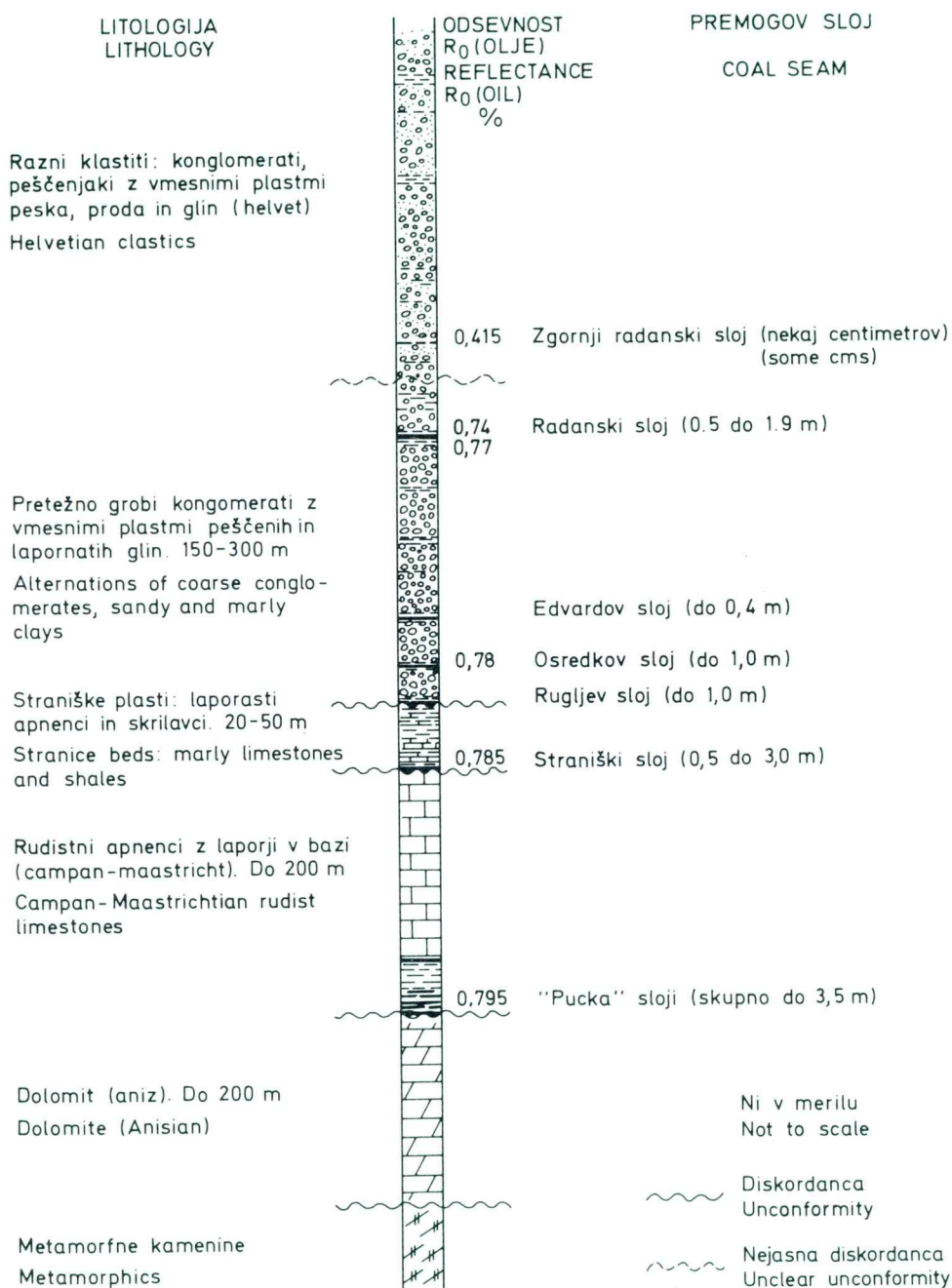
Sl. 5. Razmerje med merjenimi srednjimi povprečnimi odsevnostmi R_0 in ocenjenimi največjimi debelinami prekritja
Fig. 5. Relationship between measured mean random reflectance values R_0 and estimated maximal depth of burial

njih odpove (Hamrla, 1959). Sečovljam genetsko analogni so premogi istrskega pasu, katerih odsevnost v južni smeri lahko raste v skladu z večjo debelino pokrova oziroma nekoliko višjo starostjo. Srednja optična odsevnost R_0 za premog Pičnja je 0,59 %, za Rašo pa 0,64 %. Omeniti je vredno, da so srednjo optično odsevnost R_0 za Rašo merili še Seyler 0,67 % (Kreulen, 1952), Hamrla 0,63 % (1959) in Teichmüller 0,69 % (1974). Razlike so v skladu z zgoraj ocenjenim razponom natančnosti meritev.

Premogi s srednjo povprečno odsevnostjo R_0 nad 0,60 % pripadajo črnim premogom. Taki so zgornjekredni premogi primorskega pasu. Premog iz Vremškega Britofa z 1,0 % R_0 je že izrazito anizotropen. Primerjava z občutno nižjimi vrednostmi zgornjekrednih premogov iz Zreč ter Grahovega (Srbija) vsiljuje misel, da je vremski premog stratigrafsko celo nekoliko starejši.

Premogišča zreškega okoliša so vezana na več premogonosnih horizontov, katerih stratigrafija je že dolgo problematična. Shematsko jih pokažemo na sliki 6. Samo plasti najnižjega premogovnega horizonta (sloj »pucka«) so bile nesporno določene kot campan-maastricht (Mioč et Žnidarčič, 1978; Pavšič et Pleničar, 1981), premog pa ima srednjo optično odsevnost 0,795 % R_0 . Zanimivo je, da ima zgornjesenonski premog iz Grahovega v Srbiji povsem isto odsevnost (Hamrla, 1952). Naslednji višji premogov sloj v zreškem prostoru (straniški sloj) najdemo v bazi tanke skladovnice pretežno laporastih straniških plasti, ki leže diskordantno na krednih apnencih. Njim sledi s ponovno diskordanco debela skladovnica grobih, kompaktnih klastitov, ki v nekaj horizontih vključujejo posamične tanjše premogove sloje (Rugljev, Edvardov, Osredkov in radanski sloj). Slednji je po višini dobrih 200 m nad straniškimi plastmi. Srednja optična odsevnost R_0 vseh teh premogov znaša od 0,785 do 0,74 %, pri čemer vrednosti navzgor padajo. Ker gre za skoraj enak zrelostni rang premogov v geološko ozkem prostoru, lahko sklepamo, da med njimi tudi časovno ne more biti velike razlike. Zato se zdi upravičen sklep, da straniške plasti pripadajo diskordantnemu paleocenu. Povsem ista odsevnost srednjeeocenskega premoga Lepene nad Jesenicami (Mikuž, 1979) tak sklep podpira. Na danij v zreškem prostoru merita tudi Pavšič et Pleničar (1981). Sledeča diskordantna klastična skladovnica z navedenimi sloji premoga bi bila potemtakem tudi paleogenske starosti, po vsej verjetnosti eocene; prodniki numulitnih apnencev v tem okolišu so že dolgo znani. Pri teh zaključkih je razvoj pri Zrečah podoben razmeram na avstrijskem Koroškem pri St. Paulu, Krappfeldu in Guttaringu, kjer leže terestične paleocene plasti na zgornjekrednih plasteh, nad njimi pa spodnjeeocene usedline s sloji premoga (Oberhauser, 1980). Temu sedimentacijskemu prostoru zreške usedline tudi pripadajo.

Nad grobimi klastiti pri Zrečah slede navzgor z nerazločno diskordanco podobne klastične helvetske plasti (Mioč et Žnidarčič, 1978). V njih smo z vrtino 5/59 našli tanko polo premoga (zgornji radanski sloj), katerega odsevnost R_0 je z 0,415 % bistveno nižja od odsevnosti nižjih slojev. Ta rang je identičen rangu helvetskega premoga iz Sel pri Slovenj Gradcu z R_0 vrednostjo 0,44 %. Verjetno gre za iste plasti, ki jih je presekala post-panonski labotski prelom, pri čemer je bilo vzhodno (zreško) krilo pomaknjeno za okrog 15 km proti jugovzhodu.



Sl. 6. Posplošen geološki profil za zreški okoliš s premogovimi horizonti

Fig. 6. Generalized geologic cross section in the Zreče district, showing coal horizons

Relativno visoko odsevnost okrog 0,90 ‰ R_0 , kažejo premogi Konjiške gore in bližnjega okoliša. Najvišjo srednjo odsevnost 1,47 ‰ R_0 , pa ima premog iz Šege pri Makolah, ki je tipičen koksni premog s 24 ‰ (*vpp*) hlapnega in izrazito optično anizotropijo. Premogi okoliša Konjiške gore in Boča so vezani na bazalni del več sto metrov debele skladovnice temno sivih glinasto-meljastih laporjev, ki so od Rolleja (1858) dalje znani kot soteške plasti. Skrilava kamenina mestoma sliči karbonskim ziljskim skrilavcem, kar omenja že Zollikofer (1859). Te premogonosne in mestoma bituminozne plasti se preko Konjiške gore nadaljujejo še dalje proti zahodu, proti vzhodu pa tonejo pod terciar Haloz. Buser (1977) misli, kot že Hoernes (1893) pred njim, da bi utegnile biti eocenske starosti. V novejšem času jih uvrščajo v helvet (Aničić et Juriša, 1985; Rijavec L. ustno sporočilo).

Rang teh premogov in mestoma filitski značaj premogonosnih plasti kažeta vpliv lokalnega termičnega metamorfizma, ki je bil najverjetneje pogojen z rupelskim andezitnim vulkanizmom v tem predelu (Drovenik et Plešničar, 1980). Visoko zrelost premoga v Šegi lahko pojasnimo z visokim lokalnim toplotnim pretokom, vzročno povezanim z vulkanskim centrom severno od Rogaške Slatine, le nekaj kilometrov južno od Šege. Eruptivni center z avtohtonim andezitom je bil tu dokazan z vrtinami. V nekoliko bolj oddaljenem območju Konjiške gore bi bil termični vpliv tega centra že ustrezno manjši. Drugi magmatski vplivi, kot npr. skriti magmatski prodori ob južnem robu metamorfnega kompleksa Centralnih Alp, kjer se periadriatski šiv nadaljuje v balatonski črti, so sicer možni, vendar o tem za zdaj ni nobenih dokazov. Iz navedenega bi sledil sklep, da je premogonosna formacija Šege starejša od rupelskega andezitnega vulkanizma in mlajša od zgornjeeocenskih numulitnih in alveolinskih apnencev Šuštarice (Drobne et al., 1979). Najverjetneje je spodnjeoligocenske starosti. Fosilna flora iz Šege tak sklep podpira (Engelhardt, 1902).

Najvišjo optično odsevnost vitrinita v Sloveniji ima za zdaj karnijski premog z Orel pri Ljubljani. Srednja odsevnost R_0 znaša 4,50 ‰, kar ga opredeljuje na prehod od črnega premoga k antracitu. Optična anizotropija je izrazita. Tako visok rang govori za metagenezo, pogojeno predvsem z dolgotrajnim debelim prekritjem.

Navedene vrednosti odsevnosti vitrinita, ki je indikator stopnje zrelosti organske snovi v sedimentih, so uporabne tudi pri karakterizaciji naftogene potencialnosti plasti in formacij, katerim preiskani premogi pripadajo. Del navedenih odsevnosti kaže na zrelostni stadij »naftnega okna«, predvsem pri premogih severovzhodne in jugozahodne Slovenije. Višji zrelostni rang vitrinita govori kvečjemu za prisotnost plina, odsevnosti nad 3 ‰ R_0 , pa za sterilnost.

Preliminarna raziskava optične odsevnosti je obsegla zaenkrat le slučajne vzorce dobre tretjine znanih slovenskih premogišč. Ustrezna dopolnitev z novimi, natančnejšimi vzorčevanji in podatki bo omogočila boljše zaključke.

Light reflectance of some Slovenian coals

The coal deposits, occurrences and shows in Slovenia can be conveniently arranged in 13 individualized coal belts, which are concentrated and aligned mainly in its eastern part. Suitable names have been given to them (Fig. 1). Over 90 localities are comprised therein. Some coal fields are economically important. The majority, however, are occurrences and shows only with limited or no economic importance. As to the age the coals range from Upper Triassic to Pliocene. Facially and typically they are manifold with limnic-paludal humic types prevailing. The paralic lagunal types are found in southwestern part of Slovenia in the Littoral and Istria belts. They were deposited in stagnant water under oxygen-deficient conditions and involve sapropelic matter. The detailed stratigraphic position of some coal-bearing beds is still to be solved.

In this paper a brief prefatory account of the coal evolution is given, stressing the concept of the irreversibility of the coalification process and the importance of rank parameters. Thermal history of the accumulated organic matter is essential for its evolution. However, the rank attained can be achieved through different combinations of time and temperature. On the other hand the maceral composition of a coal reflects its genetic characteristics and determines its properties. Huminite-vitrinite is the most important maceral group, the humic materials appearing in a number of submacerals and maceral types which are competent for coal rank determinations and hence for the reflectance ranging.

Furthermore, the division of coals and various classifications are briefly resumed. Some national classifications are compared with the Yugoslav standard division of coals to five groups (Fig. 2). It is based on the total moisture content and the calorific value, for the "black coal" and anthracite groups also on the volatile matter content, the latter parameters on *daf* basis. The coals of lower rank are divided into 3 groups: lignite, lignitic brown coal and brown coal. They are subdivided into 30 subgroups according to the total moisture content (*af* basis) and the yield of tar (*daf* basis). The "black coal" and anthracite groups are marked by less than 10 and 5 percent of total moisture and less than 40 and 15 percent of volatiles correspondingly, both higher than 30 MJ/kg in calorific value.

The recent attempts and proposals for a universal classification of solid fuels are briefly discussed. They are based on a number of parameters expressed as numerical codes. All of them include the huminite-vitrinite reflectance.

A short account of rank stage determination in low rank coals by fluorescence microscopy of exinite is briefly given, too.

As in coal evolution the temperature change is of essential importance also in hydrocarbon generation. The temperature is controlled basically by the depth of burial and the heat flow density, both factors affecting decisively the degree of maturation of organic matter in sediments. The huminite-vitrinite reflectance is the indicator of the degree of organic maturation. It is well known that the main phase of oil formation in the source rocks corresponds to a vitrinite reflectance interval between 0,5 and 1,3 % R_o ("oil window"). At lower and higher ranks gas is formed, the upper gas phase ending at a catagenic stage corresponding to a vitrinite reflectance of ca 3 % R_o .

The huminite-vitrinite reflectance in a coal is subject to small variations which are due to various factors. The botanical, facial and compositional differences in humic matter are considered the major cause for a scatter up to $\pm 0,1$ about the mean $\% R_0$ value. The oxidation at lower temperatures (weathering) reportedly does not affect perceivably the vitrinite reflectivity although it does change its chemistry. The reflectance values of weathered and fresh coals are therefore equivalent.

In this study the vitrinite reflectance in oil was determined for 34 occasional samples of different Slovenian coals of various provenance: collections, underground workings, boreholes, old dumps and outcrops. The polished surfaces of preparations have been oriented randomly or roughly perpendicularly to the banding. The reflectance measurements have been carried out partly with the equipment of the Geological department of the University of Ljubljana consisting of a Leitz MPF photometer on Ortholux microscope with monochromator and the galvanometer sensitivity 10^{-9} A per scale interval, partly with the Berek photometer on a Leitz KPM microscope, owned by the Ljubljana Geological survey. A Leitz $25 \times 0,65$ oil immersion objective and an 8-power ocular were applied. Though the field of measurement of both devices is not equal the reflectance values are comparable with deviations appearing in the second decimal only. The precision of the instruments is practically the same. The refractive index of the oil has been checked with an Abbe refractometer. Two reflectance standards were used: the Leitz glass prism R 9 and a synthetic sapphire with reflectance in oil 1,252 $\%$ and 0,588 $\%$ respectively, at a standard wavelength of 546 nm.

In average 27 measurements on different vitrinite bands were made for each preparation and the mean value was calculated as the arithmetic mean. The huminite-vitrinite mean random reflectance values of the measured samples are given in Table 1. Taking into consideration the variations in reflectance of huminitic macerals, the possible weathering effects and the comparability and precision of the instruments, the data accuracy has been roughly estimated at $\pm 0,05$ to the $\% R_0$ values. The data shown are hence deemed accurate and characteristic at least in the first decimal.

In Table 1 some established or assumed additional data are presented: stratigraphy and absolute ages, maximum depth of burial and basic coal rank parameters, the latter collated from various sources for general information only.

Maximum and minimum reflectances have been measured for three clearly anisotropic coals (Table 2).

From the frequency diagram of the mean random reflectance values R_0 for the measured Slovenian coals can be seen that the majority occupies the reflectance intervals 0,20 to 0,60 $\% R_0$ and 0,75 to 1,0 $\% R_0$, hence appertaining to lower ranks of lignituous as well as bituminous coals (Fig. 3). Higher coalification exhibit the medium volatile coking coal of Šega and the anthracite of Orle, the former uniquely anomalous, the latter highly mature and characteristic for the Ljubljana coal belt. Optical anisotropy is also well evident in the Upper Cretaceous coals of the Littoral belt.

The relationship of measured mean random reflectance with the absolute age of investigated coals shows a general positive correlation (Fig. 4). The re-

lationship of reflectance with maximum depth of burial indicates the time-unstable paleogeothermic gradients (Fig. 5).

An attempt was made to apply the reflectance of coals as an aid in stratigraphic considerations. In the narrow Zreče coal district where several unconformably positioned coal horizons overlie the coal-bearing Upper Cretaceous beds, the very close vitrinite reflectance values of coals cannot but point to a closeness in the stratigraphy, thus strongly indicating the presence of the Paleogene beds (Fig. 6). An unclear unconformity separates them from the overlying Helvetian beds previously considered as the sole Tertiary member in this area.

On the other hand, the anomalously high rank of the Šega coal, and to a lesser degree also of the adjacent coals to the west in the Konjice belt, can be explained by a local geothermal high coinciding with the Rupelian andesitic volcanism which is evident in that area. Other causes of the locally elevated heat flow density are unlikely. The age of the coal-bearing Šega sequence is consequently pre-Rupelian, the beds probably belonging to Lower Oligocene.

As a direct indicator of the thermic transformation of organic matter in sediments, the established coal ranks also can be applied in the preliminary assessment of the hydrocarbon potential of the sedimentary beds.

The preliminary rank study of the Slovenian coals embraced not more than a good third of the known coals. When adequately supplemented with new data of additional properly selected and sampled coals, more and better conclusions will be rendered.

Literatura

- Alpern, B. 1978, Optical properties of palynomorphs and petroleum potential. Proc. IV int. Palynol. Conf., Lucknow (1976—77) 1, 110—125.
- Alpern, B. 1980, Kérogène, ch. 11: Pétrographie du kérogène. Ed. B. Durand, Edition Technip, Paris.
- Alpern, B. 1981, Pour une classification synthétique universelle des combustibles solides. Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine 5, 2, 271—290, Pau.
- Ammosov, I. I., Gorškov, V. I. & Grečišnikov, N. P. 1980, Paläo-geothermische Kriterien der Verteilung von Erdöllagern. Zeitschr. f. ang. Geol. 26, 12, 644—646, Berlin.
- Aničić, B. & Juriša, M. 1985, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Rogatec. 76 p., Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Bartenstein, H. & Teichmüller, R. 1974, Inkohlungsuntersuchungen, ein Schlüssel zur Prospektierung von paläozoischen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten. Forstsch. Geol. Rheinld. u. Westf. 24, 129—160, Krefeld.
- Buntebarth, G. 1979, Eine empirische Methode zur Berechnung von paläo-geothermischen Gradienten aus dem Inkohlungsgrad organischer Einlagerungen in Sedimentgesteinen mit Anwendung auf den mittleren Oberrhein Graben. Fortsch. Geol. Rheinld. u. Westf. 27, 97—108, Krefeld.
- Buntebarth, G. 1980, Geothermie. Springer Verlag, Berlin.
- Bukovac, J., Poljak, M., Sušnjak, M. & Čakalo, M. 1984, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Črnomelj. 63 p., Savezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S. 1977, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač lista Celje. 72 p., Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Demann, W., Radmacher, W. & Mantel, W. 1954, Die Internationale Klassifikation der Steinkohlen. Brennst.-Chm. 9/10, 35, 129—143, Essen.

- Drobne, K., Pavlovec, R. & Drobne, F. 1979, Mikrofosilne karakteristike starejšega paleogena na zahodnem obrobju Panonskega bazena. Zbor. radova IV. znanstv. skup. za naftu JAZU, 155—172, Zagreb.
- Drovenik, M., Pleničar, M. & Drovenik, F. 1980, Nastanek rudišč v SR Sloveniji. *Geologija* 23/1, 1—157, Ljubljana.
- Engelhardt, H. 1902, Tertiärpflanzen von Stranitzen, Schega und Radeldorf in Steiermark. *Beitr. Paläont. Geol. Österr.-Ung. u. Orients XIV*, Wien and Leipzig.
- Francis, W. 1954, Coal — its formation and composition. Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.
- Hamrla, M. 1952, Prispevek h geologiji produktivnega senona na področju Grdeličke klisure v južni Srbiji. *Geologija* 1, 243—261, Ljubljana.
- Hamrla, M. 1959, O pogojih nastanka premogišč na krasu. *Geologija* 5, 180 do 264, Ljubljana.
- Hoernes, R. 1893, Die Kohlenablagerungen von Radeldorf, Stranitzen und Lubnitzengraben bei Röttschach und von St. Britz bei Wöllan in Untersteiermark. *Mitth. d. naturw. Ver. f. Stmk.*, Jahrg. 1892, 29, 275—295, Graz.
- ICCP, 1957, International handbook of coal petrography, 1. izd. (z dodatki iz 1971 in 1975). C.N.R.S., Paris.
- Jacob, H. 1980, Die Anwendung der Mikrophotometrie in der organischen Petrologie. *Leitz Mitteil. f. Wissensch. u. Tech.* VII, 7, Wetzlar.
- Jugoslovanski standard JUS B. HO. 001. 1984 (a) Premog — splošna razvrstitev. Zvezni zavod za standardizacijo. Pravilnik št. 50-10166/1 z dne 1984-06-28. Uradni list SFRJ št. 45/84, Beograd.
- Jugoslovanski standard JUS B. HO. 005. 1984, (b) Naravna trdna goriva — razvrstitev rjavih premogov in lignita v vrste po deležu skupne vlage in katrana. Zvezni zavod za standardizacijo. Pravilnik št. 50-10166/1 z dne 1984-06-28. Uradni list SFRJ št. 45/84, Beograd.
- Karweil, J. 1855, Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie. *Z. Dtsch. Geol. Ges.* 107, 132—139, Stuttgart.
- Koch, J. 1969, Heufigkeitsverteilungen von Vitrinit-reflexionswerten und reflexionsmässig unterscheidbare Vitrinite. ICCP poročilo.
- Kreulen, D. J. 1952, Sulphur coal of Istria. *Fuel* 31, 4, 462—467, London.
- Künstner, E., Sontag, E. & Süss, M. 1980, Zur petrographischen Bewertung von Braunkohlen für die Praxis — Möglichkeiten, Fortschritte und Probleme. *Zeitschr. f. ang. Geol.* 26, 5, 237—243, Berlin.
- Marchioni, D. L. 1983, The detection of weathering in coal by petrographic, archeologic and chemical methods. *Int. J. of Coal Geol.* 2, 231—259, New York.
- McCartney, J. T. & Teichmüller, M. 1972, Classification of coals according to degree of coalification by reflectance of the vitrinite component. *Fuel* 51, January, 64—68, London.
- Mikuž, V. 1979, Srednjeocenski moluski iz Lepene. *Geologija* 22/2, 189—224, Ljubljana.
- Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1978, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Slovenj Gradec. 74 p., Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Oberhauser, R. 1980, Der geologische Aufbau Österreichs. Springer Verlag, Wien; New York.
- Pavšič, J. & Pleničar, M. 1981, Danijske plasti v Sloveniji. Zbornik referatov 2, 13—20, Odsek za geologijo FNT Univerze E. Kardelja v Ljubljani.
- Petrascheck, W. 1921/22, Kohlengeologie der österreichischen Teilstaaten; II. Allgemeine Kohlengeologie. Berg- u. Hüttenmänn. Jhrb. 79/70, 3, Katowice.
- Pleničar, M. & Premru, U. 1970, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. 61 p., Tolmač za list Novo mesto. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Robert, P. 1980, Kerogen, ch. 12: The optical evolution of kerogen and geochemical histories applied to oil and gas exploration. Ed. by B. Durand, Edition Technip, Paris.
- Robert, P. 1981, Classification of organic matter by means of fluorescence; application to hydrocarbon source rocks. *Int. J. of Coal Geol.* 1, 101—137.

Robert, P. 1985, Histoire géothermique et diagenèse organique. Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Mem. 8, Pau.

Rolle, F. 1858, Geologische Stellung der Sotzka Schichten. Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss., XXX, 24—25, Wien.

Stach, E., Taylor, G. H., Mackowsky, M. Th., Chandra, D., Teichmüller, M. & Teichmüller, R. 1975, Stach's textbook of coal petrology. Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart.

Süss, M. 1959, The petrography of xylites. Forschungs. A 148, 14—33, Freiburg.

Štručl, I. 1970, Stratigrafske in tektonske razmere v vzhodnem delu severnih Karavank. Geologija 13, 5—20, Ljubljana.

Teichmüller, M. 1962, Die Genese der Kohle. Compte rendu du quatr. congrès des études et de géol. du Carbonifère (Heerlen, 1958) III, 699—722.

Teichmüller, M. 1971, Anwendung Kohlenpetrographischer Methoden bei der Erdöl — und Erdgasprospektion. Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie ver. m. Brennstoff-Chemie 24, 2, 69—76, Hamburg.

Teichmüller, M. 1974, Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. Fortschr. Geol. Rheindl. u. Westf. 24, 65—112, Krefeld.

Teichmüller, M. 1981, Braunkohlenmikroskopie — Entwicklung und Stand der Methoden. Fortschr. Geol. Rheindl. u. Westf. 29, 449—468, Krefeld.

Teichmüller, M. & Ottenjann, K. 1977, Liptinite und lipoide Stoffe in einem Erdölmuttergestein. Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie ver. m. Brennstoff-Chemie 30, 9, 387—398, Hamburg.

Teichmüller, M., Teichmüller, R. & Weber, K. 1979, Inkohlung und Illit-Kristallinität. Vergleichende Untersuchungen im Mesozoikum und Paläozoikum von Westfalen. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 27, 201—276, Krefeld.

Volkman, N. 1982, Die Anwendung fluoreszenzmikroskopischer Arbeitsmethoden in der Petrologie von Weichbraunkohlen. Freib. Forsch. H. C 377. Bergak. Freiberg.

Zollikofer, Th., 1859, Die geologischen Verhältnisse des Drannthales in Untersteiermark. Jb. Geol. R. A. 10, 209—216, Wien.