

ДОПРИНОС БОЉЕМ ПОЗНАВАЊУ ФИЗИЧКО–МЕХАНИЧКИХ СВОЈСТАВА УГЉЕВА У ФУНКЦИЈИ ПЕТРОГРАФСКОГ САСТАВА

од

Димитрија Димитријевића*

Циљ рада је био да се допринесе бољем познавању физичко–механичких особина угљева у функцији петрографског састава. У том циљу коришћена су досадашња светска искуства, као и досадашњи резултати аутора рада. Изучавање ове особине угљене материје у оквиру угљених басена југословенског простора до сада је било недовољно. Потребно је напоменути да ова врста испитивања, поред научно–фундаменталног има и практичан значај, јер резултати омогућују решавање многих проблема за откопавање и припрему угља за разне сврхе.

Кључне речи: мацерали, микролитотипови, типови, гелифициране микрокомпоненте, витрен, кларен, фузен, дурено–кларен, косфицијент дробљивости, детрит–тексто, детрит–гело, текстит–гело.

ФИЗИЧКО–МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ПЕТРОГРАФСКИХ КОМПОНЕНАТА

Карактер физичких особина угљева у првом реду је резултат њиховог структуролошког састава, степена угљенификације, оксидације, присуства минералних примеса и др.

На све ово указују чињенице да су угљеви веома сложене материје, и да се на основу матичног материјала од кога су постали битно разликују хумусни, сапропелни и липтобиолитски угљеви узмеђу себе; ове разлике огледају се и између различитих врста једне исте групе.

Да су угљеви сложене органске материје потврђује и петрографија угљева, која је путем микроскопског истраживања утврдила да су они изграђени од асоцијација мацерала и микролитотипова. На њихову сложеност још више утиче чињеница, да сваки мацерал и микролитотип поседује сопствене физичко–механичке и хемијско–технолошке особине (Dimitrijević, 1980). Према томе квалитативно–квантитативне карактеристике појединих микролитотипова и мацерала диктирају и својства угљене материје. Међутим, ово питање је још сложеније ако се узме у обзир да између појединих врста угљева постоје прелазни облици, као нпр. дуренско–кларен-

* Институт за регионалну геологију и палеонтологију Рударско–геолошког факултета Универзитета у Београду, Каменичка б. 11 000 Београд.

ски угаљ, витрено–кларенски и др. У склопу ових особина потребно је укомпоновати и степен карбонизације, који је веома различит у оквиру угљева у ширем смислу.

Физичко–механичке особине, међу којима нарочито: тврдина, дробљивост, пластичност, боја и сјај и др., имају велики и практичан значај, јер њиховим испитивањем код одређеног угља утврђују се фундаментални параметри за решавање низа питања из области експлоатације, припреме и прераде угљене материје.

У овом раду биће обухваћено неколико најважнијих физичко–механичких особина петрографских микролитотипова угља.

Тврдина

Тврдина представља отпор угља према парању, а она, поред осталих фактора зависи и од петрографског састава.

Испитивање хумусних угљева су показала да код ових угљева преовлађују фузенизиране микрокомпоненте, при чему је минерализовани фузен тврд, а неминерализовани мек (Nikolić i Dimitrijević, 1980). Тврдина минерализованог фузена одређује се минералом који испуњава структуралне отворе фузена. Тако нпр. калцит и шприт по Мосовој скали имају тврдину 3 и 6,5.

Највећу тврдину имају угљеви фузено–ксиленско–дуренски и ксилено–дуренски, а нарочито када је фузенска компонента равномерно распоређена у гелифицираној основи маси. Хумусни угљеви код којих преовлађују гелифициране микрокомпоненте (кларенски, дуренско–кларенски и витрински), мање су тврди, у односу на угљеве код којих преовлађују фузенизиране микрокомпоненте. Трећи тип хумусних угљева код кога преовлађују кутинске и смолне микрокомпоненте (спорин, кутикулин и смолни дурен и кларенско–дуренски угаљ) одликују се значајном тврдином.

Утврђено је да тврдина, односно микротврдина појединих петрографских компоненти зависи од степена метаморфизма. Са порастом степена метаморфизма и микротврдина микролитотипова расте.

Претпоставља се да је промена микротврдине петрографских микролитотипова последица промена њихове молекуларне структурне грађе. Према томе треба имати у виду да је угљена материја смеша високомолекуларних једињења која се састоји од кондензованог језгра ароматичне структуре и сложених атомских група са двоструким бочним везама, које су повезане са језгром.

На основу изнетог може се закључити:

– петрографске компоненте угљева значајно се разликују међусобом по микротврдинама,

– највећу микротврдину имају микрокомпоненте групе фузита, а најмању група липтинита, док витринит заузима средишњи положај.

Дробљивост

Досадашња испитивања дробљивости угља преко петрографског састава показала су непосредну везу између ова два чиниоца.

Дробљивост угља је веома значајна физичка особина, посебно за примењена истраживања, јер добијени резултати непосредно доприносе решавању проблема везаних за експлоатацију угљене материје и за њену прераду посебно у циљу употребе угљева у технолошким процесима добијања продуката веће топлотне вредности (полукокс, кокс, брикет и др.).

Значајни резултати у овом процесу добијени су приликом испитивања дробљивости угљене материје и петрографских микролитотипова вршених у оквиру угљене материје Бановићког угљеног басена у Босни (Dimitrijević i Svetković, 1968; Dimitrijević, 1974). Том приликом за одређивање параметара коефицијената дробљивости "f" употребљава се метода Протођаконова.

Коефицијент дробљивости "f" на основу добијених података одређен је по образцу:

$$f = 20 \text{ n/h}$$

где су:

f – коефицијент дробљивости угља

n – број падова тега

h – висина материјала у мензури (mm)

Поред коефицијента "f" за сваки петрографски детерминисани састојак угља утврђују се и тежинске вредности фракција испод 0,5 mm и процентуалне вредности те фракције у односу на суму полазних тежина свих проба угља (табела 1).

Табела 1 – Table 1

Рудник (Mine)	микролитотипови (Microthotype)	"f"	G		kg/cm ³	W%
			gr	%		
Ђурђевић (Durdjević)	детрит-тексто (detrotexite)	1,54	21,56	5,3	0,82	7,7
	детрит-гело (detrogelite)	1,39	23,30	5,8	0,74	15,2
	текстит-гело (textogelite)	1,11	25,60	6,4	0,58	10,1
	фузит (fusite)	0,40	49,00	16,2	0,21	6,0
Бановићи у ужем смислу (Banović proper)	детрит-тексто (detrotexite)	1,62	19,57	6,5	0,86	11,0
	детрит-гело (detrogelite)	1,27	23,10	7,7	0,67	13,7
	текстит-гело (textogelite)	1,00	29,35	9,8	0,53	12,0
	фузит (fusite)	0,40	49,00	16,2	0,21	6,0

Утврђено је да влага утиче на резултате. Приликом испитивања поменутих угљева, односно њихових петрографских микролитотипова влага се кретала од 6–11%.

Између запремина добијених фракција испод 0,5 mm и специфичног рада утрошеног за разарање угља постоји директна веза и она је приказана изразом $A=0.53f \text{ (kg/cm}^3\text{)}$ (Dimitrijević i Svetković, 1968).

Испитивања су показала (табела 1) да са опадањем коефицијента "f" опада и специфичан рад.

Лабораторијска испитивања су показала да је коефицијент дробљивости за сваки од утврђених микролитотипова различит и креће се од 0,4 код фузита, до 1,54 код детрит-гела (мат литотипа), па према њиховој процентуалној заступљености расте или опада овај коефицијент у угљеној материји угљеног слоја.

Пошто је утврђено да дробљивост непосредно зависи од петрографског састава, јер сваки петрографски микролитотип има сопствене вредности дробљивости, то значи да постоји непосредна зависност ових вредности са дистрибуцијом појединих петрографских микролитотипова по разним гранулацијама угља (Nikolić i Dimitrijević, 1980).

Специфична тежина

Специфична тежина угљева зависи и од петрографског састава, количине минералних примеса и степена метаморфизма.

Истраживања су показала да у поређењу са другим микролитотиповима витришит има најмању специфичну тежину, кларит нешто већу, а дурит највећу.

Испитивања (Dimitrijević, 1980) у оквиру проучавања мрких угљева неких басена (табела 2) указала су на исправност претходне констатације.

Табела 2 – Table 2 (Dimitrijević, 1980)

испитивани угаљ (coal deposit)	угљена материја (carbonaceous material)	специфична тежина микролитотипова (specific gravity)			
		детрит-тексто (detrotexite)	детрит-гело (detrogelite)	текстит-гело (textogelite)	фузит (fusite)
"Мостар" (Mostar)	1.37	1.23	1.35	1.28	1.35
"Какањ" (Kakanj)	1.23	1.24	1.26	1.33	1.36
"Омазичи" (Omazici)	1.38	1.22	1.26	1.30	1.37
"Ђурђевић" (Djurdjevic)	1.34	1.23	1.22	1.29	1.37

Ова испитивања су потврдила да су вредности специфичне тежине угљева у функцији петролошког састава. Тако фузит код свих испитиваних угљева показује највеће вредности специфичне тежине. После фузита долази текстит-гело (изузев код угља рудника "Мостар", што је последица деловања и других фактора). Текстит-гело поседује вредности између два претходна микролитотипа.

Може се констатовати да су сва досадашња испитивања показала непосредну зависност ове физичке особине од петрографског састава.

Пластичност и еластичност

Петрографски микролитотипови недовољно су проучени са становишта пластичних и еластичних особина угљене материје, па је тешко извући дефинитивне закључке. Међутим, ипак, постоји могућност на основу досадашњих истраживања указати на неке карактеристике. Тако се петрографски микролитотип детрит-тексто јавља као изразито хетероген, мек и нестабилан петрографски састојак. Он не поседује јаку тврдину, али је изразито еластичан.

Детрит-гело који у себи садржи скоро 50 % гелифициране дрвенасте материје одликује се мањом еластичношћу од претходног микролитотипа. Текстит-гело у зависности од тога да ли је представљен гелитом или ксилитом, или заједно (у којим одиосима) формира и ствара еластична својства. Ако садржи већу количину ксилита, онда се одликује већом еластичношћу. Међутим, уколико је представљен јако гелифицираним дрвенастим ткивом, онда нема еластичности, тврд је и крут. Фузит, као изразито крт петрографски микролитотип не поседује потребну механичку стабилност, тако да је особина еластичности отсутна. На ово су указала и испитивања која су у оквиру угљеног басена "Рамићи" код Бањалуке извршили Dimitrijević i Šalović (1967). Ова испитивања су указала на функционалност између петрографског састава и физичко механичке стабилности угљене материје, односно њене еластичности.

Истраживања у оквиру овог рудника су обухватила два угљена слоја, па је упоређивањем вредности параметара чврстоће између њих утврђено да су неке вредности ових параметара последица високог садржаја јако гелифицираног дрвенастог ткива, које се одликују геомеханичком нестабилношћу. Тако се узорци угља I угљеног слоја разликују у овој особини од узорка угља II угљеног слоја који поседује повишене вредности параметара чврстоће и еластичности. Ово се тумачи много већом заступљеношћу детрит–текста у односу на гелифицирано дрвенасто ткиво. Већа геомеханичка стабилност детрит–текста јавља се као узрок његове грађе, тј. хетерогености, која му, због присуства микросастојака, даје посебна физичко–механичка својства.

Наведени пример као и друга истраживања указују на велики значај петрографског састава угљене материје.

Сјај и боја

Сјај угља је директно зависан од петрографског састава. Тако су угљеви код којих преовлађују фузенизиране компоненте најчешће мат или полумат. Полумат се односи и на угљеве који садрже мање од 50 % гелифициране дрвенасте материје и угљеве који се састоје од слабо фузенизираних микрокомпонената.

Угљеви код којих преовлађују гелифициране микрокомпоненте (кларенски, дуренски–кларенски, витренски) припадају сјајним угљевима. Само дурено–кларенски су полусјајни.

У угљевима код којих преовладавају споре, кутикуле или смолна тела, одликују се смањеном сјајношћу.

У погледу боје угљева, петрографски састав са осталим факторима утиче на ову особину. То потврђује чињеница да мацерали који изграђују микролитотипове имају карактеристичне боје. Тако, нпр. мацерали који воде порекло од коре и дрвоине биљака одликују се различитим бојама. Витринит посматран под микроскопом у пропуштеној светлости је светао или тамно–наранџасте боје, а у одбијеној светлости тамне до светло сиве боје. Фузит поседује црну боју, а семифузит светло–тамну и др.

Мацерали који воде порекло од отпорних остатака виших биљака и алги, такође имају карактеристичне светле боје.

У процесима оксидације боја петрографских микролитотипова се мења, као и сјај, а самим тим и читаве угљене материје.

ЗАКЉУЧАК

Испитивања која су до сада извршена у свету и нашој земљи показала су да на физичке особине значајно утиче петрографски састав угљене материје.

Имајући у виду да су угљеви сложене смеше мацерала и микролитотипова, мада сваки од њих поседује и сопствене физичке особине, зависност физичких особина угљене материје зависи од квалитативно–квантитативних карактеристика микролитотипова и мацерала.

Ова чињеница указује да изучавање физичких особина мацерала и микролитотипова угљева има велики фундаменталан, као и примењени значај, јер од физичких својстава зависи геомеханичка стабилност као и друге особине угљене материје које све скупа имају пресудан утицај на решавање многих питања експлоатације, припреме и прераде угљева за различите сврхе.

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COAL IN RELATION TO PETROGRAPHIC COMPOSITION

by

Dimitrije Dimitrijević*

Physical and mechanical properties of coal from the national coal basins have not been sufficiently studied. The relation of these properties to the petrographic composition of coal, based on the international information and author's study, are considered in this work. Note that besides the scientific, this kind of research also has a practical importance, because it helps solving many problems of coal extraction and processing for various uses.

Key words: macerals, microlithotypes, jellified microcomponents, vitrain, clarain, fusain, duroclarain, Hardgrove index, detrotexite, detrogelite, textogelite.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PETROGRAPHIC COMPONENTS

The physical character of a coal is primarily the result of its texture, coalification degree, oxidation, mineral impurities, etc.

Coal is a complex material; depending on the parent material, coals are humic, sapropelic or liptobiolitic, or varieties within each of these groups. That coal is a complex organic material is confirmed by coal petrography; microscopically examined, coal is composed of an association of macerals and microlithotypes, and to add to its complexity, each maceral and each microlithotype has own physical, mechanical, chemical, and technological properties (Dimitrijević, 1980). Hence, the qualitative and quantitative characteristics of a microlithotype or a maceral determine the properties of the coal. The complexity is even greater where intermediate varieties between two kinds of coal are concerned, such as duroclarain, or vitroclarain lithotype coal. The carbonisation level is a characteristic which also widely varies among coals.

* Univeristy of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Institute of Regional Geology and Paleontology, Kamenička 6, 11000 Belgrade.

Physical and mechanical properties, particularly hardness, crushability, plasticity, colour, lustre, etc. have practical importance, because excavation and processing techniques and technologies are depending on them.

This work will consider several most important physical and mechanical properties of the petrographic coal microlithotypes.

Hardness

Hardness is the coal resistance to scratching, which depends on the composition in addition to other factors. Examined humic coals showed the prevalence of fusinised component. The mineralized fusain is hard, unlike nonmineralized soft fusain (Nikolić & Dimitrijević, 1980). The hardness of mineralized fusain is determined on the mineral filling the fusain interstices. Thus, calcite and pyrite are rated 3 and 6.5, respectively, on Mohs' scale.

The hardest coals are fusain-xylain-durain and xylain-durain types, particularly those which have fusain uniformly distributed in jellified groundmass. Humic coals which contain dominantly jellified microcomponents (clarain, duroclarain, vitrain) are less hard than the coals with prevailing fusinised components. The third type of humic coals, of mainly exinoid and resinous microcomponents (sporinite, cutinite, and resinous durain and clarodurain coals) are quite hard.

Hardness, or microhardness of individual petrographic components depends on the metamorphic degree. The more advanced metamorphism, the higher the microlithotype hardness.

A change in microhardness in a microlithotype is believed to be the result of its changed molecular structure. One should bear in mind that carbonaceous material is a mixture of highly molecular compounds, which consist of a condensed ring of aromatic compound structure and complex atomic groups with double lateral bonds with the ring.

It follows from the above that:

- petrographic components of coals differ in microhardness, and
- the hardest microcomponents are those of fusite group, the softest those of liptinite, with vitrinite intermediate between the two groups.

Crushability

The tests of coal crushing have shown its crushing strength directly related to the petrographic composition. This is an important physical property of coal for recovery of carbonaceous material and processing to obtain products of higher calorific values (semi-coke, coke, briquette coal, etc.).

Crushing tests (Dimitrijević & Cvetković, 1968; Dimitrijević, 1974) on carbonaceous material and microlithotypes of Banovići coals, Bosnia, gave significant results. The coefficient of crushability (T) was determined by Protodjakonov method.

Crushability coefficient is calculated from the relation

$$f = 20 \ n/h$$

where: f is coefficient of coal crushability,

n is number of weight drops, and

h is height (mm) of material in the measuring tube.

Additionally to coefficient f , weight of particle size less than 0.5 mm is determined and the percentage of this size in relation to the initial composite weight of all coal specimens (Table 1).

The moisture content in the tested coals, their microlithotypes, varied from 6% to 11%.

The volume of particles of sizes below 0.5 mm and the specific work used to crush coal are directly related and expressed as $A=0.53f \text{ kg/cm}^3$ (Dimitrijević & Cvetkovic, 1968). As shown in Table 1, the lower the coefficient f , the lower is the specific work.

Coefficient of crushability f of laboratory tested microlithotypes vary from 0.4 (fusite) to 1.54 (detrogelite), and increases with the rate of respective microlithotype in the coal.

The direct relation of microlithotype crushability and the petrographic composition implies a direct relation of the former to the distribution of microlithotypes in various particle sizes of coal (Nikolic & Dimitrijević, 1980).

Specific gravity

The specific gravity of a coal depends on its composition, quantity of mineral impurities, and metamorphic degree.

Compared with other microlithotypes, vitrinite has the lowest specific gravity, clarite higher, and durite the highest. This is substantiated by a study (Dimitrijević, 1980) of brown coals from a number of coal fields (Table 2).

The above test results show that specific gravity depends on the coal composition. Thus, fusite has the highest specific gravity in each tested coal. The next highest is that of textogelite (excluding Mostar coal, as a result of other factors), intermediate between detrotexite and detrogelite. All earlier tests indicated the direct dependence of this physical property on the petrographic composition of coal.

Plasticity and elasticity

The microlithotypes have not been well studied in respect of coal plasticity and elasticity to be able to give any final conclusions. Nevertheless, some characteristics have been noted. Thus, the microlithotype detrotexite is always a very heterogeneous, soft and unstable constituent. It is very hard, but elastic.

Detrogelite contains almost 50% of jellified woody material and is more elastic than the preceding microlithotype. The elastic properties of textogelite depend on the prevailing constituent, gelite or xylite or both (depending on rates). It is more elastic with a higher xylite rate. However, if represented by highly jellified lignified tissue, it is not elastic but hard and rigid. Fusite, an extremely brittle microlithotype, without the necessary mechanical stability is lacking the elasticity. This was found (Dimitrijević & Šalović, 1967) by testing coal from Ramiči coal basin near Banjaluka. Also, the relation between the coal composition and physical and mechanical stability of carbonaceous material, or its elasticity, was established.

Two coal seams were studied in Ramiči mine. Their strength parameters were compared and it was found that some of the parameter values were the result of the much jellified lignified tissue characterized by geomechanical instability. Thus, coal samples from seam one differ from those of seam two which has high values of strength and

elasticity. This is explained by the much higher rate of detrotextite than the jellified xylem. The higher geomechanical stability of detrotextite is provided by its structure, i.e. heterogeneity of its microconstituents.

The above example and other investigations indicate the importance of the petrographic composition of coals.

Lustre and colour

Coal lustre depends directly on its composition. Thus, coals composed dominantly of fusinised components are mostly dull or semidull. Coals containing 50% or less of jellified woody material and those of slightly fusinised microcomponents are semidull.

Coals composed of prevailingly jellified microcomponents (clarain, duroclarain, vitrain) are bright coals. Only duroclarain type is a semibright coal.

Coals composed predominantly of spores, cuticles or resinous bodies are semibright.

The colour of a coal depends on its petrographic composition in addition to other factors. It is macerals which make up the microlithotypes that are coloured. Thus, for instance, macerals originating from wood bark and fibres vary in colour. Vitrinite, in transmitted light under microscope, is light-coloured or dark orange, and in reflected light it is light grey. Fusite is black, and semifusite is light- or dark-coloured, etc.

Macerals originating from resistant plant or algal remains are light-coloured, as well.

Microlithotypes and consequently the coal change in colour, and brightness, through the oxidation processes.

CONCLUSION

Physical properties of coals are mainly influenced by their petrographic composition. More precisely, physical properties of a coal depend on qualitative and quantitative characteristics of microlithotypes and macerals which combined form the coal.

The study of physical properties of macerals and microlithotypes in coals is most important, because they control geomechanical stability and other characteristics of coal, which are considered in numerous aspects of coal extraction, cleaning and processing for various uses.

Translated by D. Mijović-Pilić

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Dimitrijević D., 1974: Drobļljivost podinskih, središnjih i povlatnih partija uglja ugljenog sloja rudnika "Đurđevik" u funkciji petrološkog sastava.– Tehnika, 3, 459–462, Beograd.
- Dimitrijević D., 1980: Neke mogućnosti veće upotrebe domaćih ugljeva.– Savetovanje "Energetika Srbije". Zbornik radova, XII, 96–104, Beograd.
- Dimitrijević D. i Cvetković M., 1968: Drobļljivost banovickog uglja u funkciji petrološkog sastava.– Tehnika, 8, 172–175, Beograd.
- Dimitrijević D. i Šalović M., 1967: Proučavanje radne sredine u cilju izbora otkopnih metoda za ugljeno ležište "Ranići" – Banja Luka.– Ibid., 11, 249–253, Beograd.
- Nikolić P. i Dimitrijević D., 1980: Ugalj – kvalitativno–kvantitativna svojstva ugljeva i njihova uloga u procesu prerade i upotrebe ugljeva.– Savremena administracija, Monografija, 19, 111–131, 112–118, 120–121, Beograd.