DK 662.933

Trdota premoga in njen pomen za projektiranje agregatov s prašno kurjavo

MARJAN KUMER — LJUBO ECIMOVIĆ

Uvod

Razvoj v gradnji kotlov je v zadnjih tridesetih letih storil ogromen korak naprej. Čeprav je ta napredek kompleksen, lahko kljub temu govorimo o dveh osnovnih smereh razvoja:

1. o zvišanju tlaka in temperature ter
2. o izpopolnjevanju kurjave.

Kot kurjava za trdna goriva se dandanes skoraj izključno uporablja kurjava na premogov prah. Prah pripravljajo v drobilnih strojih — mlinih in ga dovajajo, pomešanega z zrakom, v gorilnike, kjer se vname in nato zgori. Zgorevanje je glede na dobro mešanje prahu z zrakom skoraj popolno (z izkoristkom $\eta = 95 \ldots 98\ \%$).

Za pravilno dimenzioniranje mlinov je razen kemične strukture in kurilne vrednosti premoga čedalje večjega pomena tudi njegova sposobnost za mletje. Od nje so namreč v precejšnji meri odvisne velikost mlina ter njegova moč in poraba energije, dalje obraba mlinskih elementov kakor tudi ekonomičnost celotnega agregata. Še ni dolgo tega, ko so vsi podatki o sposobnosti premoga za mletje sloneli več ali manj na izkušnjah.

Ta prispevek ima namen prikazati razvoj in sedanje stanje pri določanju trdote premoga ter podati praktične vrednosti, ki bi se lahko s pridom uporabljale v praksi.

Teoretična osnova in njen razvoj

Že v prejšnjem stoletju so skušali mnogi znanstveniki in tehniki najti teoretično osnovo, na podlagi katere bi bilo mogoče izračunati delo za drobljenje, potrebno za ustvarjanje določene površine. Iz kopice različnih teorij sta omembe vredni samo dve.

Prvo je dognal že leta 1867 Rittinger [1], ki jo je izrazil v obliki zakona:

delo W, ki je potrebno za ustvarjanje neke površine A, je premosorazmerno tej površini, t. j.

$$W = c \,.\, A \quad \text{oziroma} \quad \frac{W_1}{W_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

pri čemer je c sorazmernostni faktor.

Drugo osnovo pa je objavil leta 1885 Kick [2]. Če jo izrazimo v obliki zakona, se glasi:

delo W, potrebno za ustvarjanje ustreznih sprememb dveh geometrijsko podobnih teles, je proporcionalno njunima prostorninama V, t. j.

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{oziroma} \quad \frac{W_1}{W_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

kjer pomeni a osnovno dimenzijo teles.

Kakor ugotavlja Hönig [3], je zaradi napačne predpostavke dolgo prevladovalo mnenje, da sta si obe teoriji v nasprotju. Domnevalo se je namreč, da nastajajo pri delitvi proporcionalna geometrijsko podobna telesa, pri čemer bi bilo

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{a_1^2}{a_2^2}$$

Obe teoriji pa se nanašata pravzaprav samo na mejna primera. Pri tem upošteva Rittinger le za ustvarjanje nove površine potrebno prevladovanje kohezijske sile, medtem ko jemlje Kick povrh tega v poštev še elastične deformacije pred vsako razcepitvijo mejnih površin.

Kakor je razvidno iz diagrama 1, ki grafično prikazuje obe omenjeni teoriji, pri čemer ustrezata krivulja 1 Rittingerjevi teoriji, krivulja 2 pa teoriji po Kicku s korekturo glede na molekularno strukturo

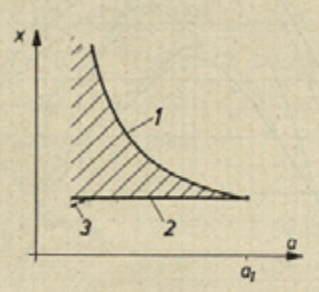


Diagram 1: *Ustvarjanje površine z drobljenjem*
1 — po Rittingerjevi teoriji, 2 — po Kickovi teoriji, 3 — po Kicku, s korekturo glede na molekularno strukturo
a = osnovna dimenzija telesa

(krivulja 3), ležijo praktične vrednosti (šrafirano polje) med temi krivuljami.

Razmerje specifične površine na enoto volumna pred drobljenjem in po njem znaša:

$$x = \frac{A_1/V_1}{A_2/V_2}$$

Vsekakor drži, da je koristno delo od vsega za drobljenje uporabljenega dela tisto, ki se uporablja za premagovanje kohezije. Iz tega izhaja, da je izkoristek tem boljši, čim manjši je za ustvarjanje nove površine obremenjeni volumen.

Če si potek drobljenja ogledamo natanko, vidimo, da je obremenitev na tlak v primerjavi z obremenitvijo na nateg ugodnejša. Pri tem nastajajo pri obremenitvi na tlak v šibkejših točkah obremenjenega telesa vedno nove razpoke in tako večje število novih površin. Pri obremenitvi na nateg pa je potrebno za vsako novo površino telo ponovno obremeniti. Iz tega izvira, da se obremenitev na nateg približuje Kickovi teoriji, medtem ko je obremenitev na tlak bližja Rittingerjevi teoriji.

Izkoristek drobljenja je potemtakem razmerje med idealnim delom, potrebnim za premagovanje kohezije (W_i), in dejansko porabljenim delom (W_1).

$$\eta = \frac{W_i}{W_1}$$

Trdota premoga

Kakor je razvidno iz prejšnjega poglavja, teorija ni dala eksaktnih rezultatov, ki bi lahko rabili kot eden osnovnih podatkov pri projektiranju. Zaradi tega se je čedalje bolj kazala potreba po metodi, ki bi temeljila na primerjanju. Pri tem naj bi se primerjalo porabljeno delo za ustvarjanje določene površine dveh materialov, od katerih je eden kot primerjalni material znan. Pri tem pa je neogibno potrebno, da je drobljenje v obeh primerih podobno; opraviti se mora v enakem stroju, na enak način in z enakimi pogoji.

V uporabi je več metod, osnovanih na primerjanju, vendar pa se po vsem svetu čedalje bolj uveljavlja po American Society for Testing Materials sprejeta in patentirana metoda po Hardgroveju. Po njej se meri pri danem delu ustvarjena površina iz 50 g materiala. Kot primerjalni material rabi premog iz rudnika Jerome (grofija Somerset v Pensilvaniji). Temu črnemu premogu z majhnim odstotkom hlapnega je bila priznana trdota 100 °H (stopinj Hardgrove). Kot nemški oziroma evropski premog za primerjavo pa je v rabi prav tako črni premog iz rudnika Heinrich v Essenu, ki ima v

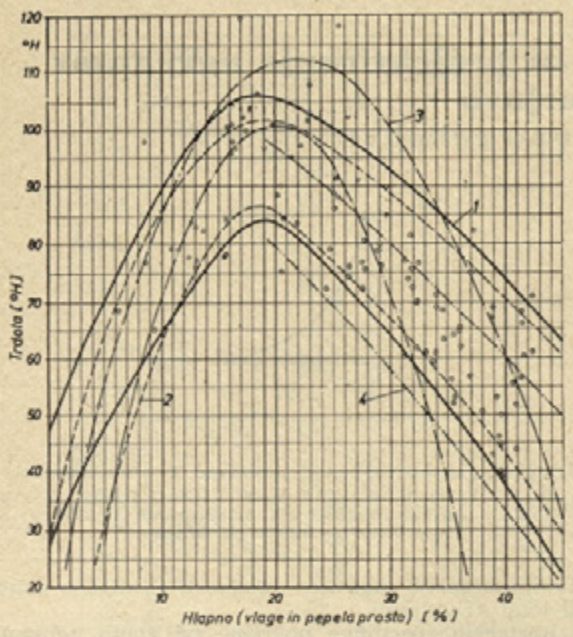


Diagram 2: *Trdota črnih premogov v odvisnosti od hlapnega*

1 — zahodnoevropski premogi, 2 — sovjetski premogi, 3 — angleški premogi, 4 — indijski premogi

primerjavi z ameriškim trdoto 65 °H. Kot primer bi še dodala, da ima čisti pesek trdoto 23 °H. Čim višja je trdota v °H, tem laže se material drobi.

Če združimo vse pojme, je trdota razmerje specifično — na enoto iz 1 g materiala ustvarjene površine — porabljenega dela znanega in neznanega materiala.

Ker poteka drobljenje v Hardgrovejevem stroju, kakor da je obremenitev tlačna, in se tako približuje Rittingerjevi teoriji, velja — kot trdota — razmerje x:

$$x = \frac{C_o}{C_x} \cdot 100 = \frac{W_o \cdot A_x}{W_x \cdot A_o} \cdot 100$$

kjer pomenijo: C — specifično porabljeno delo, W — porabljeno delo, A — iz 1 g materiala ustvarjeno površino, indeks x — preiskovanemu premogu ustrezne veličine, indeks o — primerjalnemu premogu (iz rudnika Jerome) ustrezne veličine.

Hardgrovejev stroj

Najvažnejši del pravkar opisanega postopka je Hardgrovejev stroj. Le-ta je, v dobesednem pomenu besede, mlin majhnih dimenzij, ki deluje po načelu krogličnih ležajev.

Osem kroglic (1) iz jekla Č.0500 (St 50) s premerom 25 mm se giblje po stabilnem spodnjem obroču (2). Kroglice dobivajo energijo gibanja preko gornjega vodilnega obroča (3) in navpične osi (4), ki je preko zobniškega para (5) povezana z elektromotorjem (6). Os se na gornjem koncu zaključuje z utežmi (7), ki ustvarjajo konstantno silo 29 kp na mlevne kroglice. Število vrtljajev osi se regulira preko posebnega avtomatičnega izklopnika (8), ki stroj samodejno izključi po 60 vrtljajih osi.

Praktični podatki o trdoti premoga

Vpliv, ki ga ima trdota premoga pri dimenzioniranju agregatov s prašno kurjavo, je bil že dokaj detajlno raziskan. Tako lahko v literaturi zasledimo izčrpne podatke za sovjetske [5], zahodnoevropske [4], angleške [6], indijske [7] in druge črne premoge. Vsi ti podatki, združeni v diagram 2, kažejo določeno odvisnost glede na odstotek hlapnega.

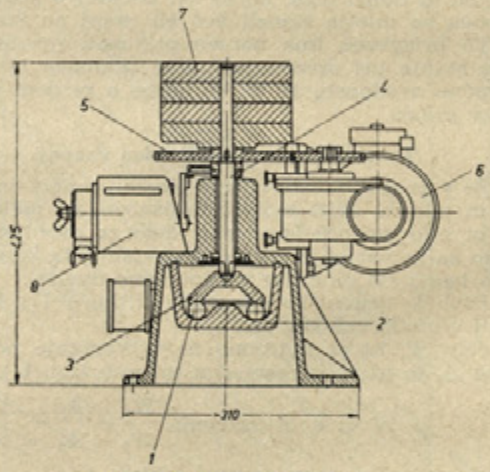
Kljub precejšnji razsejanosti točk se vidi, da poteka odvisnost parabolično. Teme parabole in tako največja trdota leži pri približno 19 % hlapnega, odtod pa strmo pada na obe strani.

Čeprav diagram nima teoretične podlage, se lahko po njem s precejšnjo natančnostjo ugotavlja trdota za vse črne premoge.

Česa podobnega o rjavem premoru ni mogoče reči. Rezultati raziskav, naneseni v diagramu, prikazujejo veliko razsejano polje brez kakršne koli tendence. Poskusi, da bi trdoto podali v odvisnosti od kakšnega drugega karakterističnega podatka o premogu, prav tako niso prinesli zaželenega uspeha. Pri tem pa je treba upoštevati, da so podatki o trdoti rjavih premogov mnogo skromnejši kakor na primer pri črnih premogih. Vzrok temu je treba iskati v dolgoletnem zapostavljanju rjavega premoga kot energetskega sredstva. Ni izključeno, da bodo podrobnejše raziskave tudi na tem področju prinesle jasnejšo sliko.

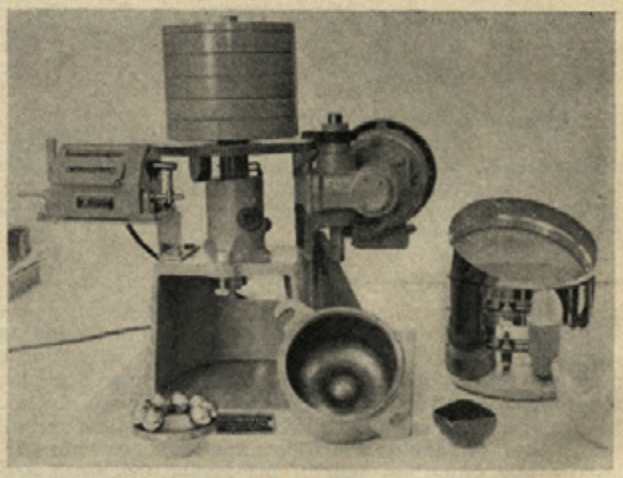
Jugoslovanski premogi

Sistematične raziskave naših premogov s hkratnim določanjem njihove trdote nama do sedaj niso znane. Podatke, ki jih navajava, sva utegnila zbrati pri nekaterih nemških podjetjih, ki so gradila oziroma projektirala termične objekte za našo državo in pri tej priložnosti tudi raziskala določene premoge. Ti premogi niso bili tako glede nastanka kakor tudi glede naha-



Sl. 1. *Hardgrovejev stroj*

1 — mlevne kroglice, 2 — spodnji stabilni obroč, 3 — gornji vodilni obroč, 4 — os, 5 — prenosna zobnika, 6 — elektromotor, 7 — utež, 8 — avtomatični izklopnik



Sl. 2. *Hardgrovejev stroj*

Tabela 1: *Elementarna analiza jugoslovanskih premogov*

Rudnik	Vlaga %	Pepel (brez vlage) %	Hlapno (brez vlage) %	Fix. c (brez vlage) %	Sp. kal. vrednost MJ/kg	Sp. kal. vrednost kcal/kg	Hlapno (brez vlage in pepela) %	Trdota °H
1. Velenje	43,1	24,9	43,1	32,0	9,50	2270	57,4	71
2. Zabukovica	21,0	30,0	—	53,0	13,47	3218	—	59
3. Trbovlje	31,0	19,5	—	40,4	12,39	2960	—	34
4. Zagorje	26,0	20,4	41,4	38,2	16,58	3962	51,6	36
5. Senj	19,4	33,1	39,5	27,4	12,81	3060	59,0	70
6. Kosovo	48,5	15,8	47,2	37,0	9,71	2319	56,1	65
7. Kreka	26,7	35,1	37,4	27,5	11,26	2690	57,6	46
8. Ugljevik	36,1	32,0	44,9	23,1	10,76	2571	66,1	64
9. Banja Luka	27,5	27,1	—	44,8	11,87	2835	—	59-64
10. Banovići	24,8	25,2	35,8	39,0	14,49	3462	47,9	45
11. Ivangrad	27,2	23,4	41,9	34,7	14,50	3464	54,7	42
12. Kakanj-Čatići	14,2	42,7	—	41,3	10,06	2641	—	38
13. Rtanj	3,8	22,4	16,9	60,7	19,97	4770	21,8	95

jališča izbrani po kakšnem sistemu, temveč jih je narekovala potreba.

V tabelo 1 sva vnesla te podatke, ki pa pridobijo na zanimivosti šele s poslednjim stolpcem — podatki o trdoti. Že v prejšnjem poglavju sva omenila, da do sedaj še ni uspelo najti kakršno koli odvisnost med trdoto rjavih premogov in odstotkom hlapnega.

To dokazuje delno že diagram 3, v katerem so vneseni podatki za trdoto iz tabele 1. Vse, kar lahko razberemo iz tega diagrama, je odstotek hlapnega, ki se giblje med 48 in 66 %. Glede trdote lahko rečemo samo toliko, da so naši rjavi premogi v primeri z večino evropskih premogov zelo trdi ter jih je zelo težko drobiti. Če bi pri tem navedla kot primer trdoto rjavega premoga iz Porenja s 122 °H, tedaj je velenjski lignit kot naš do sedaj znan najmehkejši premog, zelo trd. Trdota je v nemajhni meri zaradi nehomogenosti snovi odvisna od kemične sestave pepela. V primerih, če so te med seboj podobne, pa lahko trdimo, da so mlajši rjavi premogi mehkejši.

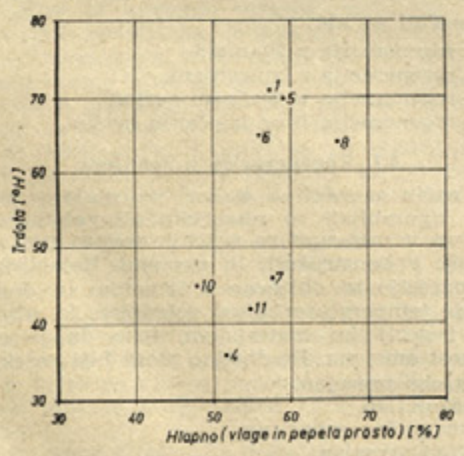


Diagram 3: *Trdota jugoslovanskih rjavih premogov v odvisnosti od hlapnega*
(S številkami v diagramu so označeni rudniki po tabeli 1)

Zaključek

Ker je črni premog v večini evropskih in izvenevropskih držav osnovni energetski vir, je popolnoma razumljivo, da se je proučevanje vpliva trdote osredotočilo predvsem nanj. Šele v zadnjih letih in z naraščajočim izkoriščanjem rjavega premoga v toplotno energetske namene pa se je tudi na tem področju začelo s sistematičnim delom.

Zaradi pomanjkljivih podatkov o drobilnih sposobnostih naših premogov so tako naši projektanti kakor tudi tuja podjetja marsikdaj primorani naprave predimenzionirati, kar vodi neposredno do nepotrebnega povečanja stroškov.

Literatura:

[1] Rittinger, Peter Ritter v.: Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Berlin 1867.

[2] Kick F.: Das Gesetz der proportionalen Widerstände, Leipzig 1885.

[3] Hönig F.: Grundgesetze der Zerkleinerung, VDI Forschungsheft Nr. 378, 1936.

[4] Boese R.: Beitrag zur Frage des Eigenbedarfs der Kesselanlagen in grossen Dampfkraftwerken. AEG-Mitteil. Berlin 1960.

[5] Kiselgov M. L. in Sokolov N. B.: Normi rasčeta i projektirovanija pileprigotovitelnih ustanovok, Gosenergoizdat 1958.

[6] Callcot T. G.: Coal Grindability — A Standardiezed Procedure for the Determination of Coal Grindability and a Survey of the Grindabilities of British Coals, Journal of the Institute of Fuel, 1956.

[7] Ghosal A.: Grindability of Indian Coals, Journal of the Istitute of Fuel, 1958.

[8] Taggart A. F.: Handbook of Mineral Dressing, New York 1953.

[9] Gumz W.: Kurzes Handbuch der Brennstoff u. Feuerungstechnik, Springer Verlag 1953.

Naslov avtorja: ing. VDI Marjan Kumer, Oberhausen, Rhld, Weilerstrasse 109, Zahodna Nemčija
Koavtor: dipl. ing. Ljubo Ecimović, Oberhausen