

KEEVKIHIGA KOLDE RESTI ELAVRISTLÕIKEST PÕLEVKIVIKOKSI PÕLETAMISEL

E. JURISMA

Põlevkivi jäägita kasutamise probleemi lahendamisel on oluline tähtsus põlevkivikoksi ratsionaalse põletamise meetodi väljatöötamisel. Põlevkivi termilisel töötlemisel tekib suures koguses koksi (ligikaudu 60% lähtepõlevkivist), kütteväärtusega 800—1300 kcal/kg, mis siiani kahjuks ei ole leidnud praktilist kasutamist.

ENSV TA Energeetika Instituudi kollete laboratooriumi uurimistöö tulemused 1953. ja 1954. aastal näitasid, et põlevkivikoksi on otstarbekas põletada keevkihimeetodil [1]. Järgnevalt asuti lahendama keevkihiga kolde konstruktsiooni puutuvaid küsimusi. Selle töö esimese etapi kokkuvõtte, mis käsitleb resti elavristlõike määramist, esitatakse käesolevas artiklis.

Uurimismeetod ja katseseadme kirjeldus

Keevkihimeetodil töötava kolde (joon. 1) üheks põhiliseks elemendiks on rest, mille avade, s. o. elavristlõike kaudu juhitakse koldesse kütuse põletamiseks vajalik õhukogus. Õhu- ja kütuseosakeste vastastikusel toimel tekib kihis keerukas kiirusteväli, mis paneb kütusekihi «keema». Õhu ja gaasi segu kiirus kihis peab olema küllaldane kütuseosakeste lennutamiseks. Resti elavristlõike suuruse valikul on määrav tähtsus põletatava kütuse omadustel, nagu osakeste näival erikaalul, läbimõõdul ja kujudel, kütuse põletamiseks vajalikul õhukogusel ja sellest oleneval resti aerodünaamilisel takistusel.

Resti elavristlõike näitajana kasutatakse resti elavristlõike ja peegelpinna suhet protsentides

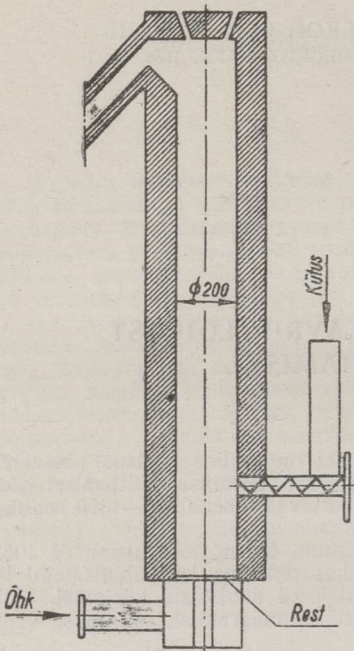
$$f_e = \frac{F_e}{F_p} \cdot 100.$$

Et uurida resti elavristlõike toimet koldeprotsessile ja määrata resti aerodünaamilised karakteristikad, põletati põlevkivikoksi laboratoorses keevkihiga koldes nelja erineva elavristlõikega restil. Katsõteks kasutatud põlevkivikoksi kütteväärtus oli 800—1300 kcal/kg ja granulomeetiline koostis 0—5 mm. Resti elavristlõike suuruseks valiti $f_e = 1,0, 2,0, 3,0$ ja $4,0\%$. Eelkatsed näitasid, et 5% -lise ja suurema elavristlõikega restide katsetamine pole otstarbekas, sest nende aerodünaamilised karakteristikad erinevad vähe 4% -lise elavristlõikega resti omast.

Katsekolle valmistati silindrilise kujuga keraamilistest kividest. Koldešahti kõrgus oli 1900 mm ja läbimõõt 200 mm. Šahti alumine ots oli suletud restiga, mille all asus õhukarp.

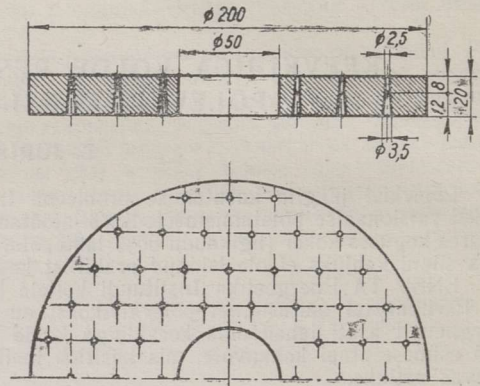
Kütus transporditi šahti toiteteoga, mille kõrgus restist oli 300 mm (joon. 1).

Katsetel kasutatud restid valmistati malmist, läbimõõduga 200 mm ja paksusega 20 mm. Tuha eraldamiseks oli resti keskel 50 mm läbimõõduga



Joon. 1. Laboratoorse katseseadme skeem.

ava. Resti elavristlõike moodustasid läbi resti puuritud 2,5 mm läbimõõduga töötlemata servadega avad. Vastavalt resti elavristlõike suurusele määrati puhumisavade arv ja lahendati graafiliselt nende paigutus (joon. 2). Tabelis 1 on antud iga katsetatud resti elavristlõike näitajad.



Joon. 2. Keevkihiga kolde rest.

Tabel 1

Nimetus	Resti tähistus			
	I	II	III	IV
Resti elavpind f_e , %	0,99	1,99	2,98	4,0
Puhumisava läbimõõt d , mm	2,45	2,45	2,45	2,45
Avade arv n	66	134	204	266
Avade vahekaugus a , mm	21	15	12	10,5

Uurimistöö tulemusi

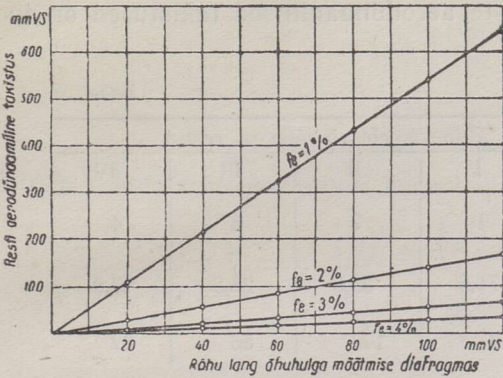
Resti aerodünaamilise takistuse p saab määrata valemiga

$$p = k \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}, \quad (1)$$

milles p — resti aerodünaamiline takistus, mm VS;
 v — õhujoa kiirus resti läbimisel, m/sek.;
 γ — õhu tihedus, kg/m³;
 g — raskuskiirendus, m/sek.²;
 k — aerodünaamiline takistuskoeffitsient.

Resti aerodünaamilise takistuskoeffitsiendi k leidmiseks määrati erinevate elavristlõigetega restide aerodünaamilised takistused vastavalt reste läbivale õhu hulgale (joon. 3). Resti aerodünaamiline takistus p mõõdeti

diferentsiaalmanomeetriga. Resti läbiva õhu kogus mõõdeti mõõtediafragmaga ja õhujoa kiirus määrati arvutuse teel. Teades kõiki neid suursi, on võimalik välja arvutada resti aerodünaamiline takistuskoeffitsient k .



Joon. 3. Keevkihiga kollete restide aerodünaamilised takistused.

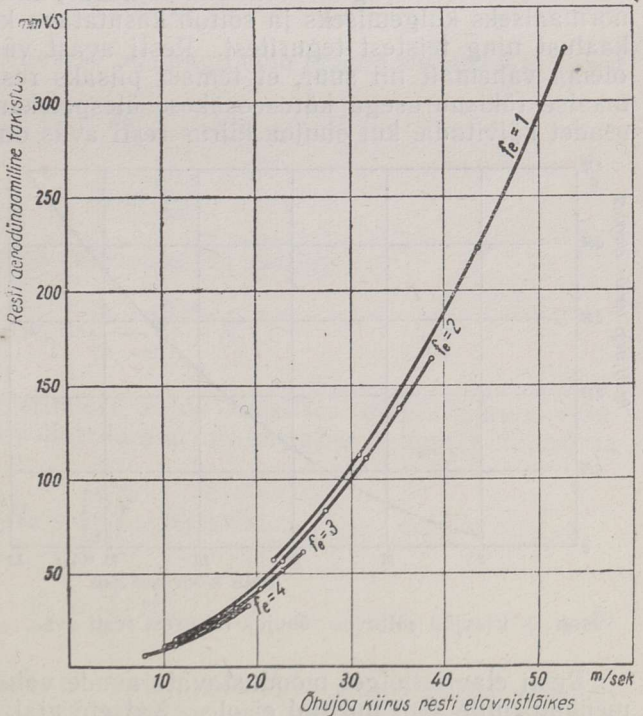
Restide katsetamise tulemused näitasid, et Reynolds'i arvu suurenemisel resti aerodünaamiline takistuskoeffitsient väheneb. Viimase keskmisteks suurusteks saadi: $k_1 = 1,66$, $k_2 = 1,54$, $k_3 = 1,42$ ja $k_4 = 1,26$, vastavalt resti elavristlõikele 1, 2, 3, ja 4%.

Joonisel 4 võrreldakse restide aerodünaamilisi takistusi sõltuvalt õhujoa kiirusest resti elavristlõikes. Ilmneb, et katsetamiseks valitud erineva elavristlõikega restide aerodünaamilised takistused võrsete kiirustega õhujugade puhul erinesid üksteisest vähe, kusjuures elav-

ristlõike suurenemisel resti aerodünaamiline takistus mõnevõrra vähenes. Nii näiteks vähenes resti aerodünaamiline takistus elavristlõike suurenemisel ühelt protsendilt kahele 6 mm VS võrra, kui õhujoa kiirus resti läbimisel oli 30 m/sek.

Resti elavristlõike suuruse valikul on põhilisteks teguriteks kütuslikule erikoormusele (R) vastav õhukogus, mis tuleb kütuse põletamiseks või gaasistamiseks läbi resti juhtida, sellest tingitud resti aerodünaamiline takistus ning läbi resti voolava õhujoa lubatav minimaalne kiirus sõltuvalt kütuseosakese suuruselt, kujust ja erikaalust.

Katsete teostamisel laboratoorses keevkihiga koldes ulatus resti kütuslik erikoormus kuni 2600 kg/m² tunnis. Erineva elavristlõikega restide aerodünaamiliste takistuste võrdlemiseks valiti resti kütuslikuks erikoormuseks $R = 1500$ kg/m² tunnis. Ühe kilogrammi põlevkivikoksi põletamiseks on vaja õhku (V) keskmiselt 1,5 nm³. Seega on tunni



Joon. 4. Erineva elavristlõikega restide aerodünaamilised takistused sõltuvalt resti läbiva õhujoa kiirusest.

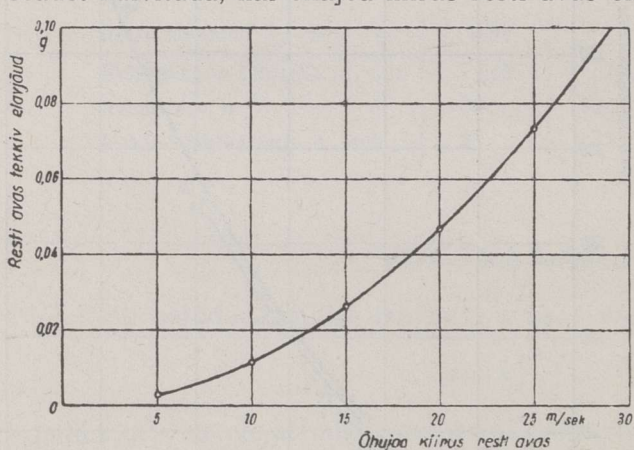
vältel resti läbiv õhukogus $V_0 = R \cdot V = 1500 \cdot 1,5 = 2250 \text{ nm}^3/\text{m}^2$. Arvestades õhu temperatuuriks 40° , saadakse reaalses tingimustes õhukogus, mis vastab $2570 \text{ m}^3/\text{m}^2$ tunnis. Selle õhukoguse läbimise kiirused erineva elavristlõikega restidest ja viimaste aerodünaamilised takistused on toodud tabelis 2.

Tabel 2

Nimetus	Erineva elavristlõikega restid			
	I	II	III	IV
Resti elavristlõige f_e , %	1	2	3	4
Õhujoo kiirus restis v , m/sek.	71,6	35,8	23,8	17,9
Resti aerodünaamiline takistus p , mm VS	487	123	56	32

Võrreldes restide aerodünaamilisi takistusi selgub, et otstarbekas on valida resti elavristlõikeks 2–3%, sest sel juhul osutub resti aerodünaamiline takistus küllalt väikeseks. Suurema elavristlõike kasutamisel, näiteks üle 4%, alaneb resti aerodünaamiline takistus väga vähe, küll aga suureneb puhumisavade arv. Suur elavpind raskendab resti valmistamist ja muudab toote asjatult kallimaks.

Resti elavristlõike liigset suurendamist piirab teiselt poolt resti avast väljuvate õhujugade minimaalne kiirus, mis on nõutav koldeprotsessi normaalseks kulgemiseks ja sõltub kasutatava kütuse tera suurusest, erikaalust ning teistest teguritest. Resti avast väljuva õhujoo kiirus peab olema vähemalt nii suur, et temast piisaks resti avale sattunud maksimaalse tükisuurusega kütuseosakese ülespaiskamiseks. Pealegi on raske seadet käivitada, kui õhujoo kiirus resti avas on liiga väike.



Joon. 5. Elavjõu sõltuvus õhujoo kiirusest resti avas.

Joonisel 5 on toodud resti avast tekkiva elavjõu sõltuvus õhujoo kiirusest. Kasutades kütusena põlevkivikoksi, näiverikaaluga $0,80 \text{ g/cm}^3$ ja maksimaalse tükisuurusega 5 mm, saame kerakujuliseks taandatud kütuseosakese kaaluks $0,039 \text{ g}$. Et sellist resti avasse kukkunud kütuseosakest uuesti lendu paisata, peab õhuvoolu kiirus resti avas olema vähemalt $18,2 \text{ m/sek}$. (joon. 4).

Resti elavristlõiget moodustavate avade vahekauguste mõju keevkihi mehhanismile seni uuritud ei ole. Katsete ajal oli avade maksimaalseks vahekauguseks 21 mm, mille puhul kütusekiht töötas korralikult. Seetõttu võib avade arvu määramisel võtta nende vahekaugusteks 20–25 mm. Resti elavristlõike suurus ja avade arv määrab ava suuruse.

Resti elavristolõike suurendamisel resti läbiva konstantse õhuhulga juures väheneb õhujoo kiirus resti avas ja vastavalt sellele resti aerodünaamiline takistus ning selle ületamiseks vajalik ventilaatori võimsus, mille arvutamiseks kasutatakse valemid

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \frac{h_1}{h_2} \quad \text{ja} \quad (2)$$

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3)$$

Nende valemite teisendamisel saame

$$\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{3/2} = \frac{N_1}{N_2}, \text{ millest}$$

$$N_2 = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{3/2} \cdot N_1, \quad (4)$$

kusjuures n_1, n_2 — ventilaatorite tiirude arvud,
 h_1, h_2 — ventilaatorite rõhukõrgused,
 N_1, N_2 — ventilaatorite võimsused.

Nõutav ventilaatori rõhukõrgus h peab olema resti aerodünaamilise takistuse ületamiseks võrdne viimasega või suurem sellest, s. o.

$$h \geq p.$$

Valemi (1) kohaselt

$$p = k \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}.$$

Kolde töötamisel statsionaarse režiimiga võib lugeda suurused k, γ ja g konstantseks ja kirjutada

$$p = k_s \cdot v^2 \leq h,$$

kusjuures

$$k_s = \frac{k \cdot \gamma}{2g}.$$

Asetades saadud tulemuse valemisse (4) saame

$$N_2 = \left(\frac{k_s \cdot v_2^2}{k_s \cdot v_1^2}\right)^{3/2} \cdot N_1.$$

Resti elavristolõike varieerimisel kolde tavalises tööpiirkonnas muutub k_s väga vähe, mistõttu võib teda murru nimetajas ja lugejas taandada ja saame

$$N_2 = \left(\frac{v_2^2}{v_1^2}\right)^{3/2} \cdot N_1 \quad \text{või}$$

$$N_2 = \frac{v_2^3}{v_1^3} \cdot N_1. \quad (5)$$

Saadud valem (5) näitab, et resti elavristolõike suurenemisel väheneb ventilaatori võimsus resti aerodünaamilise takistuse ületamiseks vastavalt resti läbivate õhujugade kiiruste kolmanda astme suhtele. Muutes resti elavristolõiget, võib valemi (5) järgi arvutada ventilaatori töötamiseks vajatava energiahulga muutumise.

Resti aerodünaamilise takistuse ületamiseks vajaliku ventilaatori võimsuse arvutamiseks, sõltuvalt resti elavristlõikest ja õhukogusest, tuleb kasutada valemit

$$N = \frac{V \cdot p}{102 \cdot \eta} \text{ [kW]},$$

kus V — läbi resti antava õhu kogus, m^3/h ;
 p — resti aerodünaamiline takistus, mm VS ;
 η — ventilaatori kasutegur;
 p — arvutatakse valemiga (1).

Resti läbiva õhujoa kiiruse arvutamiseks kasutatakse valemit

$$v = \frac{V}{3600 \cdot F_e} \text{ [m/sek.]},$$

F_e — resti elavristlõige, m^2 .

Kokkuvõte

Eksperimenteerimisel ja arvutuse teel saadud tulemused võimaldavad teha allpool toodud järeldusi:

1. Põlevkivikoksi põletamisel keevkihis on ratsionaalseks resti elavristlõike suuruseks 2—3% resti peegelpinnast.
2. Resti elavristlõike muutmine 1—4% piirides ei avaldanud mõju põlemisprotsessi põhiparameetritele.
3. Resti avast väljuva õhujoa elavjõud peab olema küllaldane resti avale sattunud kütuseosakese lendupaiskamiseks. Põlevkivikoksi põletamisel, maksimaalse tükisuurusega kuni 5 mm, on minimaalseks kiiruseks 18 m/sek.

KIRJANDUS

1. R. Uuesoo ja E. Jürisma, Põlevkivikoksi ja poolkoksi põlemisprotsessi uurimine laboratoorses keevkihiga koldes. (Aruanne.) ENSV TA Energeetika Instituut, Tallinn, 1954.
2. R. Uuesoo ja E. Jürisma, Keevkihiga kolde ratsionaalsete konstruktsioonide väljatöötamine põlevkivi koksiliste jääkide põletamiseks. (Aruanne.) ENSV TA Energeetika Instituut, Tallinn, 1955.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
20. VIII 1957

О ЖИВОМ СЕЧЕНИИ РЕШЕТКИ ДЛЯ ТОПКИ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ НА СЛАНЦЕВОМ КОКСЕ

Э. Я. Юрисма

Резюме

На основе результатов научно-исследовательской работы по определению характеристик процесса горения сланцевого кокса в лабораторной топке с кипящим слоем были проведены дальнейшие исследования, цель которых заключалась в разработке основ конструкции топки с кипящим слоем на сланцевом коксе. Для определения рационального живого сечения зеркала горения решетки были проведены опыты с решетками с живым сечением 1, 2, 3 и 4%. Решающее значение имели при этом факторы

аэродинамического сопротивления решетки. Результаты работы позволили сделать нижеследующие выводы.

1. Наиболее рациональным живым сечением зеркала горения решетки для сжигания сландевого кокса в топке с кипящим слоем можно считать 2—3%, так как при означенной величине живого сечения аэродинамическое сопротивление решетки незначительное, а эффективность работы слоя вполне удовлетворительна по всем характеристикам топочного процесса.

2. Практически выбор живого сечения решеток предлагается проверять по достаточности живой силы струи воздуха для передвижения частиц топлива.

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
20 VIII 1957

ON THE USEFUL SECTION OF A GRATE FOR A FURNACE WITH A FLUIDIZED-SOLID ON OIL SHALE COKE

E. Jürisma

Summary

The results of scientific experimental work carried out in order to determine the process-characteristics of the combustion of oil shale coke in a laboratory furnace with fluidized-solids have led to further tests aiming at the establishment of principles for the construction of a furnace with fluidized-solids on oil shale coke. In order to solve the problem of a rational useful section of the grate area, tests have been carried out with grates, possessing a 1, 2, 3 and 4 per cent useful section. Thereat factors of the hydrodynamic resistance of the grate were of a decisive importance.

The results of the tests have led to the following conclusions:

1) A 2—3 per cent useful section of the grate area for the combustion of oil shale coke in a furnace with fluidized-solids can be considered as rational, for at the above mentioned value of the useful section of the grate, the hydrodynamic resistance of the grate is rather inconsiderable, while the efficiency of the work of the fluidized-solids is fully ensured in accordance with all characteristics of the furnace process.

2) The actual selection of the useful section of the grate should be checked as to the sufficiency of the kinetic energy of the air blast for the stirring of fuel particles.

*Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,
Institute of Energetics*

Received
Aug. 20, 1957