UDK 662.66:621.311

Izkušnje pri uporabi kotlovskega premoga v Termoelektrarni Trbovlje

ANTON URANKAR

1. Uvod

Sestava premoga vpliva na celoten tehnološki proces predelave njegove kemične energije v toplotno in na vse procese, ki spremljajo to preoblikovanje energije.

Sistematično opazujemo samo poprečno kurilnost premoga, ki je osnova za izračun cene premoga. Poprečna kurilnost pa ne pove, kako se različne vrste premoga obnašajo v posameznih delih procesa. Veličine, iz katerih lahko ugotovimo ali predvidimo obnašanje premoga, pa so: kemična sestava premoga in pepela, temperatura začetka mehčanja pepela in granulacija premoga. Teh veličin ne opazujemo sistematično, saj so opazovanja, razen ugotavljanja granulacije, dolgotrajna in draga, rezultate pa dobimo prepozno.

Poprečna kurilnost ne pove ničesar o obnašanju premoga in prikrije tudi večje količine jalovine, ki se občasno prenašajo po transportnem traku.

Vsi podatki so vzeti iz izkušenj pri obratovanju in vzdrževanju proizvodne enote 2 z močjo 125 MW v Termoelektrarni Trbovlje.

2. Analiza premoga

Uporabljamo tri vrste premoga Zasavskih premogovnikov, ki jih poimenujemo: kotlovski premog, premogov prah in vmesni produkti. Deleži posameznih vrst so:

kotlovski premog	0,75 . . . 0,83
premogov prah	0,12 . . . 0,16
vmesni produkti	0,05 . . . 0,09

Tabela 1 navaja analizo navedenih vrst premoga. Elementi analize so aritmetične srednje vrednosti dnevnih analiz.

Laboratorijsko so bile izmerjene temperature pepela:

temperatura sintranja	960 . . . 1150 °C
temperatura deformacije	1220 . . . 1240 °C
temperatura polkrogle	1290 . . . 1330 °C
temperatura razlivanja	1390 . . . 1400 °C

Meritve so bile opravljene z mikroskopom znamke Leitz.

Tabela 1. *Analiza premoga*

		Kotlovski premog	Premogov prah	Vmesni produkti
1. Granulacija	mm	0 . . . 30	0 . . . 3	0 . . . 30
2. Celotna vlaga	%	20	38	22
3. Pepel	%	36	20	35
4. Gorljive snovi	%	44	42	43
5. Koks	%	53	37	51
6. Hlapne snovi (Gorljive snovi 100 %)	%	61,5	59	62
7. Žveplo-celotno	%	2,7	2,1	2,4
8. Žveplo-gorljivo	%	2,1	1,6	1,9
9. Zgorevalna toplota	MJ/kg	11,48	11,41	11,44
10. Kurilnost	MJ/kg	10,49	9,98	10,40
Pepel:				
11. SiO_2	%	44	42	49
12. Fe_2O_3	%	9	10	12
13. Al_2O_3	%	26	24	25
14. CaO	%	8	10	5
15. MgO	%	3	2,5	2
16. SO_3	%	6	8	5
17. drugo	%	4	3,5	2

3. Transport premoga

Premog transportiramo od prevzemnega mesta do deponije, oziroma do kotlovnice in prav tako iz deponije do kotlovnice s transportnimi gumijastimi trakovi. Moker premog povzroča zaradi glinastih primesi zamašitve v lijakih na presipnih mestih. Te težave se pojavljajo predvsem pri oskrbi s premogom iz deponije, ko je ta moker. Grobo vlago, ki povzroča lepljenje premoga, dobiva premog z dežjem. Izločanje te grobe vlage je dolgotrajno, zato je premog iz deponije največkrat lepljiv.

4. Skladiščenje premoga v deponiji

Deponijski prostor ima strmino z nagibom okoli 31°. Višinska razlika med zgornjim in spodnjim robom strmine je približno 45 m. Na zgornjem robu strmine je transportni hodnik, od koder se s transportnega traku spušča premog gravitacijsko po strmini. Iz deponije se premog odvzema s skreperji in dodaja na transportni trak v spodnjem transportnem hodniku. Debelina premogove plasti v deponiji je 2 do 4 m.

Težave, ki jih imamo z deponiranjem premoga izvirajo predvsem iz posebnosti deponijskega prostora na strmini.

Strmina povzroča gravitacijsko segregacijo premoga. Debelejši kosi premoga se nabirajo ob vznožju deponije. Strmina onemogoča tlačenje premoga, ki bi lahko preprečilo samovžig. Nagnjenost premoga k samovžigu je zelo velika, predvsem pri večjih granulacijah, zato se premog ob vznožju često že po 15 do 20 dnevih vname. Veliko nagnjenost premoga k samovžigu povzroča visok delež žvepla, ki pospešuje samovžig. Zgorevanje premoga zmanjšujemo le z gašenjem z vodo, ki pa pomaga le za krajši čas, saj le zniža temperaturo plasti premoga, ki se pa nato ponovno sregreje in vžge. Gašenje z vodo ima za posledico odplako drobnejših delcev, kar omogoča boljši dotok zraka in še hitrejši samovžig. Izgube zaradi samovžiga lahko omilimo z načrtnim deponiranjem in odvzemom iz deponije. Premog, ki se vname, čim hitreje porabimo, kar pa seveda v času remonta ni mogoče, zato se tedaj pojavljajo velike toplotne izgube deponiranega premoga.

Izkušnje z deponiranjem premoga in odvzemom iz deponije so posebne in so rezultat deponije na strmini. V okviru tega članka naj bo o tem navedeno samo to, da deponija na strmini onemogoča uporabo vsake sodobne in racionalne tehnike deponiranja, vzdrževanja in odvzema.

5. Skladiščenje v bunkerjih

Bunkerji v kotlovnici so skladišča, ki izravnavajo razliko med porabo premoga v kotlu in pretokom premoga do bunkerjev iz deponije ali neposredno od prevzemnega mesta v rudniku.

Kotel ima 6 bunkerjev, vsakega s prostornino 200 m³. Skupna razpoložljiva prostornina je 1200 m³. Oblika bunkerjev z majhnimi nagibnimi koti dvojnih lijakov ne ustreza veliki lepljivosti mokrega premoga, zaradi česar je razpoložljiva prostornina premalo izkoriščena. Ta znaša v mejah 0,25 do 1. Najnižja vrednost ustreza zelo mokremu premogu, vrednost 1 pa popolnoma suhemu, ki pa ga zagotovimo lahko le pri neposrednem dotoku brez vmesnega deponiranja. Vendar je tudi pri neposrednem odvzemu velik del mokrega premoga, ki prinaša svojo grobo vlago že z odkopnega mesta.

Velika lepljivost premoga in zgnetenost spodnjih plasti zaradi teže zgornjih plasti povzroča predvsem v lijaku nastajanje obokov, ki prekinjajo dotok goriva na dodelilnik. Z dolgimi jeklenimi drogovi prebodemo tak obok tako, da izdolbemo ozek kanal od površine do oboka in tako zagotovimo dotok premoga s transporterja po tem kanalu do dodelilnika. Preostalo maso zgnetenega premoga pa spravimo lahko iz bunkerja do dodelilnika le z ročnim kopanjem.

Takim neracionalnim posegom se izognemo, če v primerih dotoka mokrega premoga držimo nizko nivo premoga v bunkerjih, kar še ne omogoča nastajanja obokov. Tak način obratovanja pa zmanjša izkoriščenost bunkerjev do 0,25. Preizkusili smo vrsto ukrepov, da bi povečali izkoriščenost bunkerjev. Navesti velja tri, ki so se pokazali za učinkovite. To so uporaba zračnih blazin, uporaba komprimiranega zraka in rekonstrukcija lijaka bunkerja.

Kot zelo učinkovita se je pokazala uporaba zračnih blazin, ki je dopuščala izkoriščenost bunkerjev do 0,70. Od uporabe zračnih blazin pa smo odstopili, ker nismo mogli zagotoviti dopustnih temperatur premoga glede na gumijaste blazine zaradi samovžiga na deponiji, pa tudi zaradi samovžiga v samih bunkerjih v primeru izsiljenih daljših zaustavitev.

Uporaba komprimiranega zraka je manj učinkovita, zato pa je izvedba preprosta. Ta metoda, ki jo uporabljamo, povečuje izkoriščenost bunkerja do 0,50.

Za najučinkovitejši ukrep se je pokazala rekonstrukcija lijaka bunkerja, s katero smo povečali nagibne kote lijaka, zamenjali dvojni iztok z enojnim, večjim in zamenjali valjasti dodelilnik z verižnim transporterjem. To rekonstrukcijo smo izvedli na enem bunkerju in jo še izboljšujemo. Pripravljamo pa rekonstrukcijo vseh bunkerjev. Ta rekonstrukcija je povečala izkoriščenost bunkerja do 0,80.

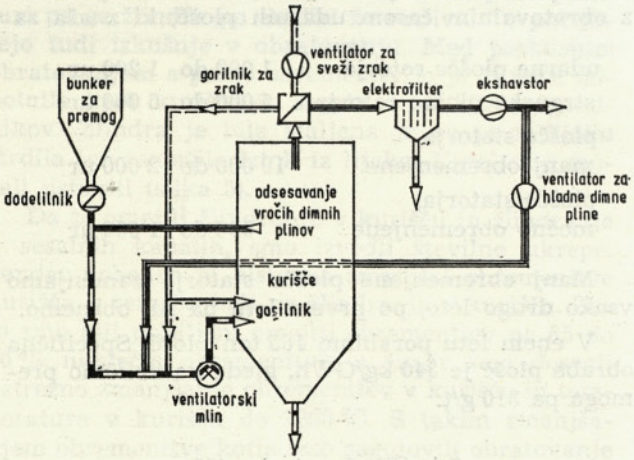
6. Proces v kotlu

6.1 *Opis kotla*

Izkušnje za porabo kotlovskega premoga smo dobili pri kotlu, ki ga je izdelala tovarna RAFAKO iz Raciborza v Poljski (tip kotla OP — 380 b za pretok pare 380 t/h).

Tlačni del kotla ima grelnik vode, boben, uparjalnik z naravnim obtokom, pregrevalnik sveže pare in ponovni pregrevalnik.

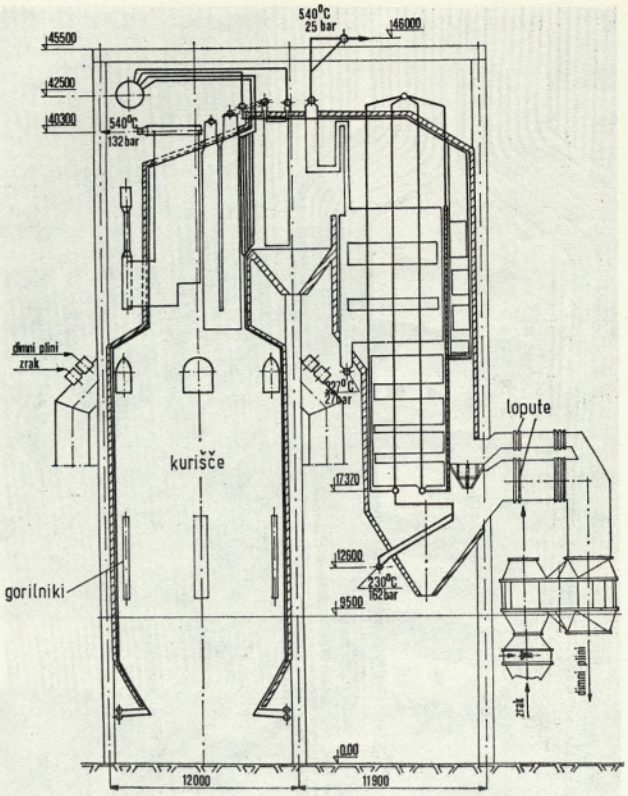
Kotel je kurjen s premogovim prahom in ima 6 ventilatorskih mlinov z neposrednim vpihavanjem v 6 tangencialno postavljenih gorilnikih (vrsta KSG). Dva radialna ventilatorja za svež zrak potiskata zrak za zgorevanje skozi 2 parna grelnika zraka in 2 grelnika zraka vrste Ljungström, in sicer do sesalnih kanalov vročih dimnih plinov iz kurišča — primarni zgorevalni zrak in do gorilnikov — sekundarni zgorevalni zrak. Dva aksialna ekshaustorja dimnih plinov črpata dimne pline iz kotla in jih potiskata po kanalih do dimnika. Kotel ima 2 radialna ventilatorja za povratni tok dimnih plinov, 1 odstranjevalnik izgorkov v koritu z vodo pod lijakom kurišča, 4 oljne gorilnike za zakurjenje, 4 oljne gorilnike za vzdrževanje temperature sveže pare pri manjših obremenitvah in 16 izpihovalnikov saj v območju kurišča (sliki 1 in 2).



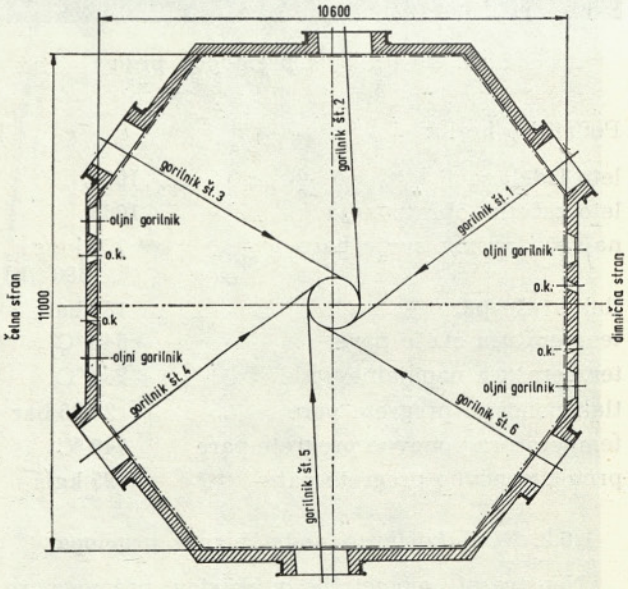
Sl. 1. *Shema kotlovskega kurišča*

Kurišče je prizma s prerezom osmerokotnika, ki preide zgoraj v območju zaves pregrevalnika sveže pare v pravokoten prerez, spodaj pa v lijak (slika 3). Slika 4 prikazuje gorilnik za premogov prah.

Kotel ima v območju ponovnega pregrevalnika in grelnika vode 2 kanala: glavni kanal s ponovnim pregrevalnikom pare in delom grelnika vode ter obvodni kanal z delom grelnika vode. Dva toka

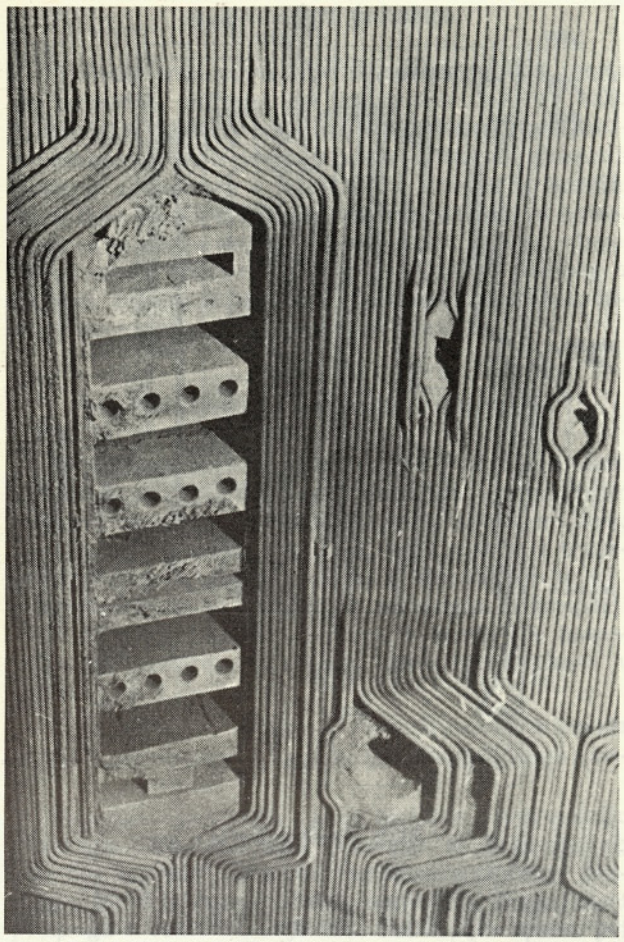


Sl. 2. *Prerez kotla*



Sl. 3. *Prerez kurišča*

dimnih plinov omogočata grobo regulacijo temperature ponovno pregrete pare z loputami v obeh kanalih (slika 2).



Sl. 4. *Gorilnik za premogov prah*

Podatki o kotlu:

leto izdelave	1966
leto začetka obratovanja	1968
največji pretok sveže pare	105 kg/s (380 t/h)
tlak sveže pare	132 bar
temperatura sveže pare	540 °C
temperatura napajalne vode	230 °C
tlak ponovno pregrete pare	27,25 bar
temperatura ponovno pregrete pare	540 °C
pretok ponovno pregrete pare	95 kg/s

6.2. *Neenakomerno dodeljevanje premoga*

Neustrezni geometriji bunkerjev premoga se pridružuje še neustrezna vrsta dodelilnikov. Dodelilnik sestoji iz dveh valjev s trni na obodu na isti osi z vmesnim opornim ležajem, ki je nameščen v pregradi lijaka bunkerja. Dodelilnik dodaja premog na gumijasti transportni trak pod dodelilnikom, ki ga transportira v lijak na sesalnem vodu mlina.

Neenakomernemu dotoku mokrega premoga do dodelilnika zaradi neustrezne oblike bunkerja se pridružuje še neenakomerno dodeljevanje dodelilnika zaradi mašitev mokrega premoga v samem dodelilniku. Neenakomerno dodeljevanje povzroča nihanje toka premoga od 0 do največje vrednosti, kar vpliva na celotni sistem kurjave.

6.3. *Obraba mlinov*

Kotel ima 6 ventilatorskih mlinov vrste KSG za rjavi premog tipa N 90.60 z zmogljivostjo 28 t/h in volumenskim pretokom 29 m^3/s.

Premog se osuši v toku vročih dimnih plinov iz kurišča v sesalnem kanalu pred mlinom. Temperaturo za mlinom držimo v območju 180 do 200 °C. Reguliramo jo z dodajanjem hladnih dimnih plinov in primarnega zgorevalnega zraka. Če je temperatura v mlinih previsoka, je mogoča hitra ohladitev z dotokom hladnega zraka v sesalni kanal pred mlinom.

Kakovost mletja reguliramo z vgrajenim vejalnikom, tako da je ostanek na situ 0,2 mm 18 do 25 %, na situ 0,09 mm pa 45 do 60 %. Specifična poraba energije pri 90 % obremenitvi mlinov je 18,5 kWh/t.

Vse površine mlina, ki so izpostavljene obrabi, so obložene s ploščami iz legirane jeklene litine. ČL 3460 s 13 % Mn in trdoto 200 HB.

Obraba mlinov je občutna. Prikažemo jo lahko z obratovalnim časom udarnih plošč, ki znaša za:

udarne plošče rotorja	1 000 do 1 200 ur
stranske plošče rotorja	5 000 do 6 000 ur
plošče statorja, manj obremenjene	10 000 do 12 000 ur
plošče statorja, močno obremenjene	500 do 1 000 ur

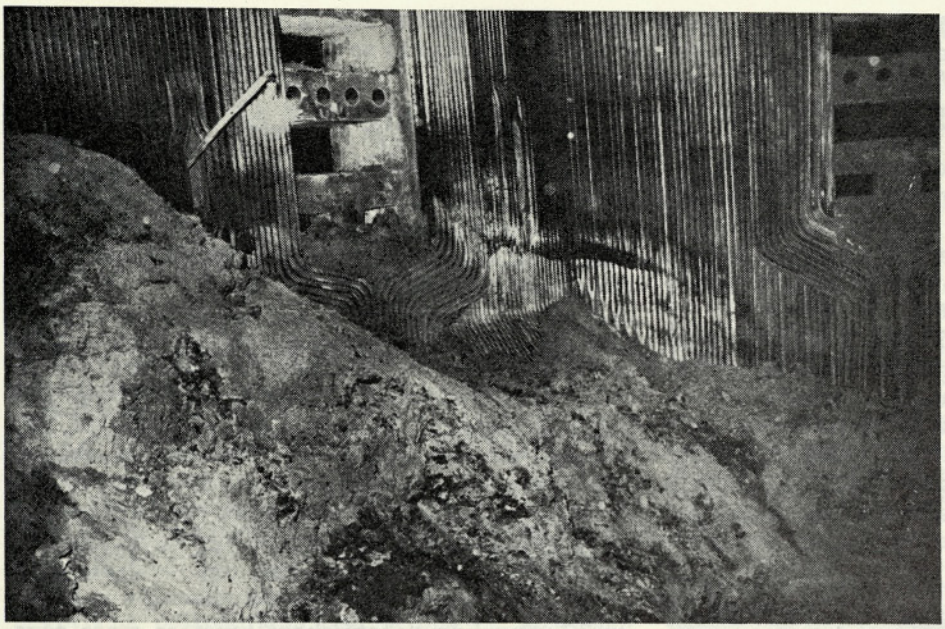
Manj obremenjene plošče statorja zamenjamo vsako drugo leto, po prvem letu pa jih obrnemo.

V enem letu porabimo 185 ton plošč. Specifična obraba plošč je 340 kg/GWh, glede na količino premoga pa 310 g/t.

6.4. *Žlindranje kurišča*

Največje težave pri obratovanju povzroča žlindranje v kurišču. Z žlindranjem označujemo oblaganje uparjalnih cevi v kurišču z žlindro.

Verjetnost lepljenja žlindre na ceveh se pojavlja, če je temperatura plamena višja od temperature sintranja. Temperatura sintranja je po analizi iz točke 2 med 960 do 1150 °C, kar pomeni zelo nizko vrednost in veliko nevarnost za lepljenje žlindre na hladilnih površinah kotla. Pravilnost analize potrjuje tudi ocena po Zinzenovem trikotniškem diagramu, kjer ustreza naši žlindri točka ob izotermi sintranja 1100 °C.



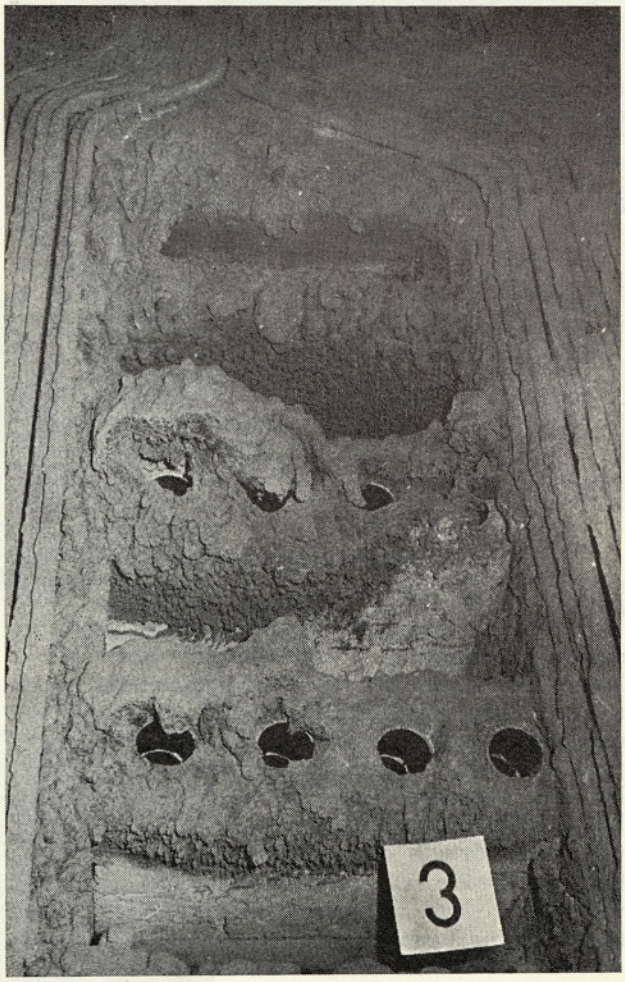
Sl. 5. *Strjena žlindra v lijaku kurišča*

Srednja toplotna obremenitev kurišča je pri 100 % obremenitvi kotla 191 kW/m³, kar je mnogo. Prav tako je velika tudi obremenitev prereza kurišča, ki znaša pri polni obremenitvi 3636 kW/m². Posledica velikih obremenitev kurišča so visoke temperature v kurišču, ki dosegajo pri največji obremenitvi vrednosti do 1400 °C. Pri tej temperaturi pa se žlindra po analizi že razliva. To potrjujejo tudi izkušnje v obratovanju. Med poskusnim obratovanjem s polno obremenitvijo je žlindra napolnila lijak kurišča in segala v jezikih do gorilnikov. Žlindra je bila staljena in se je v lijaku strdila ter zamašila iztok iz lijaka. Kotel smo morali ustaviti (slika 5).

Da bi omejili žlindranje v kurišču in žlindranje v sesalnih kanalih, smo izvedli številne ukrepe, vendar nobeden ni bistveno zmanjšal obremenitve kurišča, s tem pa tudi ne žlindranja v kurišču. Zato smo bili prisiljeni omejiti obremenitev na 85 do 90 % največje obremenitve, s čimer smo dosegli ustrezno zmanjšanje obremenitev v kurišču in temperature v kurišču do 1250 °C. S takim zmanjšanjem obremenitve kotla smo zagotovili obratovanje brez prekinitev zaradi žlindranja. Še vedno pa so težave, kakršne so čiščenje sesalnih lin med obratovanjem, zruški žlindre s sten uparjalnika, predvsem pri spremembah obremenitve kotla, obsežno čiščenje uparjalnih cevi v kurišču in gorilnikov v času remonta (slika 6).

6.5. *Obraba ogrevalnih površin*

Obraba ogrevalnih površin je odnašanje materiala s teh površin s trdnimi delci v dimnih plinih in je odvisna od hitrosti trdnih delcev, koncentracije letečega pepela, sestave pepela in velikosti delcev.



Sl. 6. *Gorilnik in uparjalne cevi — obloženi z žlindro*

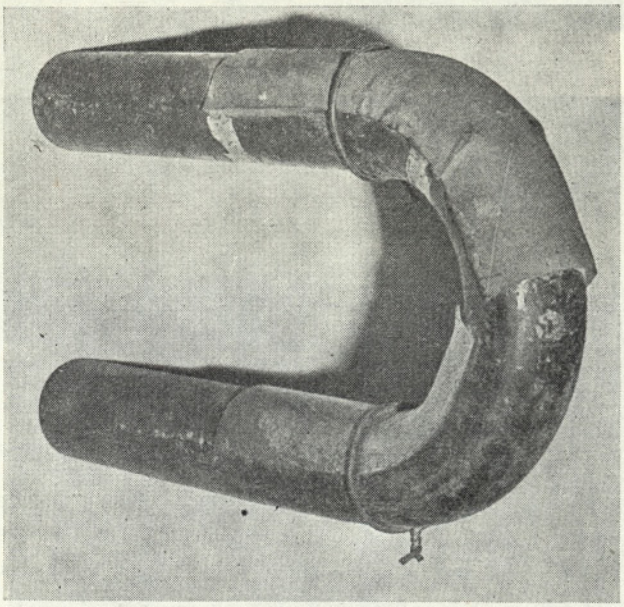
Srednja hitrost dimnih plinov v območju grelnika vode, kjer je obraba najbolj občutna, je pri največji obremenitvi 9,4 m/s, kar je že tik pod zgornjo mejo 10 m/s, ki jo priporoča literatura.

Koncentracija pepela v prerezu grelnika vode je 0,23 kg/m²s, kar je tudi zelo visoka vrednost.

Sestava pepela je zelo neugodna, saj vsebuje do 49 % kremena, ki je glavni povzročitelj obrabe.

Velikost trdnih delcev je odvisna od kakovosti mletja. Tu je za kurjave te vrste v normalnih mejah, ki so navedene v točki 6.3.

Največja je obraba cevnih kolen grelnika vode ob stenah kanalov in tistih ravnih delov cevi, ki so izpostavljeni trku delcev z največjo kinetično energijo. Vsa taka mesta smo zaščitili s profilirano jekleno pločevino, in sicer ravne cevi samo zgoraj, kolena pa zgoraj zunanjo stran, spodaj pa notranjo stran (slika 7). Takih zaščit smo vgradili postopoma približno 20 000 kosov.



Sl. 7. *Zaščita cevnih kolen*

S temi zaščitami pa obrabe v celoti seveda nismo mogli odpraviti. V času 9-letnega obratovanja, ko je kotel obratoval 49 700 ur, smo zaradi varnosti izrezali in zamenjali 243 cevnih kolen in ravnih delov cevi grelnika vode. 92 izrezov in zamenjav pa smo opravili med izsiljenimi zaustavitvami kotla zaradi netesnosti grelnika vode, katere vzrok je bila oslabitev sten cevi zaradi obrabe.

Obraba drugih ogrevalnih površin je neznatna in ni povzročila nobene zaustavitve kotla. Omeniti velja le, da smo zaradi varnosti izrezali in zamenjali 5 delov uparjalnih cevi na prehodu iz prvega v drugi tok, kjer tečejo dimni plini pravokotno na uparjalne cevi in so bile stene cevi zaradi obrabe stanjšane.

6.6. *Korozija ogrevalnih površin*

Korozija ogrevalnih površin je neznatna in je to korozija pri nižji temperaturi v spodnjih delih grelnika zraka, povzroča pa jo seveda SO_3 v dimnih plinih. Poškodb cevi zaradi korozije pri visoki temperaturi nismo opazili.

7. Smernice za projektiranje

Z upoštevanjem lastnosti obravnavanega premoga in izkušenj, ki smo si jih pridobili pri večletnem obratovanju, lahko vse težave občutno zmanjšamo ali pa se jim v celoti izognemo.

Navajam le nekaj smernic za projektiranje, ki bodo občutno zmanjšale težave pri novih objektih za proizvodnjo električne energije, če bodo ti za gorivo uporabljali obravnavani premog.

7.1. Površina deponijskega prostora mora zagotoviti uporabo sodobne mehanizacije za razkladanje, nakladanje, tlačenje in homogenizacijo premoga. S tlačenjem premoga preprečujemo samovžig, s homogenizacijo premoga pa zagotavljamo manjše nihanje kurilnosti premoga in njegove sestave, kar omogoča stabilno obratovanje kotla.

Homogenizacijo, to je mešanje premogov različne kakovosti, dosegamo z ustreznim postopkom razkladanja in nakladanja premoga v deponiji.

7.2. Število presipnih mest na transportni poti je treba zmanjšati na minimum pa čeprav terja tako zmanjšanje zaradi morebitnega razgibanega ali urbaniziranega zemljišča veliko večja investicijska vlaganja.

7.3. Bunkerje premoga je treba oblikovati z velikimi iztočnimi odprtinami, strmimi stenami lijakov, obloženimi z materiali, ki povzročajo majhno trenje. Nasprotne stene naj imajo različne nagibe. Pri določitvi velikosti bunkerjev pa je treba najti tisto najmanjšo velikost, ki še povsem zagotavlja ustrezno zanesljivost pri obratovanju.

7.4. Obrabo mlinov je mogoče zmanjšati tudi na račun kakovosti mletja, zato pa je treba vgraditi dogorevalno rešetko za večje delce premoga, ki naj dogorevajo na rešetki.

7.5. Kurišče je treba oblikovati tako, da bo temperatura plamena pod tališčem žlindre.

7.6. Obrabo ogrevalnih površin je mogoče zmanjšati s stolpnim kotlom in z občutnim zmanjšanjem hitrosti dimnih plinov predvsem v območju grelnika vode.

Avtorjev naslov: Anton Urankar, dipl. ing.
Rudarska c. 2 a, Trbovlje