

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 21

LJUBLJANA, JANUAR—FEBRUAR 1975

ŠTEVILKA 1—2

UDK 622.614.2:621.311

Določanje izkoristka in njegove tolerance za celoten blok termoelektrarne

DUŠAN POLJAK

Pobudo za to razpravo so dala nekatera nerešena vprašanja, ki so se pojavila v termoelektrarni Šoštanj pri pripravah prevzemnih preizkusov bloka IV z močjo 275 MW. Namen teh preizkusov je bil ugotoviti z zadostno zanesljivostjo izkoristek η (oziroma specifično porabo toplove $q = 1/\eta$) bloka kot celote po tako imenovani direktni metodi (sl. 1) po obrazcu

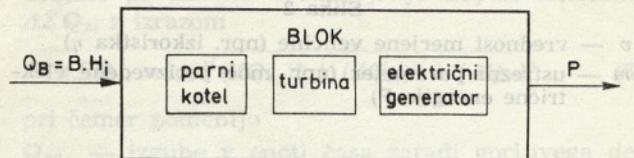
$$\eta = \frac{P}{B H_i} \quad (1)$$

kjer so:

 η — izkoristek bloka, B — količina v enoti časa porabljenega goriva, H_i — kurilnost goriva, P — moč proizvedene električne energije.

Enačba (1), ki definira izkoristek bloka, terja določanje vrednosti samo treh veličin, kar pomeni na prvi pogled zmanjšanje obsega meritov, ki bi jih terjali preizkusi posameznih sestavnih delov bloka, tj. parnega kotla, turbine in električnega generatorja. Ekonomski prednost take zasnove preizkusov pride posebno do izraza pri obsežnejših, iz več naprav sestoječih postrojenj, kakršen je tudi omenjeni termoelektrarniški blok, pri katerem je kakovost celote odločilna za njegovo oceno. Če se tudi jamstva nanašajo na blok kot celoto, kar velja za naš primer, in če pri prevzemnih preizkusih dosežemo jamčene vrednosti, niso potrebne garancijske meritve posameznih sestavnih delov oziroma naprav.

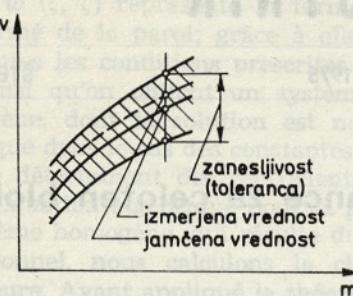
Določanje izkoristka bloka kot celote po enačbi (1) terja, kakor je bilo že rečeno, vsaj na prvi pogled manj meritov, kakor pa bi jih terjali preizkusi vsakega dela bloka posebej. To pa, na žalost, za naš primer ne velja. Prej omenjena prednost takšne preizkusne metode namreč ni splošna, ampak je odvisna od narave postrojenja, predvsem pa od vrste goriva. Pri kuriščih na tekoča goriva, kjer pri merjenju porabe goriva navadno ni težav, pridejo omenjene prednosti zgornje metode do polnega izraza. Drugače pa je to pri trdnih gorivih, kjer nas izraz (1) kljub preprosti obliki postavi pred dva problema.



Slika 1

Kot prvega naj omenimo določitev porabe goriva. Tehtanje samo res ni problem, težava pa tiči v zadosti natančni vzpostavitev enakega stanja v dodajalnih bunkerjih za premog na začetku in ob koncu preizkusa, ki ga iz varnostnih in obratovalnih razlogov ni mogoče začeti niti končati s praznimi bunkerji. Ker so dimenzije (površine) teh velike, je nenatančnost vzpostavitev začetnega stanja nedopustno velika. Obratovanje z večjim številom bunkerjev to nezanesljivost še poveča. Nenatančnostim reprodukcije začetnega stanja se je mogoče izogniti z indirektnim določanjem porabe goriva, kar je v našem primeru edino sprejemljiv postopek. Ta pa terja merjenje vseh izgub parnega kotla, tj. tiste naprave bloka, katere preizkus po indirektni metodi (merjenje izgub) je v primerjavi s preizkusi cestnih dveh (turbo in električnega generatorja) najobsežnejši in najzahtevnejši. Da se pri preizkušanju bloka kot celote po direktni metodi izognemo prav temu preizkusu, pomeni njeno največjo prednost. Z drugimi besedami: v našem primeru preizkušanje bloka kot celote ne prinaša spredaj omenjenih prednosti, tj. racionalizacije meritov, nasprotno, postavlja nas še pred dodaten problem: tj. izračun zanesljivosti oziroma tolerance izkoristka $\Delta \eta$, ki je pri prevzemnih preizkusih še posebno pomembna, saj pomeni dopustno mero povečanja ali zmanjšanja z meritvami dobljenih rezultatov pred njihovo primerjavo z garantiranimi vrednostmi (sl. 2).

Navodilo v pogodbi med investitorjem in dobaviteljem, po katerem naj pri uporabi direktne metode za ugotavljanje specifične porabe toplove bloka in njene tolerance upoštevamo predpise ustreznih DIN norm [1], [3], ne prinaša velike koristi. Njihova določila se namreč nanašajo na posamezne naprave bloka in jih je mogoče smiselnouporabiti samo tam, kjer je preizkusna in merilno-tehnična problematika bloka kot celote in posamezne naprave enaka.



Slika 2

v — vrednost merjene veličine (npr. izkoristka η)

m — ustrezeni parameter (npr. moč proizvedene električne energije P)

Popolnoma novo zasnova pa terja izračun zanesljivosti oziroma tolerance po direktni metodi določenega izkoristka bloka.

Rezultat razmišljanja na osnovi zgoraj omenjenih dejstev je pričajoča razprava, ki vsebuje najprej metodo za določanje izkoristka bloka na osnovi preizkusa parnega kotla po indirektni metodi, nato pa metodo za izračun njegove tolerance. Praktično uporabo obeh pa kaže primer na koncu članka.

Določitev vrednosti veličin v enačbi (1)

Če poznamo koristno toplosto, izgube kotla in kurilnost goriva, velja naslednja enačba:

$$100 \frac{Q_k + \Sigma Q_x}{Q_B} + \Sigma x = 100 \% \quad (2)$$

Pri tem so:

Q_k — koristna, na vodo oziroma paro v enoti časa prenešena toplosta (koristni topotni tok),

Q_B — kotlu z gorivom v enoti časa dovedena toplosta,

ΣQ_x — vsota topotnih izgub kotla, ki jih določamo v absolutni vrednosti,

Σx — vsota topotnih izgub kotla, ki jih določamo v odstotkih dovedene toplove.

Koristno toplosto in izgube določamo z merjenjem teh veličin med preizkusom kotla.

Če upoštevamo, da je

$$Q_B = B H_i$$

dobimo iz enačbe (2) količino v enoti časa porabljenega goriva

$$B = \frac{100 (Q_k + \Sigma Q_x)}{(100 - \Sigma x) H_i} \quad (3)$$

Proizvedeno moč v obliki električne energije izmerimo po ustreznih predpisih VDE [4], s tem pa imamo vse vrednosti za izračun specifične porabe toplove bloka po enačbi (1).

Določitev zanesljivosti (tolerance) izkoristka $\Delta\eta$

Toleranco izkoristka dobimo po kvadratičnem zakonu o razširjanju napak s parcialnim odvajanjem enačbe (1)

$$\Delta\eta = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial P} \Delta P\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial H_i} \Delta H_i\right)^2}$$

ozziroma

$$\Delta\eta = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{B H_i}\right)^2 + \left(\frac{P \Delta B}{B^2 H_i}\right)^2 + \left(\frac{P \Delta H_i}{B H_i^2}\right)^2} \quad (1a)$$

pri čemer so

ΔB — tolerance količine v enoti časa porabljenega goriva

ΔH_i — tolerance kurilnosti goriva

ΔP — tolerance proizvedene električne moči

Toleranci merilnih rezultatov moči ΔP in kurilnosti ΔH_i določimo po uporabljenih merilnih instrumentih in metodah po VDE 0410 [4] oziroma DIN 1942 [1] in DIN 51701 [5].

Toleranco ΔB pa dobimo po zakonu o razširjanju napak iz enačbe (3)

$$\Delta B = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial Q_k} \Delta Q_k\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial \Sigma Q_x} \Delta \Sigma Q_x\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial \Sigma x} \Delta \Sigma x\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial H_i} \Delta H_i\right)^2}$$

Z izračunom odvodov in uređitvijo dobimo

$$\Delta B = \pm \frac{100}{H_i (100 - \Sigma x)} \left[(\Delta Q_k)^2 + (\Delta \Sigma Q_x)^2 + \frac{(Q_k + \Sigma Q_x)^2 \cdot (\Delta \Sigma x)^2}{(100 - \Sigma x)^2} + \frac{(Q_k + \Sigma Q_x)^2 (\Delta H_i)^2}{H_i^2} \right]^{1/2} \quad (3a)$$

Za izvrednotenje izraza (3a) moramo izračunati še toleranco koristne toplove ΔQ_k , toleranco vsote izgub znanih v absolutni vrednosti $\Delta \Sigma Q_x$ in toleranco vsote izgub znanih v odstotkih $\Delta \Sigma x$.

Izračun tolerance ΔQ_k

Izraz za koristno toplosto pri ponovnem pregrevanju pare (sl. 3) se glasi:

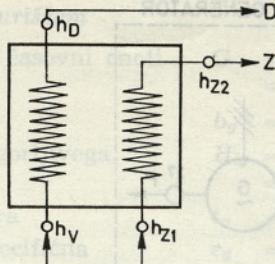
$$Q_k = D (h_D - h_V) + Z (h_{Z2} - h_{Z1}) \quad (4)$$

Če vpeljemo označbi

$$h_D - h_V = m_{DV}$$

in

$$h_{Z2} - h_{Z1} = m_Z$$



Slika 3

lahko enačbo (4) zapišemo v obliki

$$Q_k = D m_{DV} + Z m_Z \quad (4a)$$

V enačbi (4) so

- Q_k — koristna toplota, dovedena v enoti časa
- D — pretočna količina sveže pare
- h_V — entalpija napajalne vode ob vtoku v kotel
- h_D — entalpija sveže pare ob iztoku iz kotla
- Z — pretočna količina ponovno pregrete pare
- h_{Z1} — entalpija pare za ponovno pregrevanje na vtoku v pregrevnik
- h_{Z2} — entalpija ponovno pregrete pare na iztoku iz pregrevnika

Toleranco ΔQ_k dobimo po zakonu o razširjanju napak iz enačbe (4a) v obliki

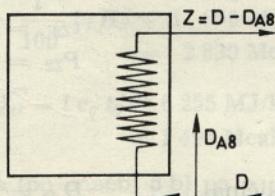
$$\Delta Q_k = \pm \sqrt{(D \Delta m_{DV})^2 + (m_{DV} \Delta D)^2 + (Z \Delta m_Z)^2 + (m_Z \Delta Z)^2} \quad (4b)$$

Toleranco ΔD količine sveže pare D izračunamo po DIN 1952 [2], toleranci Δm_{DV} in Δm_Z razlik entalpij pa po DIN 1942 [1].

Toleranco ΔZ količine ponovno pregrete pare Z dobimo po zakonu o razširjanju napak iz enačbe

$$Z = D - D_{A8} \quad (5)$$

po kateri pri preizkusih ugotavljamo količino pare za ponovno pregrevanje (sl. 4).



Slika 4

Pri tem je

D_{A8} — pretočna količina grelne pare.

Tako dobimo

$$\Delta Z = \pm \sqrt{\Delta D^2 + \Delta D_{A8}^2} \quad (5a)$$

Toleranco pretočne količine grelne pare ΔD_{A8} določimo po DIN 1952 [2]. S temi vrednostmi izračunamo po enačbi (4 b) toleranco koristne toplote ΔQ_k .

Določitev tolerance $\Delta \Sigma Q_{xi}$

Če je vsota izgub kotla, ki je znana v absolutni vrednosti

$$\Sigma Q_{xi} = Q_{xg} + Q_{xl} + Q_{xt} \quad (5b)$$

dobimo po zakonu o razširjanju napak toleranco $\Delta \Sigma Q_{xi}$ z izrazom

$$\Delta \Sigma Q_{xi} = \pm \sqrt{(\Delta Q_{xg})^2 + (\Delta Q_{xl})^2 + (\Delta Q_{xt})^2} \quad (6)$$

pri čemer pomenijo

Q_{xg} — izgube v enoti časa zaradi gorljivega deleža v izgorkih pod kuriščem

Q_{xl} — izgube v enoti časa zaradi gorljivega deleža v letečem pepelu

Q_{xt} — izguba v enoti časa s toplovo vročih izgorkov pod kuriščem

ΔQ_{xi} — toleranco ustrezne izgube

Tolerance izgub ΔQ_{xg} , ΔQ_{xl} in ΔQ_{xt} v absolutni vrednosti izračunamo pri znanih izgubah Q_{xg} , Q_{xl} in Q_{xt} na osnovi odstotnih vrednosti njihovih toleranc $f_{\Delta Q_{xi}}$, ki jih navajajo DIN 1942 [1], po enačbi

$$\Delta Q_{xi} = \frac{Q_{xi}}{100} f_{\Delta Q_{xi}} \quad (7)$$

Določitev tolerance $\Delta \Sigma x_i$

Če je vsota izgub, ki je znana v odstotkih z ozirom na dovedeno toplopo

$$\Sigma x_i = x_n + x_d + x_{sk}$$

je njena toleranca

$$\Delta \Sigma x_i = \sqrt{(\Delta x_n)^2 + (\Delta x_d)^2 + (\Delta x_{sk})^2} \quad (8)$$

Pri tem so \rightarrow v odstotkih:

x_n — izgube zaradi nezgorelih plinov

x_d — dimnične izgube

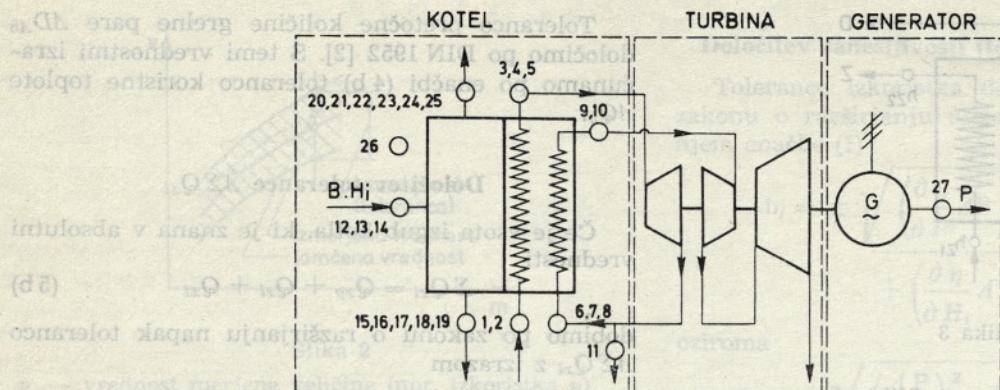
x_{sk} — sevalne in konvektivne izgube

Δx_i — toleranca ustrezne izgube.

Tolerance Δx_i v odstotkih dobimo pri znanih izgubah v odstotkih x_i na osnovi odstotnih vrednosti njihovih toleranc $f_{\Delta x_i}$, ki jih navajajo DIN 1942 [1], po enačbi

$$\Delta x_i = \frac{x_i}{100} f_{\Delta x_i} \quad (9)$$

Uporaba odstotnih vrednosti toleranc $f_{\Delta Q_{xi}}$ in $f_{\Delta x_i}$ iz norm je seveda upravičena samo pri zadosti kakovostnih meritvah neposredno merljivih veličin. Mera za to so standardne napake (deviacije) pri merjenju teh veličin, ki pri zahtevani verjetnosti



Sl. 5 Toplotna shema z meritnimi oziroma odjemnimi mesti bloka 275 MW v TE Šoštanj

Stevilke v sliki ustrezajo oštrevljenju veličin v podatkih bloka.

določajo ustrezone tolerance [6], [7]. Iz teh izhaja po zakonu o razširjanju napak toleranca posredno določljivega rezultata, katera ne sme presegati v normah navedene vrednosti. V nasprotnem primeru so dejanske tolerance večje od tistih, ki jih dajejo enačbe (7) in (9) oziroma (6) in (8).

Enačbe (4b), (6) in (8) omogočajo izračun tolerance količine porabljenega premoga ΔB po enačbi (3a). S tem pa imamo vse veličine za izračun tolerance izkoristka $\Delta \eta$ po enačbi (1a). Na toleranco $\Delta \eta$ močno vpliva kurilnost H_i goriva. Večje vrednosti H_i imajo za posledico občutno manjše tolerance ΔB in ΔH_i s tem pa zmanjšanje tolerance $\Delta \eta$. Vse to povečuje uporabnost spredaj zasnovane metode pri gorivih z visoko kurilnostjo. Pri teh se namreč toleranca ΔH_i , s tem pa prek ΔB tudi $\Delta \eta$ močno zmanjša zaradi visoke kurilnosti H_i . Sem sodijo poleg visoko kaloričnih trdnih goriv tudi tekoča in plinasta goriva. Če pa je pri zadnjih dveh mogoča zadost zanesljiva direktna določitev porabe goriva, uporaba obravnavane metode seveda odpade, saj v tem primeru prednost direktnega določanja izkoristka bloka po enačbi (1) pride, prav nasprotno kakor pri trdnih gorivih, do polnega izraza. Pri trdnih gorivih nizke kurilnosti, kar velja npr. za velenjski lignit, pa je toleranca $\Delta \eta$ razmeroma velika. Tu sicer lahko v dolženi meri zmanjšamo ΔH_i tako, da jemljemo med preizkusom hkrati večje število vzorcev, kar pa tolerance $\Delta \eta$ ne zmanjša na njene vrednosti pri visokokaloričnih gorivih. Zaradi tega se moramo pri preizkušanju bloka po tej metodi pri manj-vrednih trdnih gorivih pač zadovoljiti z večjimi tolerancami $\Delta \eta$.

Praktično uporabo obravnavane metode kaže določitev izkoristka η in njegove tolerance $\Delta \eta$ za blok moči 275 MW v TE Šoštanj (sl. 5) na osnovi vrednosti veličin, ki so vzete iz projekta oziroma pogonskih podatkov bloka.

Podatki bloka

Napajalna voda

1 temperatura	$t_V = 257^{\circ}\text{C}$
2 tlak	$p_V = 233,5 \text{ bar}$ $= 238 \text{ ata}$

Sveža para

3 temperatura	$t_D = 540^{\circ}\text{C}$
4 tlak	$p_D = 184,4 \text{ bar}$ $= 188 \text{ ata}$
5 pretočna količina	$D = 239 \text{ kg/s}$ $= 860 \text{ t/h}$

Para za ponovno pregrevanje

6 temperatura	$t_{Z1} = 344^{\circ}\text{C}$
7 tlak	$p_{Z1} = 46,1 \text{ bar}$ $= 47 \text{ ata}$
8 pretočna količina	$Z = 226 \text{ kg/s}$ $= 813 \text{ t/h}$

Ponovno pregreta para

9 temperatura	$t_{Z2} = 545^{\circ}\text{C}$
10 tlak	$P_{Z2} = 44,1 \text{ bar}$ $= 45 \text{ ata}$

Grelna para

11 pretočna količina	$D_{A8} = 13 \text{ kg/s}$ $= 47 \text{ t/h}$
----------------------	--

Gorivo: velenjski lignit

12 kurilnost	$H_i = 9210 \text{ kJ/kg}$ $= 2200 \text{ kcal/kg}$
13 vlaga	$w = 41 \%$
14 pepel	$a = 17 \%$

Izgorki pod kuriščem

15 količina v časovni enoti	$G = 2,306 \text{ kg/s}$
	$= 8\ 300 \text{ kg/h}$
16 gorljivo	$b_g = 3,5 \%$
17 kurilnost gorljivega deleža	$H_{ig} = 33\ 280 \text{ kJ/kg}$
18 temperatura	$t_g = 600^\circ\text{C}$
19 srednja specifična toplopa	$c_g = 1,26 \text{ kJ/kg}$
	$c_g = 0,3 \text{ kcal/kg}$

Leteči pepel

20 količina v časovni enoti	$l = 12,36 \text{ kg/s}$
	$= 44\ 500 \text{ kg/h}$
21 gorljivo	$b_l = 0,8 \%$
22 kurilnost gorljivega	$H_{il} = 33\ 280 \text{ kJ/kg}$
	$= 7\ 950 \text{ kcal/kg}$

Dimni plini na izstopu iz kotla

23 temperatura	$t_d = 140^\circ\text{C}$
24 ogljikov dioksid	$CO_2 = 14 \%$
25 ogljikov monoksid	$CO = 0 \%$

Zunanji zrak

26 temperatura	$t_z = 20^\circ\text{C}$
----------------	--------------------------

Električna energija

27 Proizvedena moč	$P = 275 \text{ MW}$
--------------------	----------------------

Izračun izkoristka bloka

Koristno toplopo dobimo po enačbi (4)

$$Q_k = 593,0 \text{ MW} \\ = 510\ 000 \text{ Mcal/h}$$

Izgube, ki jih je mogoče izračunati v absolutni vrednosti, so

$$Q_{xg} = \frac{G}{100} b_g H_{ig} = 9\ 670 \text{ MJ/kg} \\ = 2\ 319 \text{ Mcal/kg}$$

$$Q_{xl} = \frac{l}{100} b_l H_{il} = 11\ 850 \text{ MJ/kg} \\ = 2\ 830 \text{ Mcal/kg}$$

$$Q_{xt} = l c_g t_g = 6\ 255 \text{ MJ/kg} \\ = 1\ 494 \text{ Mcal/kg}$$

Njihova vsota (po enačbi 5 b) pa

$$\Sigma Q_{xi} = 27\ 755 \text{ MJ/kg} \\ = 6\ 634 \text{ Mcal/kg}$$

Izgube, določljive v odstotkih dovedene toplove, so

$$x_n = 0 \% \quad (Co = 0 \% — popolno zgorevanje)$$

$$x_d = f \frac{t_d - t_z}{CO_2 + CO} = 6,99 \%$$

pri čemer je faktor f po Hassensteinu [8]

$$f = f(w, CO_2 \% + CO \%) = 0,815$$

$$x_{sk} = 0,45 \% \quad (\text{za } 100 \% \text{-no obremenitev kotla})$$

(po izkustvenih diagramih za tovrstno konstrukcijo kotlov).

Vsota v odstotkih znanih izgub je potem

$$\Sigma x_i = 7,44 \%$$

S temi vrednostmi dobimo po enačbi (3) količino porabljenega premoga

$$B = 77,25 \text{ kg/s} \\ = 278\ 090 \text{ kg/h}$$

po enačbi (1) pa izkoristek bloka

$$\eta = 0,3865 \text{ oziroma } 38,65 \%$$

Obratna vrednost enačbe (1) pa da izkoristku ustrezno specifično porabo toplove

$$q = \frac{P}{B H_i} = 2,587 \text{ [kJ/kJ]} = 2\ 225 \text{ kcal/kWh}$$

Izračun tolerance $\Delta\eta$ izkoristka bloka η

Enačba (1a) vsebuje poleg veličin, katerih vrednosti poznamo iz preizkusnih podatkov (merilni rezultati), še tolerance določanja porabe premoga ΔB , kurilnosti ΔH_i in proizvedene električne moči ΔP , ki jih je treba še določiti oziroma izračunati.

Izračun ΔB

Toleranco ΔB izračunamo po enačbi (3a), za kar pa moramo določiti še tolerance ΔQ_k , $\Delta \Sigma Q_{xi}$, $\Delta \Sigma x_i$ in ΔH_i .

Izračun ΔQ_k

Toleranco koristne toplove ΔQ_k dobimo po enačbi (4b), pri čemer izračunamo toleranco količine sveže pare ΔD po DIN 1952 [2]. Toleranca ΔZ količine ponovno pregrete pare izhaja iz enačbe (5a), pri čemer izračunamo toleranco količine grelne pare ΔD_{A8} po DIN 1952. Toleranci Δm_{DV} in Δm_Z določimo po DIN 1942 [1]. Količino sveže pare merimo s padcem tlaka v dveh Venturijevih šobah (levi in desni parovod). Toleranca tako dobljene količine je

$$\Delta D = \pm \sqrt{(\Delta D_i)^2 + (\Delta D_d)^2} = \pm 2,432 \text{ kg/s} = \\ = \pm 8\ 754 \text{ kg/h}$$

Količino grelne pare D_{A8} pa merimo s padcem tlaka v ostrorobi normirani zaslonski. S tem dobimo po enačbi (5a)

$$\Delta Z = \pm 2,433 \text{ kg/s} = \pm 8\ 760 \text{ kg/h.}$$

Toleranci razlik entalpij dobljenih iz merjenja temperatur in tlaka sta [1]

$$\Delta m_{DV} = \pm 13,15 \text{ kJ/kg} = \pm 3,141 \text{ kcal/kg}$$

$$\Delta m_Z = \pm 12,77 \text{ kJ/kg} = \pm 3,050 \text{ kcal/kg}$$

Z razliko entalpij

$$\begin{aligned}m_{DV} &= 2265 \text{ kJ/kg} = 541,0 \text{ kcal/kg} \\m_Z &= 486 \text{ kJ/kg} = 116,1 \text{ kcal/kg}\end{aligned}$$

dobimo toleranco koristnega topotnega toka po enačbi (4 b)

$$\Delta Q_k = \pm 7063 \text{ kW} = \pm 6074 \text{ Mcal/h}$$

Izračun $\Delta \Sigma Q_{xi}$ in $\Delta \Sigma x_i$

Tolerance posameznih izgub v enačbi (6) izračunamo po enačbi (7), tolerance v enačbi (8) pa po enačbi (9). Tako dobimo po enačbi (7):

$$\begin{aligned}\Delta Q_{xg} &= \pm 850 \text{ kW} = \pm 731 \text{ Mcal/h} \\ \Delta Q_{xl} &= \pm 494 \text{ kW} = \pm 425 \text{ Mcal/h} \\ \Delta Q_{xt} &= \pm 521 \text{ kW} = \pm 448 \text{ Mcal/h}\end{aligned}$$

in po enačbi (9)

$$\begin{aligned}\Delta x_n &= 0 \\ \Delta x_d &= \pm 0,736 \% \\ \Delta x_{sk} &= \pm 0,225 \%\end{aligned}$$

S temi vrednostmi dobimo po enačbi (6)

$$\Delta \Sigma Q_{xi} = \pm 1112 \text{ kW} = \pm 956 \text{ Mcal/h}$$

po enačbi (8) pa

$$\Delta \Sigma x_i = \pm 0,7686 \%$$

Izračun ΔH_i

Z odstotnimi vrednostmi toleranc [1] odvzema oziroma priprave vzorcev premoga in določanja kuirilnosti dobimo toleranco za kuirilnost

$$\Delta H_i = \pm 444 \text{ kJ/kg} = \pm 106,07 \text{ kcal/kg}$$

Dobljene vrednosti dajo po enačbi (3 a) toleranco količine porabljenega premoga

$$\Delta B = \pm 3,831 \text{ kg/s} = \pm 13790 \text{ kg/h}$$

Izračun $\Delta \eta$

Če upoštevamo odstotno toleranco merjenja moči proizvedene električne energije

$$f_{AP} = \pm 0,5 \% \text{ oziroma } \Delta P = \frac{P}{100} f_{AP} = \pm 1375 \text{ kW}$$

dobimo po enačbi (1 a) toleranco izkoristka bloka

$$\Delta \eta = \pm 0,0267 \text{ oziroma } \pm 2,67 \%$$

Z upoštevanjem tolerance je izkoristek bloka

$$\eta = [38,65 \pm 2,67] \%$$

Zgornja meja izkoristka je torej 41,32 %, spodnja pa 35,98 %.

Če upoštevamo, da sta odstotni vrednosti toleranc izkoristka $f_{\Delta \eta}$ in specifične porabe toplotne $f_{\Delta q}$ enaki, lahko izračunamo tudi absolutno vrednost tolerance specifične porabe toplotne Δq .

$$f_{\Delta q} = f_{\Delta \eta} = \pm \frac{\Delta \eta}{\eta} 100 = \pm 6,91 \%$$

s tem pa

$$\Delta q = \pm \frac{q}{100} f_{\Delta q} = \pm 0,179 \text{ [kJ/kJ]} = \pm 154 \text{ kcal/kWh}$$

Z upoštevanjem tolerance je specifična poraba toplotne

$$q = (2,587 \pm 0,179) \text{ [kJ/kJ]}$$

ozziroma

$$q = [2225 \pm 154] \text{ kcal/kWh}$$

Če jemljemo hkrati namesto enega štiri vzorce [1] in opravimo štiri analize, dobimo za določanje kuirilnosti toleranco

$$\Delta H_i = \pm 310,9 \text{ kJ/kg} = \pm 74,27 \text{ kcal/kg}$$

Za določanje količine goriva pa

$$\Delta B = \pm 2,786 \text{ kg/s} = \pm 10030 \text{ kg/h}$$

S temi vrednostmi izhaja iz enačbe (1 a)

$$\Delta \eta = \pm 0,0192 \text{ oziroma } \pm 1,92 \%$$

V tem primeru je izkoristek bloka z upoštevanjem tolerance

$$\eta = [38,65 \pm 1,92] \%$$

njegovi mejni vrednosti pa 40,57 % in 36,73 %.

Odstotna vrednost tolerance izkoristka $f_{\Delta \eta}$ je

$$f_{\Delta \eta} = f_{\Delta q} = \pm \frac{\Delta \eta}{\eta} 100 = \pm 4,97 \%$$

absolutna vrednost tolerance specifične porabe toplotne pa

$$\Delta q = \pm \frac{q}{100} f_{\Delta q} = \pm 0,129 \text{ [kJ/kJ]} = \pm 111 \text{ kcal/kWh}$$

Specifična poraba toplotne z upoštevanjem tolerance je torej

$$q = (2,587 \pm 0,129) \text{ [kJ/kJ]}$$

ozziroma

$$q = [2225 \pm 111] \text{ kcal/kWh}$$

LITERATURA

[1] VDI — Dampferzeugerregeln 1956, DIN 1942.

[2] VDI — Durchflussmessregeln 1948, 1969, DIN 1952.

[3] VDI — Dampfturbinenregeln, Entwurf 1971, DIN 1943.

[4] VDE 0410, Regeln für elektrische Messgeräte 1959, 1963, 1968.

[5] Probenahme und Probeaufbereitung von körnigen Brennstoffen 1950, DIN 51701.

[6] Messungenauigkeiten bei Abnahmever suchen, Entwurf 1970, VDI 2048.

[7] E. Hultsch: Ausgleichsrechnung mit Anwendungen in der Physik, Geest & Portig K. G., Leipzig 1966.

[8] DAMPF — Babcock Handbuch, 4. izdaja, 1965.

Avtorjev naslov:

dr. ing. Dušan Poljak,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani