

Sistemske rešitve izkoriščanja odpadnih toplot v železarni Ravne

UDK: 620.98
ASM/SLA: B11r

D. Vodeb, B. Gašperšič, Z. Erjavec, F. Medl

Prikazani so energetski tokovi primarne in sekundarne energije v železarni. Iz prikaza je razvidno, da je smiselno izkoriščati odpadno toploto samo v določenih obratih, skozi katere gre večina primarne energije. Dane so termodinamične osnove za različne načine izkoriščanja odpadne toplote. Obdelani so trije različni sistemi izkoriščanja odpadne toplote: toplotna črpalka, kotlarna in toplarna.

1. UVOD

Železarna Ravne potrebuje za nemoten tehnološki proces velike količine primarne energije. Glavni energetski viri za železarno Ravne so električna energija ter tekoča in plinasta goriva. Del dovedene primarne energije se izkorišča v visokotemperaturnem območju za tehnološke namene, del pa za pretvorbo v sekundarne vire energije, paro in toplo vodo.

Pri vsakem toplotnem agregatu nastanejo toplotne izgube, ker izstopajočega toplotnega toka ne ohladimo do temperature okolice. Velikost toplotnih izgub je odvisna od izstopne temperature, s katero zapušča toplotni tok agregat. V primeru, da izstopajoči toplotni tok vodimo, preden zapusti agregat, še skozi enega ali več toplotnih izmenjevalcev, lahko pridobimo koristno energijo. Uvedba sistemov za izkoriščanje odpadnih toplot je možna tedaj, ko imamo visokotemperaturne toplotne vire in porabnike nizkotemperaturne toplote. V železarni Ravne iščemo optimalno rešitev izkoriščanja odpadne toplote v dveh smereh, in sicer:

— analiza toplotnih virov in porabnikov toplote (kataster odpadne toplote),

— iskanje optimalne rešitve izkoriščanja odpadnih toplot.

Prvo področje posega v delo metalurških naprav in agregatov, zato to nalogo raziskujemo z metalurškim inštitutom v Ljubljani. Naloga je zelo obsežna, saj zajema vse velike in male energetske naprave. Končni cilj naloge je, da dobimo pregled nad vsemi energetskimi napravami in karakteristikami dela, ki so potrebni za nadaljnjo analizo. Najvažnejša podatka sta velikost izstopajočega toka odpadne toplote in časovni potek dela toplotnega agregata.

Drugo področje bomo v nadaljevanju podrobneje obdelali na različnih možnih sistemih prenosa toplotne energije iz višjega temperaturnega nivoja na nižji temperaturni nivo. Osnova za primerjavo posameznih variant bo enaka in bazira na do sedaj opravljenih meritvah toplotnih agregatov in porabe primarne energije v letu 1978. Razvoj tehnologije na področju prenosa toplote in energije je napredoval tako, da sedaj lahko razmišljamo o takšnih variantah izkoriščanja odpadne toplote, ki v prejšnjih letih niso bile možne.

1. TOK ENERGIJE V ŽELEZARNI

V železarno Ravne dovajamo energijo na različne načine in v različnih oblikah. Na posameznih toplotnih agregatih se dovedena energija direktno izkoristi ali pa se pretvarja v sekundarni energetski medij. Primarni energetski mediji so:

- električna energija,
- zemeljski plin,
- tekoči naftni plin,
- mazut,
- voda.

To so glavni nosilci; ostali mediji, ki jih dobavljamo v manjših količinah, so:

- butan-propan v jeklenkah,
- koks,
- karbid,
- acetilen v jeklenkah,
- kurilno olje.

Sekundarni energetski mediji so:

- higienska topla voda,

Mag. Dušan Vodeb, dipl. ing. stroj., TOZD raziskave in razvoj Železarne Ravne

Prof. dr. Branko Gašperšič, dipl. ing. stroj., Fakulteta za strojništvo v Ljubljani

Zvonko Erjavec, ing. stroj., TOZD raziskave in razvoj Železarne Ravne

Ferdo Medl, dipl. ing. stroj., TOZD raziskave in razvoj Železarne Ravne

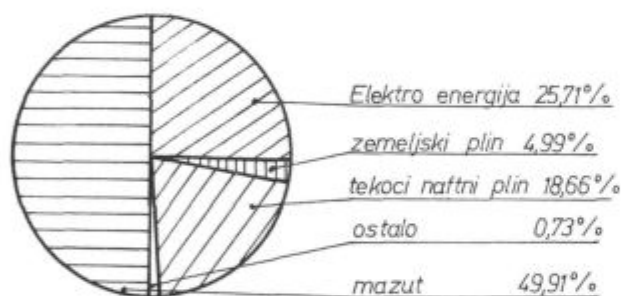
Referat podan na XXVI. jesenskem posvetovanju strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož, 18. in 19. oktobra 1979.

- para,
- centralno ogrevanje,
- kisik,
- dušik,
- komprimiran zrak.

Primarni energetski mediji se uporabljajo v enakem stanju, kot se dobavljajo, ali pa so nekoliko modificirani. Zemeljski plin se uporablja čist ali pa v plinski mešanici z zrakom. Tekoči naftni plin uporabljamo v železarni kot tekočo fazo, plinsko fazo ali pa plinsko mešanico z zrakom. Voda se tudi deli na industrijsko vodo in pitno vodo. V železarni uporabljamo, če upoštevamo še CO₂ in argon, 22 različnih energetskih medijev.

Na sliki 1 vidimo procentualno udeležbo primarnih energetskih medijev za leto 1978 in na sliki 2 za isto leto procentualno udeležbo sekundarnih energetskih medijev.¹

Torej imata v oskrbi železarne zelo velik delež mazut in plinasto gorivo, skupaj 73,56 %. Delež zemeljskega plina se bo z leti dvigal, vendar na račun tekočega naftnega plina in mazuta, struktura porabe proti električni energiji pa se ne bo spremenila. Glavni delež v porabi sekundarnih medijev ima centralno ogrevanje s 57,58 % in paro z 32,56 %.

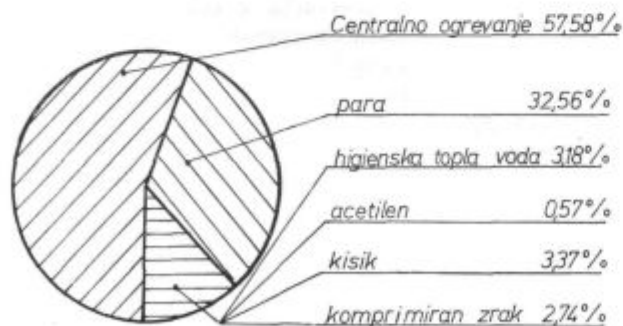


Slika 1

Procentualna udeležba primarnih energetskih medijev za leto 1978

Fig. 1

Percentage portion of the primary energy media in 1978



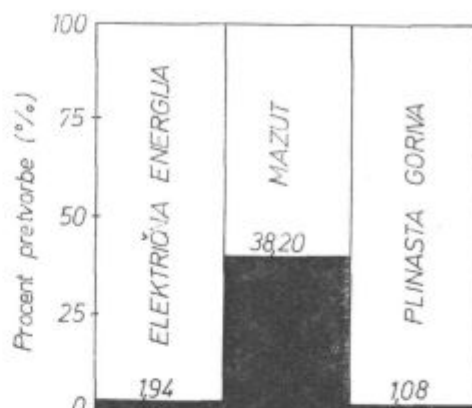
Slika 2

Procentualna udeležba sekundarnih energetskih medijev za leto 1978

Fig. 2

Percentage portion of the secondary energy media in 1978

Za proizvodnjo sekundarnih energetskih medijev uporabljamo primarne energetske medije, delež te pretvorbe prikazujemo na sliki 3, in sicer za električno energijo, mazut in plinasta goriva.



□ Tehnološka uporaba

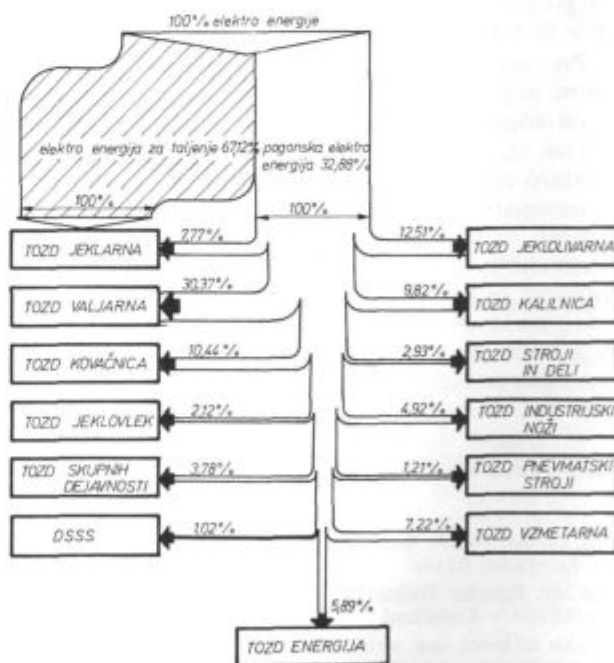
■ Pretvorba v sekund. energetske medije

Slika 3

Delež potrebne primarne energije v sekundarno energijo po medijih v Železarni Ravne v letu 1978

Fig. 3

Portion of the necessary primary energy into the secondary energy by single media in the Ravne Ironworks in 1978



Slika 4

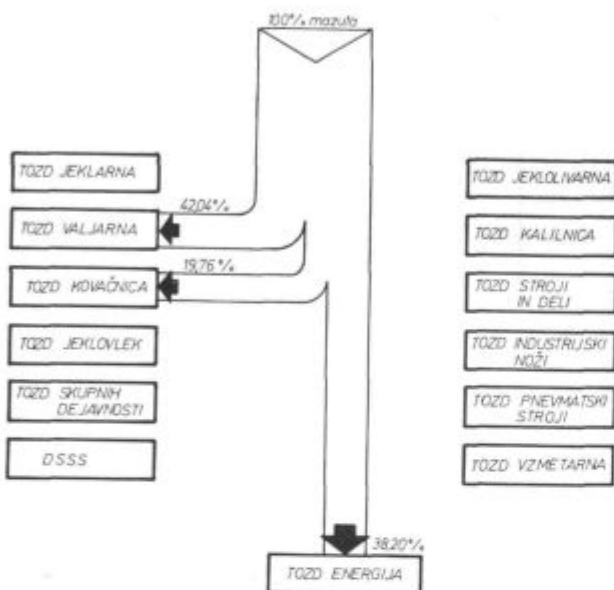
Tok električne energije v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 4

Flowsheet of electric energy in the Ravne Ironworks in 1978

Iz slike 3 je vidno, da je pri mazutu najvišji delež pretvorbe v sekundarne energetske medije, medtem ko se elektro energija in plinasta goriva uporabljajo izključno za tehnološke namene. Tok primarnih energetskih medijev v železarni je viden na naslednjih slikah. Na sliki 4 je prikazan tok elektro energije, na sliki 5 tok mazuta in na sliki 6 tok plinastih goriv.

Primarna dovedena energija, ki znaša 17,54 % od celotno dovedene energije z gorivi in električno

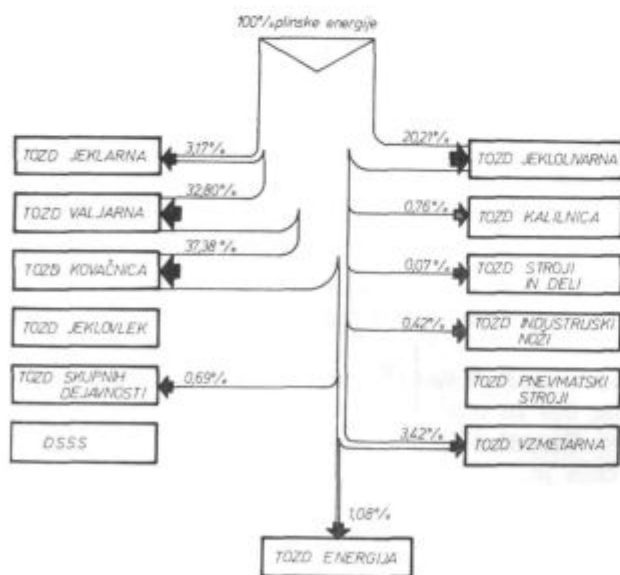


Slika 5

Tok tekočih goriv v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 5

Flowsheet of liquid fuels in the Ravne Ironworks in 1978



Slika 6

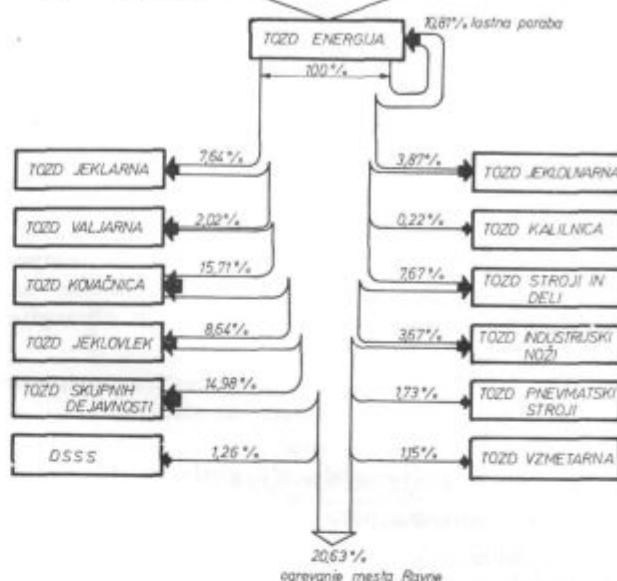
Tok plinastih goriv v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 6

Flowsheet of gas fuels in the Ravne Ironworks in 1978

Struktura odvedene energije
57,58% centralno ogrevanje
32,56% para
3,37% kisik
2,74% kompriman zrak
0,57% aceten
3,18% higienska topla voda

Struktura dovedene energije
2,31% elektro energije
96,35% mazuta
1,30% plinske energije
0,04% ostalo



Slika 7

Tok sekundarne energije v Železarni Ravne za leto 1978

Fig. 7

Flowsheet of secondary energy in the Ravne Ironworks in 1978

energijo, se v TOZD energija pretvori v sekundarno energijo.

Na sliki 7 prikazujemo tok sekundarne energije v železarni.

2. MEJNE VREDNOSTI PRI IZKORIŠČANJU ODPADNIH TOPLOT

Vsako obliko energije lahko opišemo s poznavanjem vrednosti eksergije in anergije. Po prvem glavnem zakonu termodinamike ostane vsota obeh energijskih deležev med procesom pretvarjanja konstantna. Drugi glavni zakon termodinamike pa nam določa povračljivost, oziroma nepovračljivost procesa. Pri nepovračljivih procesih se nam eksergija pretvori v anergijo, to je energijo, ki se ne da pretvoriti v eksergijo. Delež pretvorbe eksergije v anergijo je odvisen od tehničnih in gospodarskih dejavnikov in se ga da določiti za vsak posamezen primer posebej.

Eksergija toplote je:²

$$E_{12} = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_{ok}}{T}\right) dQ_{12} \quad (1)$$

in anergija toplote

$$B_{12} = T_{ok} \int_1^2 \frac{dQ_{12}}{T} \quad (2)$$

Celotna energija je vsota eksergije in anergije

$$Q_{12} = E_{12} + B_{12} \quad (3)$$

V enačbi (3) nam eksergija E_{12} predstavlja neomejeno pretvorljivi del energije, anergija B_{12} pa je toplota pri stanju okolice in je ne moremo več pretvarjati. Bistvo racionalne porabe energije je, da tehnološki proces vodimo ali izberemo tako, da bi bile eksergijske izgube čim manjše. Tej zahtevi bomo zadostili tedaj, ko bomo glede na tehniške možnosti čim bolj popolno izkoriščali vsebino eksergije, kar zahteva porabo toplote pri enakomerno padajoči temperaturi. Nedopustno je, da privedemo eksergijo toplote na nižji temperaturni nivo, tako da dodajamo anergijo, ker na ta način samo zmanjšujemo razmerje eksergije proti anergiji.

V nadaljevanju obdelamo tri različne primere izkoriščanja odpadne toplote, in sicer:

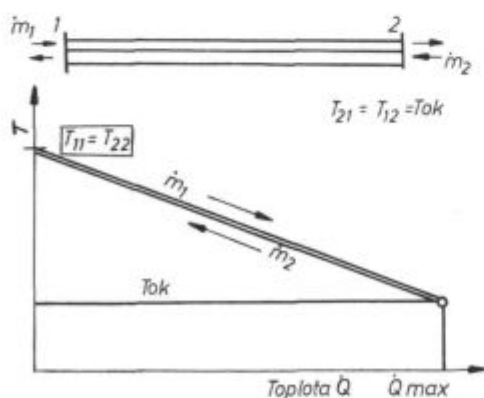
- gretje,
- pridobivanje mehanskega dela in
- pridobivanje pare.

Pri tehnološkem procesu nastalo odpadno toploto lahko izkoristimo za gretje masnega toka snovi, ki ima na svojem vstopu temperaturo okolice. V primeru, da imamo idealen izobaren povračljiv proces, kjer poteka prenos toplote pri zanemarljivo majhnih temperaturnih razlikah $T_1 - T_2 \rightarrow 0$, je največji razpoložljiv toplotni tok procesa gretja enak

$$Q_{\max} = m_1 c_{p1} (T_{11} - T_{ok}) = m_2 c_{p2} (T_{22} - T_{ok}) \quad (4)$$

V enačbi (4) je $T_{12} = T_{21} = T_{ok}$ in velja le v primeru, da je razmerje specifičnih toplot obhoda v obravnavanem temperaturnem območju konstantno. Iz enačbe potem tudi sledi, da je razmerje masnih tokov dano in je

$$\mu = m_2/m_1 = c_{p1}/c_{p2} \quad (5)$$



Slika 8

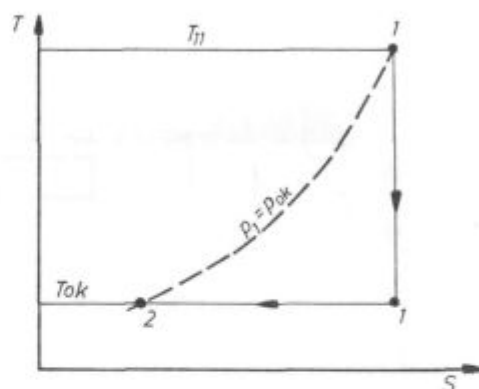
Diagram T, Q za povračljiv prenos toplote pri konstantni specifični toploti obeh medijev

Fig. 8

T, Q diagram for reversible heat transfer at the constant specific heat of both media

Mejni primer popolnega izkoriščanja odpadne toplote za namene gretja prikazujemo na sliki 8 v diagramu T, Q. Zaradi prenosa toplote pri neskončno majhnih temperaturnih razlikah med obema fluidoma nimamo eksergijskih izgub.

Drug možen način izkoriščanja odpadne toplote je pridobivanje mehanskega dela v toplotnem stroju. Maksimalno delo dobimo pri povračljivem procesu tako, da plin tlaka $p = p_{ok}$ najprej izentropno ekspandiramo v turbini na temperaturo okolice, potem pa ga izotermno komprimiramo nazaj na tlak okolice. Proces je viden na sliki 9.



Slika 9

Povračljiv proces pri katerem pridobimo maksimalno mehansko delo

Fig. 9

Reversible process for the recovery of maximal mechanical energy

Maksimalno pridobljeno delo je enako eksergiji, ki jo izračunamo po enačbi:

$$e_1 = h_1 - h_{ok} - T_{ok} (s_1 - s_{ok}) \quad (6)$$

V primeru, da je $p_1 = p_{ok}$ in $c_p = c_{p1}$ konst., potem je entalpijska razlika

$$h_1 - h_{ok} = c_{p1} (T_{11} - T_{ok}) \quad (7)$$

in sprememba entropije je

$$s_1 - s_{ok} = c_{p1} \ln \frac{T_{11}}{T_{ok}} \quad (8)$$

Z vstavljanjem enačb (7) in (8) v enačbo (6) dobimo maksimalno delo

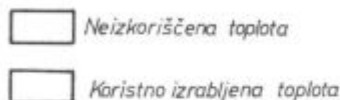
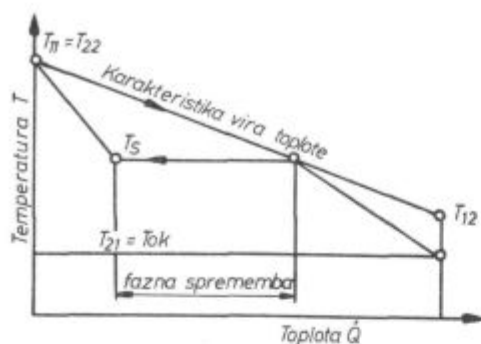
$$e_1 = c_{p1} \left[(T_{11} - T_{ok}) - T_{ok} \ln \frac{T_{11}}{T_{ok}} \right] \quad (9)$$

Termični izkoristek tega povračljivega procesa je:

$$\eta_{th' \text{ pov}} = \frac{e_1}{Q_{\max}} = 1 - \frac{T_{11} - T_{ok}}{T_{ok}} \ln \frac{T_{11}}{T_{ok}} \quad (10)$$

in je funkcija samo temperatur T_{11} in T_{ok} .

S toploto dimnih plinov lahko proizvajamo tudi paro. Idealni proces izmenjave toplote med dimnimi plini in vodo je prikazan na sliki 10.



Slika 10

Diagram T, Q za gretje tekočine s fazno spremembo

Fig. 10

T, Q diagram for heating liquid by a phase transformation

Voda vstopa v sistem pri temperaturi $T_{21} = T_{ok}$. Vstopna voda se najprej predgreje na temperaturo vrelišča T_s , pri kateri poteka proces uparjanja. Mokro paro še pregrejemo na vstopno temperaturo plina $T_{11} = T_{22}$.

Pri tem izobarnem procesu ležita na karakteristiki toplotnega vira samo dve točki. Za prenos toplote v uparjalniku in pregrevalniku pare velja naslednja enačba:

$$m_1 c_{pl} (T_{11} - T_s) = m_2 [h_{22}(t_{22}) - h_2'(t_s)] \quad (11)$$

in za grelnik vode se bilančna enačba glasi:

$$m_1 c_{pl} (T_s - T_{12}) = m_2 [h_2'(t_s) - h_{21}(t_{21})] \quad (12)$$

Pri tem je določeno razmerje masnih tokov pare in dimnega plina

$$\mu = \frac{m_1}{m_2} = \frac{c_{pl} (T_{11} - T_s)}{h_{22} - h_2'} \quad (13)$$

ter enako končna temperatura dimnega plina, ki sledi iz enačb (11) in (12), torej

$$T_{12} = T_s - \frac{h_2' - h_{21}}{h_{22} - h_2'} (T_{11} - T_s) \quad (14)$$

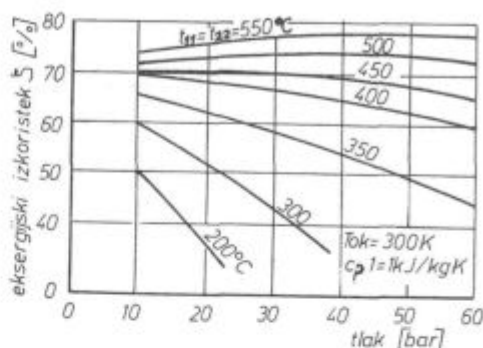
V obravnavanem primeru prenos toplote od dimnega plina na vodo, oziroma paro ni več povračljiv, zato je eksergijski tok pare manjši od eksergijskega toka plina,

$$m_2 e_{22} < m_1 e_{11} \quad (15)$$

Razmerje obeh tokov je definirano kot eksergijski izkoristek

$$\xi = \frac{m_2 e_{22}}{m_1 e_{11}} = \mu \frac{e_{22}}{e_{11}} \quad (16)$$

Na sliki 11 je vidna odvisnost eksergijskega izkoristka od tlaka nasičenosti in temperature plina. Opazen je vpliv temperature t_{11} ; če pada, se nam eksergijski izkoristek slabša, ker se povečuje uparjalna toplota vode, oziroma odsek konstantne temperature nasičenosti t_s .



Slika 11

Eksergijski izkoristek ξ v odvisnosti od tlaka nasičenosti p , in temperature plina t_{11} pri idealnem izkoriščanju toplotnega vira za proizvodnjo pare

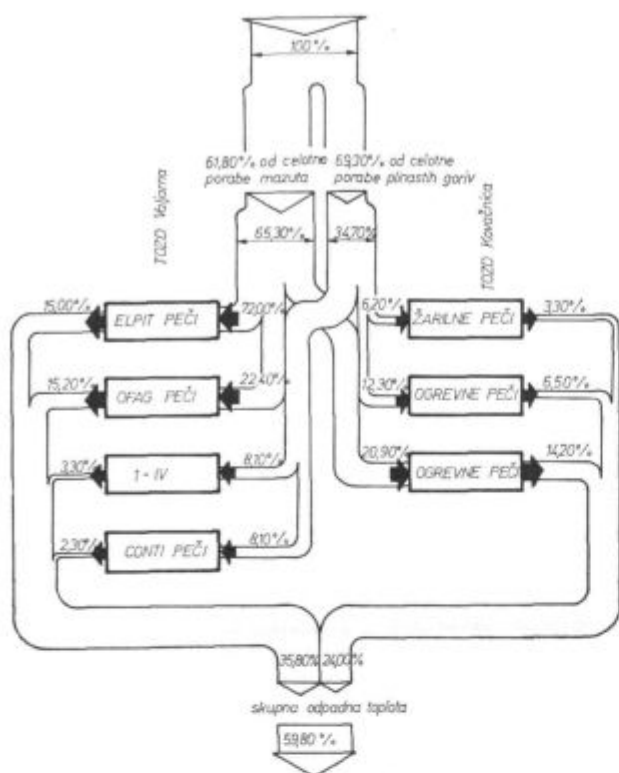
Fig. 11

Exergy yield ξ depending on the saturation pressure p , and the gas temperature t_{11} in an ideal exploiting heat source for the steam production

3. TOPLOTA DIMNIH PLINOV NA IZSTOPU IZ PEČI

Za prvo fazo izkoriščanja odpadnih toplot je za železarno interesantna toplota dimnih plinov iz peči. Iz predhodnih diagramov je razvidno, da so glavni porabniki primarne energije TOZD valjarna, TOZD kovačnica in TOZD jeklarna. Prvi dve TOZD uporabljata za svoje tehnološke namene mazut in plinasta goriva, TOZD jeklarna pa izključno elektro energijo. Posamezne velike porabnike v TOZD valjarna in TOZD kovačnica ter tok primarne energije z oceno odpadne toplote prikazemo na sliki 12. Ocena velikosti odpadne toplote je podana na osnovi meritev peči in proizvodnih podatkov za leto 1978. Upošteevane so samo odpadne toplote dimnih plinov, računana z razmernikom $\lambda = 1$ in kurilnost mazuta 41,54 MJ/kg, ter kurilnostjo tekoče faze PB 46,05 MJ/kg.

Glede na predhodno obdelane možnosti izkoriščanja odpadnih toplot naj bi bila poraba eksergije čim bolj brezstopenjska. Koliko lahko dobimo več ali manj popolno rešitev, je odvisno od velikosti investicijskih vlaganj, ki pri ukrepih racionalne porabe energije igrajo veliko vlogo. Ponavadi se energijski optimum ne ujema s stroškovnim, toda z večanjem stroškov za energijo se optimuma približujeta. V železarni odide letno okoli 1.400.000 GJ toplote, katere del bi lahko koristno zajeli nepovratno v okolico. Možnosti izkoriščanja odpadnih toplot pa so odvisne od toplotnega vira in porabnika.



Slika 12

Tok primarne energije skozi TOZD valjarna in TOZD kovačnica z ocenitvijo velikosti odpadne toplote

Fig. 12

Flowsheet of the primary energy in rolling plant and forge with the estimation of the magnitude of waste heat

4. MOŽNOSTI IZKORIŠČANJA ODPADNIH TOPILOT

Odpadno toploto, ki nastane pri pečeh, lahko uporabimo za notranjo rekuperacijo peči ali pa za proizvodnjo vročega zraka oziroma tople vode ali pare. Kot notranja rekuperacija peči pride v poštev predgrevanje zraka in goriva. Predgrevanje zemeljskega plina ali PB pride le delno v poštev, ker pri temperaturah nad 300°C začne razpadati ogljikovodiki.³ Zaradi istega vzroka je omejeno tudi predgrevanje zraka, ki ga zato lahko izvedemo z dimnim plinom nižje temperature.

Za železarno Ravne je veliko bolj zanimiva druga možnost, s pomočjo dimnih plinov pridobivati paro ali toplo vodo, kar lahko realiziramo s:

- toplotno črpalko,
- kotlarno,
- toplarno.

V nadaljevanju podrobneje obdelamo posamezne variante.

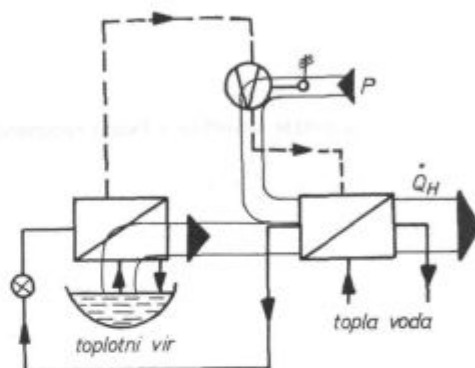
4.1 Toplotna črpalka

Izkoriščanje odpadne toplote fluidov, katerih temperatura je le nekaj stopinj višja od temperature okolice, postaja vse bolj pomembno. Te

toplote so primeren vir za obratovanje različnih sistemov toplotnih črpalk. S toplotno črpalko dobimo grelno toploto pri višji temperaturi, kot jo ima toplotni vir, da mu dodamo z levim krožnim procesom eksergijo. Dodajanje eksergije izvedemo s kompresorjem ali pa izkoristimo za kompresijo odpadne toplote, ki vsebuje še zadosten delež eksergije. Delovanje toplotne črpalke voda/voda je prikazano na sliki 13. Za toplotno črpalko je pomembno razmerje²

$$\epsilon_H = \frac{Q_H}{P}$$

ki ga imenujemo grelno število.



Slika 13

Shema delovanja toplotne črpalke

Fig. 13

Operation scheme of heat pump

Če uporabljamo odpadno vodo kot toplotni vir črpalke, leži grelno število praviloma med 3 in 8.

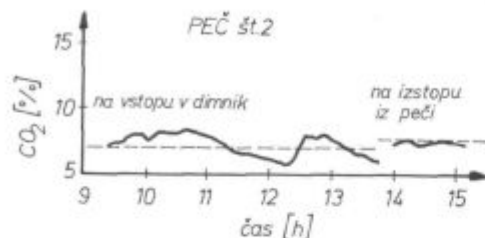
Za nas je zanimiva uporaba vročetečkočinskega ejektorja, ki služi kot kompresor za pogon toplotne črpalke.⁴

Na sesalni strani je mokra para, ki je komprimirana s pomočjo vroče tekočine visokega tlaka. Na izstopu iz ejektorja imamo dvofazni tok, parametri tega toka tudi leže v področju mokre pare, vendar ima višjo temperaturo od vstopnega toka na sesalni strani. Za ogrevanje prostorov in sanitarne vode uporabljamo kondenzacijsko toploto pare, ki jo ločimo od kapljevine. Toploto dimnih plinov uporabimo za pripravo vroče tekočine. S tem sistemom se doseže 50 % prihranek goriva proti klasičnemu ogrevalnemu sistemu. Investicija se amortizira v 4 do 6 letih.

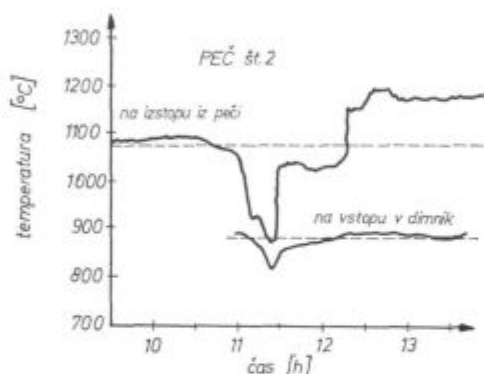
4.2 Kotlarna

Toploto dimnih plinov lahko izkoristimo za pridobivanje pare ali tople vode. S takim načinom izkoriščanja odpadne toplote bi v poletnih mesecih trošili proizvedeno paro za tehnološke namene in tako povečali obratovalno izkoriščenost naprave. Kot toplotni vir sta zanimivi Elpit peč in Ofag peč; podrobneje bomo prikazali možnost izkoriščanja odpadne toplote na Elpit peči.^{5,6}

V železarni Ravne se Elpit peči uporabljajo za ogrevanje ingotov na temperaturo 1250°C in so kurjene z mazutom. Časovno karakteristiko obratovanja Elpit peči št. 2 prikazujemo na slikah 14 in 15. Na sliki 14 je narisano časovni potek spremembe CO_2 v dimnih plinih, na sliki 15 pa je prikazan temperaturni diagram.



Slika 14
Analiza CO_2 v dimnih plinih
Fig. 14
 CO_2 analysis in flue gases



Slika 15
Časovni potek temperature dimnih plinov na izstopu iz peči in vstopu v dimnik
Fig. 15
Time diagram of flue gas temperature at the furnace exit and stack entrance

Iz podatkov meritev lahko ocenimo velikost odpadne toplote, ki jo zajamemo v dimnih plinih, in sicer za:

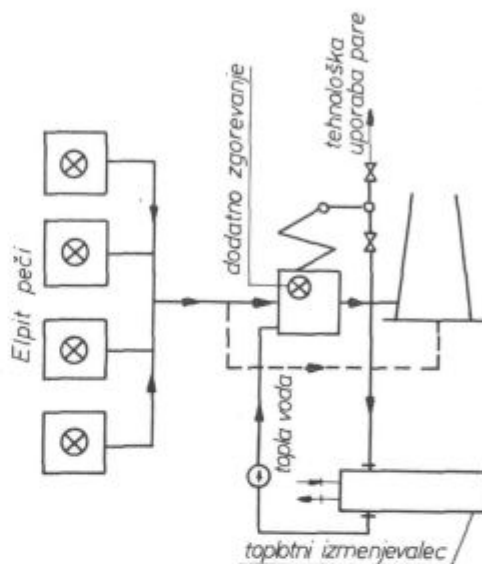
- maksimalno obratovanje peči 9600 kW
- minimalno obratovanje peči 5503 kW
- poprečno obratovanje 8380 kW

oziroma z upoštevanjem izkoristka toplotnega izmenjalca koristno preneseno toploto za:

- maksimalno obratovanje peči 7700 kW
- minimalno obratovanje peči 3400 kW
- poprečno obratovanje peči 5300 kW

Letno se vrne v sistem železarne, če računamo s poprečnim obratovanjem peči 110.000 GJ toplote, temperatura ohlajenih dimnih plinov znaša 200°C . Ravno toliko energije bomo zajeli tudi na Ofag pečeh. Sistem, ki ga lahko uporabimo, je vročevodni ali parni kotel z dodatnim kurjenjem ali

brez dodatnega kurjenja. Najugodnejša varianta je parni kotel in toplotni izmenjalec za pripravo tople vode. Ker je obratovanje Elpit peči zelo oscilirajoče in je v dimnih plinih velik presežek zraka, je umestno za izenačevanje odvzema toplote vgraditi v sistem dodatni gorilnik. S takim sistemom bi na Elpit pečeh dobili okoli 9000 kg/h pare poleti in 10.500 kg/h pare pozimi, parametrov 300°C in 16 bar. Z dodatno grajenim gorilnikom so vedno zagotovljene zadostne količine pare. Sistem kotlarne je shematsko prikazan na sliki 16.

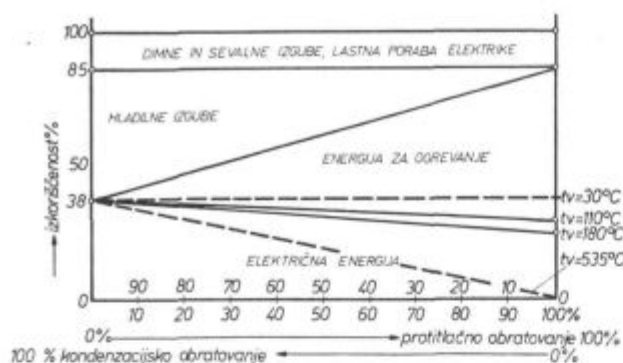


Slika 16
Shema kotlarne na Elpit pečeh v valjarni
Fig. 16
Scheme of steam plant at Elpit furnace in the rolling plant

4.3 Toplarna

V toplarni izkoriščamo toploto dimnih plinov za proizvodnjo pare, oz. električne in ogrevalne energije. Ta sistem ima prednost predvsem v popolnejšem izkoriščanju visokih temperatur dimnih plinov in veliki prilagodljivosti sistema glede na vsakokratne trenutne potrebe po različnih vrstah sekundarne energije. Na sliki 17 prikazujemo kvalitativno povezanost med proizvodnjo električne energije in toplotne energije. V sistemu imamo konstantne izgube okoli 15 % primarne energije goriva zaradi izgub dimnega plina, sevanja ter lastne rabe. Pri kondenzacijskem načinu, ko proizvajamo samo električno energijo, znaša celoten izkoristek okoli 38 %, ostalih 47 % so hladilne izgube. S čistim protitlačnim delovanjem nimamo nobenih hladilnih izgub in pretvorimo 85 % dovedene energije z gorivom v električno in ogrevalno energijo.

Bistvo optimizacijskega procesa je določevanje temperature pare, kjer zasledujemo eksergetski izkoristek v odvisnosti od investicijskih in obratovalnih stroškov. Eksergetski izkoristek se

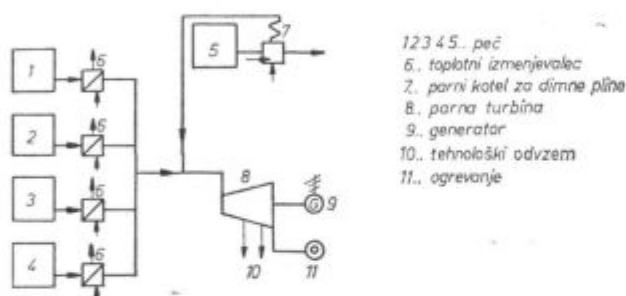


Slika 17

Energijske razmere pri toplarni s protitlačno kondenzacijskim načinom obratovanja

Fig. 17

Energy conditions in the heating station with a counter-pressure condensation operation



Slika 18

Shema toplarne na odpadno toploto

Fig. 18

Scheme of a heating station for waste heat

bistveno ne povečuje s tlakom pri temperaturah pare, višjih od 450°C , medtem ko stroški nad tem območjem bistveno narastejo. Najprimernejša temperatura pare je okoli 450°C in le pri večjih enotah gremo nad to temperaturo.

V svetu so se uveljavili sistemi $40\text{ bar}/470^{\circ}\text{C}$ ali $64\text{ bar}/520^{\circ}\text{C}$, ko ima eksergijski izkoristek svoj maksimum^{7, 8}. Za razmere v železarni je zanimiva prva varianta, sistem toplarne pa prikazemo na sliki 18.

5. OPTIMALNA REŠITEV ZA ŽELEZARNO

Izbira optimalnega sistema je odvisna od zahtevanih tehničnih parametrov in velikosti investicijskih stroškov. Osnova za tehnično izbiro je toplotna premica — slika 8, ki se ji moramo čim bolj približati. Pri odločitvi o velikosti investicije pa moramo upoštevati etapno gradnjo, pri kateri visoke investicijske stroške funkcionalno razbijemo na daljše obdobje. Tehnično najboljše rezultate dobimo s toplarniškim sistemom, ko lahko pokrivamo za železarniške potrebe del električne energije, tehnološke pare, higienske tople vode,

predgrevalo zrak za zgorevanje in toplote za ogrevanje. S takim sistemom se najbolj približamo toplotni premici, ker visokotemperaturni del izkoristimo za pridobivanje pare $40\text{ bar}/470^{\circ}\text{C}$, ki jo nato vodimo skozi turbino, kjer pridobimo električno energijo, moč generatorja 10 MW , tehnološko paro $16\text{ bar}/300^{\circ}\text{C}$ in toplo vodo za ogrevanje $135/80^{\circ}\text{C}$. Za čim funkcionalnejšo vključitev toplarne v energetski sistem železarne bomo morali uporabiti sistem z dodatnim kurjenjem. S tem bo dan minimum proizvodnje toplarne in zagotovljena optimalna proizvodnja glede na porabo. Poraba tehnološke pare bo vse leto konstantna, medtem ko bomo v poletnih mesecih proizvajali več električne energije, v zimskih pa več toplotne energije. Obstoječi agregati ostanejo in so rezerva za primere pokrivanja končnih porab in izpadov v toplarni.

Izgradnja toplarne poteka etapno; najprej zajamemo peči v valjarni, nato peči v kovačnici in na koncu ostale porabnike. Pri pečeh v valjarni moramo zgraditi tak kotel na odpadne dimne pline, ki bi imel vgrajen še dodaten gorilnik, pri ostalih porabnikih to ne bi bilo več potrebno. Proizvedeno paro nato centraliziramo in jo vodimo skozi turbino, kjer se odvisno od porabe energije usmerja toplotni tok skoznj.

Iz začetnih podatkov za leto 1978 vidimo, da smo $27,77\%$ primarne energije pretvorili v sekundarno energijo. Iz tehnološko uporabljene energije dobimo koristne odpadne toplote $39,05\%$, ki pa vse ne moremo zajeti in tudi ne ohladiti do temperature okolice. Koristno se lahko izrabi samo 50% te toplote, kar pomeni, da prihranimo okoli 20% primarne energije. Prihranek pomeni 14.500 ton mazuta, kar znaša pri trenutni ceni za mazut $30.000.000\text{ din}$. Dokončna odločitev bo zahtevala še veliko dela in dodatnih raziskav. Sistem izkoriščanja odpadnih toplot ne sme motiti redne proizvodnje — povzročati slabo kvaliteto ali izpad proizvodnje. Tehnično so še ostala odprta nekatera vprašanja, posebno transport in skladiščenje energije, ker gre razvoj v povsem nove rešitve, ki se pa pri tako zahtevnem projektu morajo upoštevati.

Ves svet stoji pred energetskim problemom. Do sedaj, ko je bilo energije zadosti in v stroških tovarne ni pomenilo velike postavke, ni bilo potrebno vlagati v sisteme za racionalnejše izkoriščanje energije. Samo pri velikih porabnikih so uvajali sisteme izkoriščanja odpadnih toplot. S sedanjo situacijo se razmere bistveno slabšajo in se bodo taki sistemi začeli uvajati povsod, kjer se pojavi odpadna toplota. Možnosti izkoriščanja teh odpadnih toplot so zelo različne in so odvisne od posameznega primera.

Za železarno Ravne je najprimernejša rešitev s toplarno, kjer maksimalno izkoristimo odpadno toploto dimnih plinov, sedanji razvoj tehnologije pa nam omogoča realizacijo takega zahtevnega sistema.

Literatura:

1. Letni energetski bilten Zelezarne Ravne 1978, Ravne, januar 1979.
2. M. Oprešnik: Termodinamika, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1974.
3. M. Boenecke, H. J. Pohle: Rationeller Gaseinsatz in der Stahlindustrie — Beispiele zur Verwirklichung, Gas Wärme International 24 (1975), št. 7/8, str. 316—322.
4. Jahrsuch der Wärmerückgewinnung, 3. izdaja 1977/78, Vulkan-Verlag, Essen, 1977.
5. F. Pavlin, T. Kolenko: Toplotno tehnične meritve na globinskih pečeh. VTO Montanistika, Ljubljana, julij 1977.
6. F. Pavlin s sodelavci: Študij meritev in regulacij toplotno tehničnih veličin pri avtomatizaciji metalurških peči. II. del. Poročilo MI Ljubljana, Ljubljana, december 1978.
7. Energie — Kongres »Möglichkeiten der industriellen Kraft-Wärme — Kopplung«, München, oktober 1978.
8. K. Treiber: Die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage d. Hacker-Pschorr Bräu A 6, München Energie — Kongress, München, oktober 1978.

OZNACBE VELIČIN:

B	J	energija
c_p	J/kgK	spec. toplota
E	J	eksergija
e	J/kg	spec. eksergija
h	J/kg	spec. entalpija
m	kg/s	masni tok
Q	J	toplota
q	J/kg	spec. toplota
s	J/kgK	spec. entropija
T	K	temperatura
t	°C	temperatura
$\#$		grelno število
ξ		eksergijski izkoristek
η_{th}		termični izkoristek
$\mu = m_2/m_1$		razmerje masnih tokov

ZUSAMMENFASSUNG

Das Hüttenwerk benötigt für den ungestörten Betrieb elektrische Energie, flüssige und gasförmige Brennstoffe. Die gesamte zugeführte Primärenergie mit der elektrischen Energie und der gasförmigen Brennstoffe wird im Hochtemperaturbereich für den technologischen Bedarf angewendet, 40 % der mit flüssigen Brennstoffen zugeführten Energie wird in sekundäre Energiequellen umgewandelt.

Aus den Energieflüssen des Hüttenwerkes ist ersichtlich, dass die Energie wie folgt verbraucht wird:

Stahlwerke verbrauchen 68 % der elektrischen Energie, Walzwerk und die Schmiede verbrauchen 60 % der flüssigen und 70 % der Gasbrennstoffe und in der Energieabteilung werden 40 % der flüssigen Brennstoffe für die Erzeugung von Warmwasser und Dampf verbraucht.

Die Grenzwerte bei der Ausbeutung der Abfallwärme werden durch den ersten und zweiten Gesetz der Thermodynamik bestimmt.

Die Abfallwärme kann für die Heizung, für die Erzeugung von Dampf und mechanischer Arbeit ausgenutzt werden. Jede von den angewendeten Arten der Ausnutzung von Abfallwärme hat nach den thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten sein Optimum bei welchem die Verluste am niedrigsten sind, was durch eine gleichmässige Abkühlung des Wärmeträgers erzielt wird.

Aus dem Hüttenwerk geht jährlich eine Wärmemenge von 140000 GJ unwiederbringlich in der Atmosphäre verloren. Ein Teil dieser Wärme könnte durch eine Wärmepumpe, eine Dampfkesselanlage oder durch eine Heizkraftwerk nützlich eingefasst werden.

Unter den angewendeten drei Varianten ist energetisch gesehen das Heizkraftwerk, im welchen Dampf, Warmwasser und elektrische Energie erzeugt werden, die günstigste.

Die Auswahl der Anlagengrösse hängt vom Warmwasser und Dampfverbrauch in der Wintersaison ab, in der Sommerzeit kann die Kesselanlage zur Erzeugung der elektrischen Energie dienen.

Durch die Einführung eines Systemes für die Ausbeutung der Abfallwärme kann etwa 20 % der Primärenergie eingespart werden, da die sekundären Energiequellen aus der Hochtemperaturabfallwärme, welche bei dem technologischen Verfahren an den Öfen entsteht, gewonnen werden.

Die Investitionskosten für das Heizkraftwerk, mit einem Anschluss an das bestehende Energienetz des Hüttenwerkes, werden auf 100.000.000 din geschätzt. Der Wert der eingesparten Energie errechnet nach den jetzigen Preisen beträgt rund 50.000.000 din.

SUMMARY

The ironworks need for their uninterrupted technological process electric energy, and liquid and gaseous fuels. Total primary energy including electric energy and gas fuels is used in high-temperature processes, while 40 % of the input energy by liquid fuels is transformed into the secondary energy sources.

Energy flows heats in the ironworks show that the following categories of consumers exist: steel plant which consumes 68 % of electric energy, rolling and forging plants consuming 60 % of liquid and 70 % of gas fuels, energy plant which transforms 40 % of liquid fuels into hot water and steam.

Limiting values for the recovery of waste heat are given by the first and the second law of thermodynamics.

Waste heat can be used for heating, for transformation into mechanical energy and into steam. Each of the suggested ways has its optimum according to thermodynamic laws when the energy losses are the lowest. This can be obtained by a uniform cooling of the heat source.

About 1.400.000 GJ of heat goes irreversibly from the ironworks into environment per year. Part of this heat could be usefully recovered by a heat pump, heating station or steam plant. The heating station is energetically the most favourable since it produces steam, hot water and electric energy. Selection of the station size depends on the hot water and steam consumption in winter while in summer the station is directed into the production of electric energy.

Introduction of a system for the recovery of waste heat conserves about 20 % of the primary energy since secondary energy sources can be obtained from the high-temperature waste heat of technological processes in furnaces. Estimated investments in a heating station with connections to the existing energy system in the ironworks are 100 million Dinars. The value of the recovered energy system in the ironworks are 100 million Dinars. The value of the recovered energy according to the present prices is about 50 million Dinars.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для ненарушаемый технологический процесс металлургического завода необходима электрическая энергия, а также жидкие и газовые топлива. Общая, приведенная первичная энергия с электрической энергией и высококалорийный газ используются в высокотемпературной области для технологических целей. Между тем как 40 % приведенной энергии с жидкими топливами преобразуются в источники вторичной энергии.

При рассмотрении потоков энергии в металлургическом заводе очевидно, что в заводе следующие категории потребителей энергии: ТОЗД сталеплавильный цех где используется 68 % электрической энергии, ТОЗД-ы прокатных и кузнечных цехов, которые поглощают 60 % жидких и 70 % газообразных топлив и ТОЗД энергетических установок где 40 % жидких топлив служат для производства тепловой воды и пара. Предельные значения использования отходящего тепла определяет первый и второй главные законы термодинамики.

Отходящую теплоту можно использовать для нагрева, для получения разных видов механической работы и для пара. Каждый из упомянутых способов имеет в соответствии с термодинамическими закономерностями свои оптимальные значения, при которых потери, еще применимой для работы энергии миним-

альные, что достигается с равномерным охлаждением теплоносителя. Потеря теплоты в металлургическом заводе составляет прибл. 1.400.000 ГДж в год. Часть этой теплоты можно было полезно захватить, отн. использовать с насосом теплообмена, в котельной или в силовой термо-установки. Между этими тремя упомянутыми вариантами с энергетической точки зрения самое выгодное решение: силовая термо-установка, т. е. тепловая электростанция, в которой производится пар, теплая вода и электрическая энергия. Выбор величины установки зависит от расхода тепловой воды и пара в течение зимнего сезона, в то время как в летнее время котельный агрегат переориентируется на производство электрической энергии. Введение системы для использования отходящего тепла дает возможность сэкономить прибл. 20 % первичной энергии так как источники вторичной энергии образуются от высокотемпературной отходящей теплоты, которая получается при технологических процессах в печах. Оценка средств, необходимых как капитальное вложение для тепловой электростанции с приключением на существующую энергетическую систему завода составляет около 100.000.000 дин, а ценность сэкономленных средств по теперешним ценам, представляет прибл. 50.000.000 дин в год.