

## MERILNI PRISTOP ZA OPTIMIZACIJO OGREVANJA JEKEL V KONTINUIRNI PEČI

### MEASURING APPROACH FOR OPTIMISATION OF STEEL REHEATING IN CONTINUOUS FURNACE

**Branislav Glogovac<sup>1</sup>, Anton Jaklič<sup>1</sup>, Matjaž Torkar<sup>1</sup>, Tomaž Kolenko<sup>2</sup>, Ivan  
Končan<sup>3</sup>, Boris Kumer<sup>3</sup>, Tomaž Marolt<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> NTF, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup> Inexa Store, Železarska 3, 3220 Store, Slovenija  
branislav.glogovac@imt.si

*Prejem rokopisa - received: 2001-11-20; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-12-13*

Prikazani so rezultati meritev parametrov koračne peči za ogrevanje gredic. Po rekonstrukciji transporta gredic je valjarna lahko prešla iz režima ogrevanja s tremi pečmi na ogrevanje z eno samo. Za tako zahtevno nalogo je bilo treba posodobiti peč, v kateri se ogreva vložek za obe progi. Z dopolnjevanjem merilne regulacijske opreme in instalacijo računalniškega nadzora je bila izboljšana regulacija parametrov v posameznih conah peči pri normalnem obratovanju ter pri načrtovanih in nenačrtovanih zastojih valjanja. Vse kontrolne meritve pri preiskavi peči so bile izvajane brez motilnega vpliva na normalen potek obratovanja. Količino in oprijemljivost škaje smo analizirali z vzorci jekla, ki so potovali skupaj s gredico skozi peč. Tako je bilo mogoče optimirati razmernik zrak/plin v vsaki posamezni coni peči. Pri preiskavi smo uporabili visoko- in nizkotemperaturno kisikovo sondo ter analizatorje dimnega plina in mešanice zrak-plin. Meritve vsebnosti kisika in CO<sub>2</sub> v dimnem plinu po conah peči so pokazale, da je bila pri minimalnem prebitku zraka v gorilnikih vsebnost kisika v vlažnem dimnem plinu od 1 do 2 %. Razmernik zraka v vseh conah peči smo nastavljali glede na rezultate analize dimnega plina. Pri tem je bilo pomembno, da je bil pritisk v izenačevalni coni nastavljen na vrednost 10 Pa. Pri tako nastavljenih razmerah v conah peči je bilo doseženo dobro odpadanje škaje. Odvisno od vrste jekla, temperaturnega profila in storilnosti peči so imele različne koncentracije kisika v peči močan vpliv na količino in lastnosti škaje.

Ključne besede: gredice, ogrevanje, koračna peč, meritve, zgorjevanje, škaja

The results of measurements on a walking-beam furnace for billet reheating are presented. After reconstruction of the billet transport system it was possible to change the existing operating practise with three furnaces to operate with only one furnace. For this purpose it was necessary to improve the measurement and control system and to install a new monitoring system. The optimisation of the parameters in individual zones of the furnace during normal production and scheduled or unscheduled delays were possible. All control measurements on the furnace were made without any disturbing influence on the furnace is normal operation. Using steel probes, which were transported with the billets, the amount and properties of the scale were analysed. The high- and low-temperature oxygen sensor and fuel-gas analysers were used.

With a minimal excess of combustion air on a burner the oxygen content in exhaust gases was between 1 and 2 %. With this air/fuel ratio within all furnace zones and pressure in soak zone 10 Pa the scale fall off very easily. Depending on the steel quality, operating temperatures and throughput rate, the differences in oxygen concentrations have a significant influence on the amount and properties of the scale.

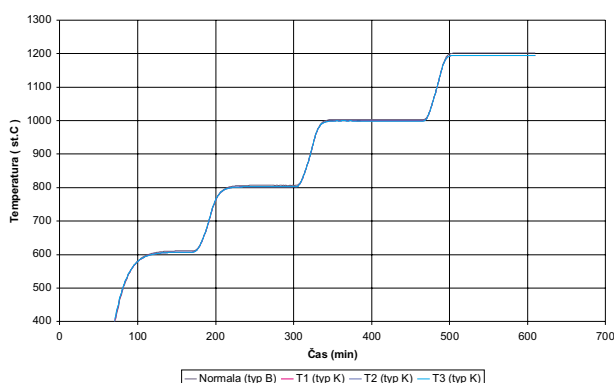
Key words: billets, reheating, walking-beam furnace, measurement, combustion, scale

## 1 UVOD

Izgradnja transportnega sistema gredic od peči "OFU" na progo  $\phi$  550 mm v Inexi Štore je omogočila obratovanje dveh valjarskih prog z eno ogrevno pečjo. Valjarna je tako lahko prešla iz režima ogrevanja vložka s tremi pečmi na ogrevanje z eno samo pečjo. Dve stari koračni peči KP1 in KP2 sta sedaj ustavljeni. OFU-peč izmenično oskrbuje obe valjarski liniji. Za tako zahtevno nalogo je bilo treba to peč posodobiti. Pri projektu posodobitve peči so sodelovali: IMT, Univerza Ljubljana NTF, ATES, d. o. o., Slovenska Bistrica in INEXA Štore, d. o. o.

V okviru RR-faze projekta, ki ga je sofinanciralo MŠZŠ, smo izvedli vrsto toplotno-tehničnih preiskav peči. Za ugotovitev dejanskega stanja peči je bilo treba izvajati kontrolne meritve parametrov peči brez

motilnega vpliva na normalen potek obratovanja. Z dopolnjevanjem merilno-regulacijske opreme in instalacijo računalniškega nadzora sledenja materiala skozi peč in vseh merjenih veličin peči je bila izboljšana regulacija parametrov v posameznih conah pri normalnem obratovanju ter pri načrtovanih in nenačrtovanih zastojih valjanja. Za razvoj modela ogrevanja gredic<sup>3</sup> je bilo treba izvajati vrsto dodatnih kontrolnih meritev parametrov peči. V prvi fazi raziskave smo z matematičnim modelom in meritvami temperature na površini ugotavljali potek ohlajanja gredic med transportom od OFU-peči do prvega ogrodja<sup>4</sup>. V ta namen smo uporabljali optične piroetre in termovizijsko kamero. Pri kontroli poteka ogrevanja v peči smo uporabljali metodo merjenja temperature z oplaščenimi vlečnimi termoelementi. Pred vsako meritvijo je bilo potrebno izvesti umerjanje vlečnih termoelementov v laboratoriju. V tem prispevku



**Slika 1:** Umerjanje vlečnih termoelementov  
**Figure 1:** Calibration of trailing thermocouples

bomo obravnavali postopek kontrole zgorevanja v posameznih conah peči. Količino in oprijemljivost škamje smo analizirali z vzorci jekla, ki so potovali skupaj z gredico skozi peč. Tako je bilo mogoče optimirati razmerje zrak/plin v vsaki posamezni coni peči. Pri preiskavi smo uporabili visoko- in nizekotemperaturno kisikovo sondo, analizatorje dimnih plinov in analizator sestave mešanice zrak-plin.

## 2 METODE DELA IN REZULTATI

Za umerjanje vlečnih termoelementov pred izvajanjem meritev parametrov peči je bila uporabljena primerjalna metoda (**slika 1**). Maksimalna temperaturna razlika med preskusnimi termoelementi je bila 0,5 °C. Razlika temperatur med normalo in preskusnimi termoelementi je bila v celotnem temperaturnem območju med 4 in 7 °C.

Na **sliki 2** je prikazana konfiguracija prenosnih analizatorjev, priključenih na OFU-peč. V sklopu merilne opreme je bil tudi kontinuirni analizator Ultramat 23 (Siemens), s katerim smo merili sestavo mešanice zemeljski plin/zrak.



**Slika 2:** Prenosni merilni sistem za analizo plinov  
**Figure 2:** Portable measuring set-up for data acquisition



**Slika 3:** Stranska vrata peči in razmestitev gredic  
**Figure 3:** Side-wall door and billets arrangement

Na **sliki 3** je prikazan položaj gredic v peči. Število gredic v peči je bilo odvisno od njihovih dimenzij in pomika gibljivih gredi. Peč ima tri nepremične in dve gibljivi gredi. Zunanji fiksni gredi ležita na temelju, srednja, fiksna gred pa je oprta na jeklene stebre, ki so zasidrani v jarku temelja. Gibljivi gredi sta montirani v tekalnem okvirju. Mehanizem dvizhnih gredi rabi za gibanje obeh dvizhnih gredi navzgor in navzdol ter naprej in nazaj. Zaradi medsebojnega zaporedja posameznih gibanj se valjanec pomika skozi peč. Z dvizhnimi gredmi se valjanec tudi postavi na izstopno valjčnico.

### 2.1 Meritve sestave mešanice zemeljski plin - zrak

Uporabili smo inštrument SIEMENS-ULTRAMAT 23, ki lahko kontinuirno meri sestavo mešanice zemeljski plin - zrak. Po pripravi merilnega mesta v skladu s predpisi o meritvah pri plinskih inštalacijah smo izvajali meritve pri dovedu mešanice za ogrevno cono, tako da je bil zagotovljen kontinuirni pretok plina.

**Tabela 1:** Sestava mešanice zemeljski plin - zrak  
**Table 1:** Composition of gas-air mixture

Komponenta	Vol. %
CnHm (meritev)	77,00
CO <sub>2</sub> (meritev)	0,08
O <sub>2</sub> (meritev)	4,78
CO (meritev)	0,00
N <sub>2</sub> (izračun)	18,14
Skupaj	100,00

Pri izmerjeni sestavi mešanice zemeljski plin - zrak (**Tabela 1**) ni bilo zaznani večjih nihanj sestave med meritvijo. Analizirali smo sestavo dimnih plinov po conah peči in z nastavitvami regulatorjev dosegli minimalno potrebni prebitek zraka v vseh conah peči.

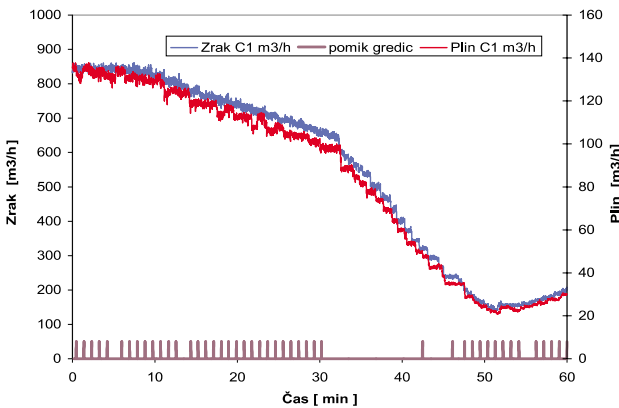
Vzporedno k sistemu računalniškega nadzora vseh meritev parametrov peči (**slika 4**) smo priključili prenosni sistem za avtomatsko zajemanje podatkov z namenom preverjanja uporabljenih vrednosti za vredno-



**Slika 4:** Računalniški nadzor meritev parametrov peči in pomika gredic

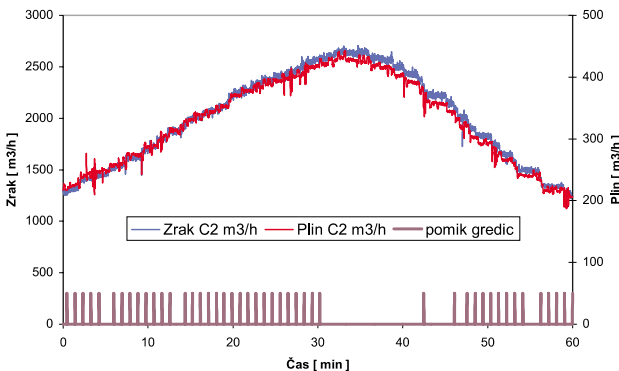
**Figure 4:** Monitoring of the measurements and billets movement

tenje signalov merilnih senzorjev peči, ki se shranjujejo v datoteke vsako minuto. Za vzporedne kontrolne meritve smo izbrali krajši interval in sicer 1 sekundo. Tako je bilo mogoče analizirati delovanje posameznih regulacijskih zank. **Slike od 5 do 8** prikazujejo izboljšano regulacijo razmerjaka zrak - plin po conah peči. V diagramih so z vertikalnimi črticami na časovni osi prikazani pomiki gredic v peči. Razmik med črticami



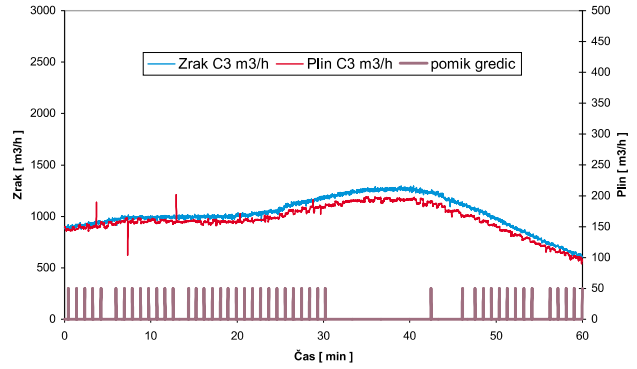
**Slika 5:** Regulacija razmerja zraka in plina v predgrevalni coni

**Figure 5:** Control of air-gas ratio in preheating zone



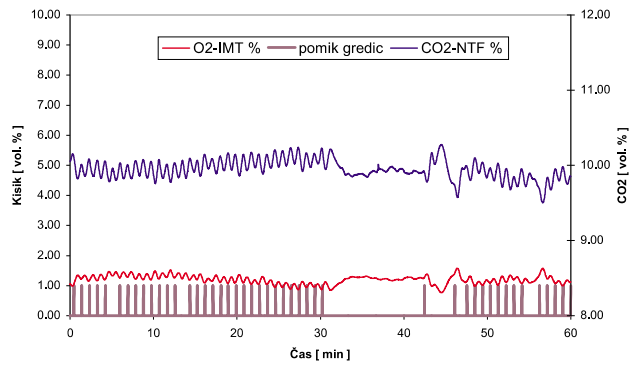
**Slika 6:** Regulacija razmerja zraka in plina v ogrevalni coni

**Figure 6:** Control of air-gas ratio in heating zone



**Slika 7:** Regulacija razmerja zraka in plina v izenačevalni coni

**Figure 7:** Control of air-gas ratio in soaking zone

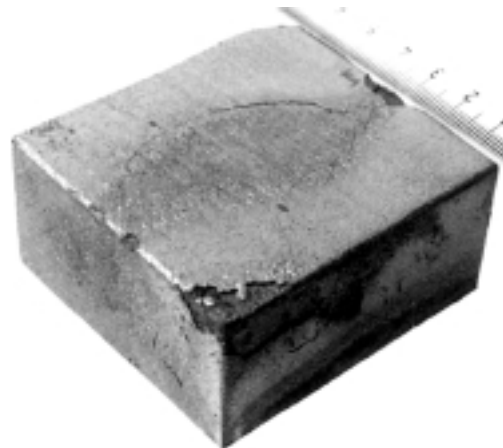


**Slika 8:** Rezultati meritev O<sub>2</sub> in CO<sub>2</sub> med normalnim obratovanjem in krajšim zastojem

**Figure 8:** Results of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> measurement during normal operation and during delay

pomeni časovni interval med pomiki. Večji razmik pomeni zastoj.

Meritve vsebnosti kisika in CO<sub>2</sub> v dimnem plinu po conah peči so pokazale, da je bila pri minimalnem prebitku zraka v gorilnikih vsebnost kisika v vlažnem dimnem plinu od 1 do 2 %. V vseh conah peči smo razmerjaka nastavljali glede na rezultate analiz dimnega plina. Pri tem je bilo pomembno, da je bil tlak v

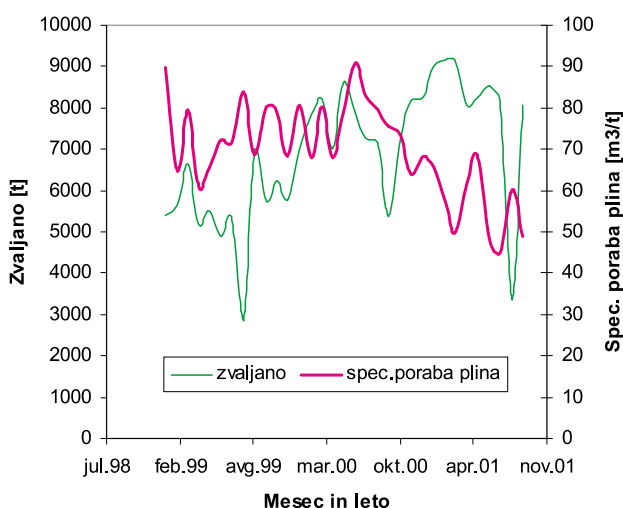


**Slika 9:** Škaja pred optimizacijo (vzorec 1)

**Figure 9:** Scale before optimization (speciment 1)



**Slika 10:** Škaja po optimizaciji (vzorec 2)  
**Figure 10:** Scale after optimization (speciment 2)



**Slika 11:** Storilnost in specifična poraba toplotne energije  
**Figure 11:** Furnace throughput and specific heat consumption

izenačevalni coni reguliran na vrednost 10 Pa. Pri tako nastavljenih razmerah v conah peči je bilo doseženo dobro odpadanje škaje. Odvisno od vrste jekla, temperaturnega profila in storilnosti peči so imele različne koncentracije kisika po dolžini oziroma po conah peči močan vpliv na količino in lastnosti škaje.

Na **sliki 9** je prikazan vzorec jekla 16CD4, šarže z oznako 31537/8. Celotni prehodni čas vzorca skozi peč je bil 2 uri 25 min brez nadzora sestave dimnih plinov v posameznih conah peči. Ugotovljena je bila močna oprijemljivost škaje in slabo odpadanje med valjanjem.

Na **sliki 10** je prikazan vzorec iste vrste jekla, ki je skupaj z gredico potoval skozi peč po spremenjenih

nastavitvah parametrov po conah peči. Celotni prehodni čas vzorca je bil enak kot pri prvem. Pri obeh vzorcih so bile temperature po conah peči enako nastavljene. Že iz posnetkov vzorcev na **slikah 9 in 10** je vidna razlika oprijemljivosti škaje pri različnih nastavitvah peči.

Na **sliki 11** je prikazana skupna specifična poraba plina na tono zvaljanih gredic na obeh progah. Od meseca maja dalje je bil za celotno proizvodnjo na obeh progah material ogrevan samo v OFU-peči. Če izvezamo mesec avgust, ko je bila peč v letnem remontu, je v zadnjih treh mesecih obratovala samo OFU-peč za obe progi, kar je prispevalo k bistveno nižji specifični porabi plina. Če upoštevamo mesece približno enake proizvodnje na obeh progah cca 8000 t izvaljanega materiala, je bila v primeru ogrevanja gredic v treh pečeh KPI, KP2 in OFU specifična poraba plina 80 m³/t. Pri enaki skupni proizvodnji na obeh progah je bila specifična poraba pri obratovanju samo OFU-peči 47 m³/t oziroma nižja za 33 m³/t ali 41%.

### 3 SKLEPI

Z uporabo vzporednega merilnega sistema je bilo mogoče optimirati delovanje peči pri normalnem obratovanju in zastojih. Rezultati kažejo, da bi bilo smiselno dopolniti merilno opremo za kontinuirno analizo dimnih plinov v vseh conah peči. Z uporabo računalniškega nadzora peči in s posodobitvijo merilno regulacijskih zank so bili ustvarjeni pogoji za optimizacijo procesa ogrevanja glede na vrsto jekel in dimenzije vložka. Že v fazi trajanja RR-faze projekta je bilo v valjarni doseženo bistveno zmanjšanje specifične porabe toplote in emisije okolju škodljivih toplogrednih plinov. V nadaljevanju raziskave načrtujemo izvajanje meritev, potrebnih za validacijo modela ogrevanja gredic.

### 4 LITERATURA

- <sup>1</sup> Holman J.P.: Heat Transfer, Sixth Edition, McGraw-HillBook Company, New York,1986
- <sup>2</sup> Good Practice, Guide 77, Energy Efficiency Office: Continuous Steel Reheating Furnaces: Operation and Maintenance, Oxfordshire 4/1994
- <sup>3</sup> A. Jaklič, T. Kolenko, B. Glogovac: Simulation of billet reheating process in walking beam furnace. Metalurgija, 40 (2001), 23-27
- <sup>4</sup> A. Jaklič, B.Glogovac, T. Kolenko, B. Težak: A Simulation of heat transfer during billet transport, 7<sup>th</sup>, UK National conference on heat transfer, 11-12 September 2001