

Povečanje vzdržnosti glavnega oboka SM peči v železarni Štore

S forsirano proizvodnjo jekla se je vzdržnost glavnih obokov SM peči bistveno poslabšala in predstavlja v naših jeklarnah problem.

Izvršenih je bilo več raziskav in poizkusov. Pri nas smo z uvedbo sistematičnega in intenzivnega popuščanja uspeli povečati vzdržnost glavnega oboka za 35 odstotkov.

Po letu 1963 se je s forsirano proizvodnjo jekla vzdržnost SM peči v Železarni Štore bistveno poslabšala. Enak problem je nastopil tudi v drugih železarnah.

Nastale spremembe v tehnologiji obratovanja SM peči (vedno večja toplotna obremenitev, uporaba metalurškega kisika) so vsekakor močno vplivale na vzdržnost peči. Predvsem pri agregatih z zastarelo konstrukcijo.

Metalurški inštitut v Ljubljani že več kot 6 let redno vrši preiskave ognja vzdržnega materiala in zasleduje vzdržnost SM peči. V tem času je bilo ugotovljeno, da je vzdržnost SM peči po železarnah nekoliko različna in da je kvaliteta ognja vzdržnega materiala v glavnem enaka razen, da je bilo zaslediti poslabšanje magnezitnega materiala v zadnjih treh letih. Karakteristika magnezitne opeke se je močno spremenila. Zelo se je dvignila mehanska trdnost v hladnem, padla pa je točka zmehčanja, oziroma porušitve opeke v vročem stanju. Ker je magnezitna opeka vgrajena v zadnjih stenah in stebričkih, se je poslabšanje kvalitete odrazilo ne teh delih peči.

Vzporedno pa je kvaliteta krommagnezitnega materiala ostala na isti ravni, brez bistvenih sprememb.

Ker je bila za navedeno obdobje vzdržnost SM peči odvisna predvsem od vzdržnosti glavnega oboka, obok pa je postajal vedno bolj kritičen, so brez dvoma zahtevnejši pogoji tehnologije vplivali na poslabšanje.

Problem vzdržnosti glavnega oboka se je pojavil skoraj istočasno v vseh naših železarnah in že nekoliko prej v bolj razvitih industrijskih deželah. Da bi povečali vzdržnost glavnega oboka in s tem vzdržnost SM peči, so drugje v svetu, predvsem v SSSR, izboljšali kvaliteto ognja vzdržnega materiala z uvedbo kromspinelne opeke, ki je žgana pri temperaturi 1680°C; pri nas pa je krommagnezitna opeka žgana pri temperaturi 1550 do 1600°C.

Slaba vzdržnost glavnega oboka se je odražala v luščenju opeke v plasteh po celi površini oboka. Obok se je pričel luščiti že po nekaj šaržah. Tako je do petdesete šarže odpadla prva plast v debelini 50–60 mm. Še predno je prva plast v celoti odpadla, se je pokazala že druga, ki je bila neko-

liko tanjša. Druga plast je odpadla že do stote šarže. Obok je hitro propadel. Po 190 šaržah je bil obok (polje) dotrajan. Nato smo polje prekrili s 4 SP opeko za krpanje tako, da smo polje z višino reber izenačili. Tako je obok vzdržal še 150 šarž. Poprečna vzdržnost glavnega oboka je za našo peč znašala v letu 1963 in 1964 347 šarž.

V navedenem obdobju je bil obok SM peči standardno urejen s potrebnimi dilatacijami po navodilih »Vatrostalne« — Zenica in »Magnohroma« — Kraljevo. Ogrevanje peči smo vršili po predpisanih diagramih od 100–140 ur, odvisno od obsega remonta. Ogrevanje peči po remontu je bilo časovno kot toplotno vsklajeno po standardnih metodah s popuščanjem oboka na sidrih. Veljalo je staro pravilo, da se obok pri segrevanju nekoliko dvigne (do + 20 mm) in nato obdrži na isti višini preko vse kampanje peči.

Luščenje oboka se je pri nas pojavilo že leta 1962, vendar ne v takem obsegu kot v letih 1963 in 1964. Že leta 1962 je Metalurški inštitut v Ljubljani pričel raziskovati vzroke luščenja oboka, predvsem z ozirom na kvaliteto opeke. S pomočjo angleške literature »Refractories« — Norton in lastnih raziskav je MI obrazložil glavni vzrok luščenja oboka, kot sledi:

»Pri uporabi opeke v obokih se pojavljajo nepetostne razpoke, ki povzročajo lomljenje oglov opeke na strani, ki je izpostavljena vročini. Prav tako nastajajo po dolžini vertikalne razpoke. Te razpoke gredo tem globlje, čim debelejša je opeka in čim hitreje jo ogrevamo, ker tedaj nastopajo večje natezne napetosti. Opeka je zaradi teh razpok izpostavljena hitrejši obrabi. V razpoke prodirajo pare, prah in razne taline, kar opeko razžene in tudi kemijsko uniči. Poleg teh razpok se pri opekah, ki vsebujejo silikate ustvari za »licem« opeke steklasta cona, ki je v odvisnosti od sestave in tališča steklaste faze in v odvisnosti od temperature, nižje ali dalje od lica opeke. Ta cona sega tudi do 60 mm globoko. Tam, kjer se ta faza pojavi, se trdnost opeke občutno zmanjša in se tako vgrajene opeke v oboku odluščijo prav na tem mestu, po večjih površinah.«

»Steklasto fazo v opeki tvorijo pretežno primesi kot so SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , FeO , tekočo fazo pa razni silikati kalcija, magnezija in alumi-

nija. Tekoča faza se pojavlja že pri 1335° C, ko se ustvarja mineral grosular ($3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 5\text{SiO}_2$), pri tem je treba še upoštevati železove silikate in več komponentne spojine, ki imajo še nižje tališče in nizko viskoznost. Tekoča faza se v opeki ustvarja na mestu, ki je ogreto na 1350—1450° C. Iz lica opeke staljene komponente migrirajo deloma proti hladnejšemu delu opeke, deloma pa se izcejajo in prevlečejo površino opeke, ki se počasi stali. Tekoča faza iz hladnejših delov opeke tudi migrira navzdol in se tako na določenem mestu zbere kritična količina viskozne taline, ki povzroči pri določeni temperaturi odpadanje opeke.

V bazični opeki se nahaja od 4—6 % SiO_2 , ki tvori z MgO forsterit ali klinoenstatit, oba pa sta občutljiva na hitre temperaturne spremembe in slednji tudi ni ognja vzdržen (tališče 1557° C). Glinice je v opeki 14—20 %, ki tvori z MgO spinel in ta je odporen na termošoke ter ima nizko ognja vzdržnost. Nastopajo pa tudi bolj komplicirani minerali, vendar se smatra, da je pri bazičnih opekah glavna vezava na bazi MgO preko »forsterita ($2\text{MgO} \times \text{SiO}_2$, tališče 1890° C)«.

Po navedeni razlagi je MI predlagal za preprečitev takih pojavov opeke z veliko trdnostjo in gostoto ter zmerno odpornostjo proti termičnim šokom in visokim zmeščičem pod obremenitvijo. Navedeni pogoji zahtevajo opeko brez spojin z nizkim tališčem, ki bi ustvarile steklasto cono za vročim licem opeke. Velika gostota opeke pa zagotavlja njeno odpornost proti prodiranju nečistoč iz atmosfere peči v opeko. Visoka mehanska trdnost opeke pa povzroči, da ta ne razpade zaradi notranjih napetosti pri ogrevanju. Take zahteve v industrijsko razvitih državah postavljajo potrošniki, npr. General Refractories: trdnost 350 do 400 kg/cm^2 , zmeščiče pod obremenitvijo 1610 do 1740° C, poroznost manjša kot 22 % in termični šok + 30. Po JUS pa je predpisana minimalna trdnost 150 kg/cm^2 , po katalogu Magnohroma pa 250—600 kg/cm^2 . Magnohrom nam je sicer v letu 1962 dobavljal krommagnezitno opeko z 220 do 319 kg/cm^2 trdnosti, ter poroznostjo pod 22 %.

Tako je bila v letu 1962 problematika usmerjena predvsem na kvaliteto opeke. Magnohrom je v letu 1963 in 1964 nekoliko izboljšal kvaliteto krommagnezitne opeke za oboke, vendar je vzdržnost glavnih obokov SM peči v vseh železarnah ostala kritična.

V letu 1963 se je problematika vzdržnosti obokov usmerila, oziroma omejila na konstrukcijo obokov (kot je razvidno iz poročila MI »Centralna kontrola ognja vzdržnega materiala za leto 1963«), kot sledi:

— presek formata krommagnezitne opeke za obok SM peči ni v skladu s teorijo elastičnosti in notranjih napetosti kot posledica toplotnega širjenja in krčenja v SM pečeh pri toplotnem režimu. Format, ki se uporablja v naših železarnah, bi moral biti 2—3-krat manjši,

— format krommagnezitnih opek za oboke SM peči ne odgovarja oznakam formata in izračunanim vrednostim z ozirom na razpetino in radius oboka. Posledice so v tem, da se mora opeka prilagoditi v nedovoljeni meri s sekanjem ali pa s spreminjanjem oblike in višine oboka. Tako se poveča mehanska obremenitev opek pri segrevanju SM peči, posebno v času, ko se vršijo mineraloške spremembe, katere močno vplivajo na termične šoke, mehansko odpornost in kemijsko korozijo,

— poizkusi so tudi pokazali, da luščenje obokov v tanjših plasteh povzročajo kemijske spremembe materiala pod vplivom temperaturnih sprememb, kar je normalno. Odpadanje debelejših plasti do približno 50 mm in na večjih površinah (pri 80—100 šarž in navzgor) pa povzročajo mehanske sile.

Na podlagi teh ugotovitev so se vršili razni poizkusi, predvsem v železarni Jesenice. Spremenili so konstrukcijo oboka in konstrukcijo opeke (format 5 MRS, Steelclad v obliki trapeza in prizme). Zasledovali so tudi način zidave obokov in uvedli različne metode tako po načinu dilatacije kot na celotno velikost dilatacije. Izvedeni poizkusi pa niso pokazali bistvenega izboljšanja. Pri vseh teh poizkusih so opazovali obnašanje opeke različnih formatov, dilatacije, konstrukcijo oboka, vpliv temperature v peči in proizvodnega programa ter prišli do zaključkov, da ležijo vzroki slabe vzdržnosti predvsem v tem da:

— konstrukcija formata opeke ne odgovarja predvidenemu polmeru. Opeka je v spodnjih plasteh bolj obremenjena in se zaradi velikih bočnih pritiskov lušči po slojih,

— izdelane dilatacijske reže so premajhne in obok na koncu kampanije reži, ter se dvigne za več kot 10 mm,

— standardni formati so preveliki,

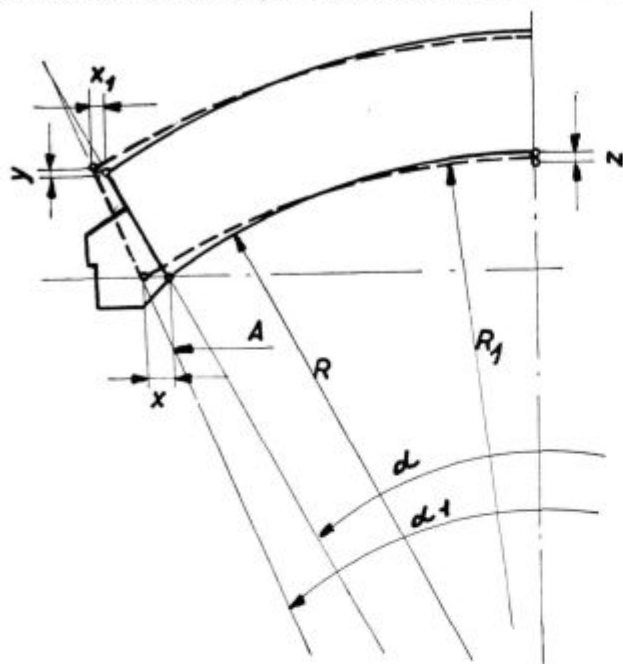
— pri uporabi kisika opeka hitreje razpada,

— poleg kvalitete opeke je zelo važen faktor preobremenjevanje peči z vložkom in povišanjem dna peči, ki zmanjšujeta višino med vložkom in obokom, kar zelo slabo vpliva na vzdržnost oboka.

Do podobnih zaključkov smo prišli tudi pri nas, le da smo se v letu 1963 ukvarjali predvsem s kvaliteto opeke. Boljša kvaliteta opeke za obok pa za naše razmere ni bila dosegljiva. Zato smo posvetili vso pozornost delovanju sil v glavnem oboku.

Že tradicionalno luščenje oboka v plasteh do 60 mm debeline nas je opozarjalo na napetosti v glavnem oboku (preobremenitev opeke na delovni strani oboka, kjer je opeka izpostavljena kemijskim spremembam pod vplivom visokih temperatur in kjer je trdnost opeke najmanjša). Tako smo najprej teoretično določili kako se spreminja oblika oboka — gibanje oboka pri ogrevanju na delovno temperaturo, seveda z upoštevanjem danih pogojev konstrukcije peči — oboka, konstrukcije formata opeke in izmerjenih temperatur na oboku. Upoštevali smo obok kot prosti obočni nosilec, ki je sestavljen iz dveh različnih nosilcev (rebra, polje).

Iz slike št. 1 je razvidno, da se obok pri ogrevanju na delovno temperaturo razširi prečno — spodaj za »x« in zgoraj za »x₁« in da se na obeh koncih dvigne za »y«, na sredini pa pade za »z«. Spremeni se tudi naklonski kot »α« in polmer oboka R. Naklonski kot ležaja oboka se zmanjša na »α₁«,



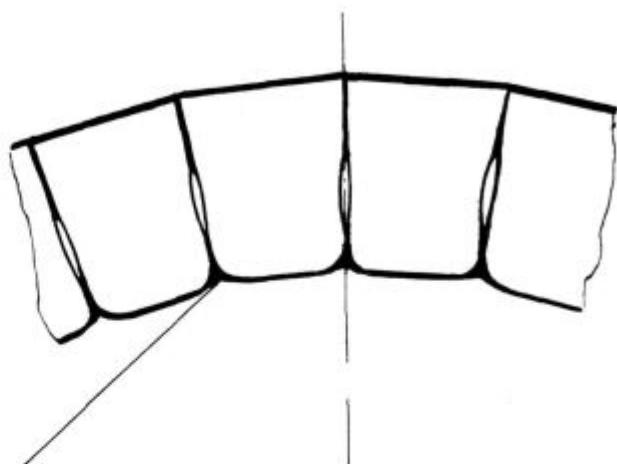
α = kot, ki je odvisen od konstrukcije opeke in oboka

α_1 = navidezni kot, ki nastane z ogrevanjem oboka na delovno temperaturo

Sl. 1

polmer pa se poveča na R₁. Najvažnejše pri tem je padec oboka in prečno širjenje spodaj, ter sprememba naklonskega kota. Pri računanju smo morali upoštevati konstrukcijo opeke, ki je za rebra drugačna kot za polje. Ker so rebra trajnejši nosilec oboka, smo vzeli za osnovo rebra, polje pa smo prilagodili s sekanjem veznika na isti polmer in naklon. Zaradi tega je postalo polje nekoliko stopničasto, kar tudi slabo vpliva na vzdržnost. Prednji ležaj oboka smo s sekanjem prilagodili odgovarjajočemu naklonskemu kotu »α₁«, zadnji ležaj oboka pa smo z vijaki naklonili tako, da smo že pri montaži dosegli na notranji strani male reže in tako razbremenili opeko na delovni strani oboka. To velja predvsem za rebra, dočim se polje prilagodi rebrom in se nekoliko posede (zaradi različne konstrukcije opeke). Na ta način prevzamejo rebra bočne sile v zunanjih hladnejših plasteh, kjer je trdnost opeke večja, polje pa je le rahlo vpeto na ležaj oboka in s trenjem vezano na rebra (po vzdolžni smeri oboka).

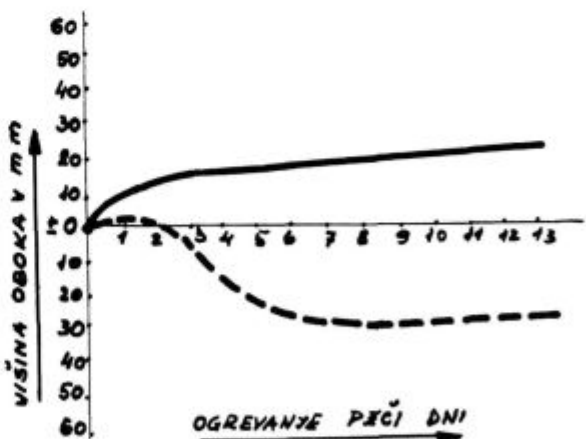
Pri ogrevanju se opeka na delovni strani oboka najbolj širi. Praktično je najlažje slediti zahtevam širjenja oz. popuščanja preko vzmeti, ki so na sidrih. Popuščanje ni odvisno samo od specifičnega raztezka materiala, pač pa v glavnem od konstrukcije oboka, ki mora biti v hladnem ali v vročem taka, da se prenašajo bočne sile po zunanjih plasteh, na delovni strani pa morajo nastopati male reže (slika št. 2). Poleg pravilne konstrukcije obo-



pravilno zaprte reže na delovni strani oboka

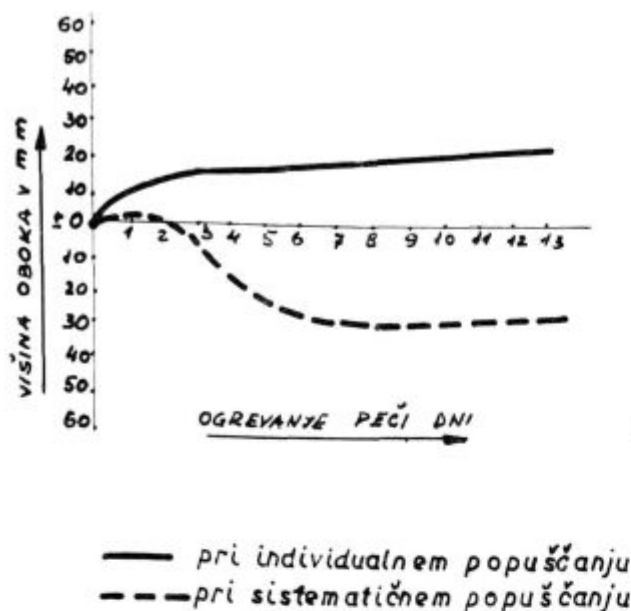
Sl. 2

ka je najvažnejše še pravilno in sistematično popuščanje oboka na sidrih, ter zadnjega ležaja oboka z vijaki (slika št. 3, 5 in 6).

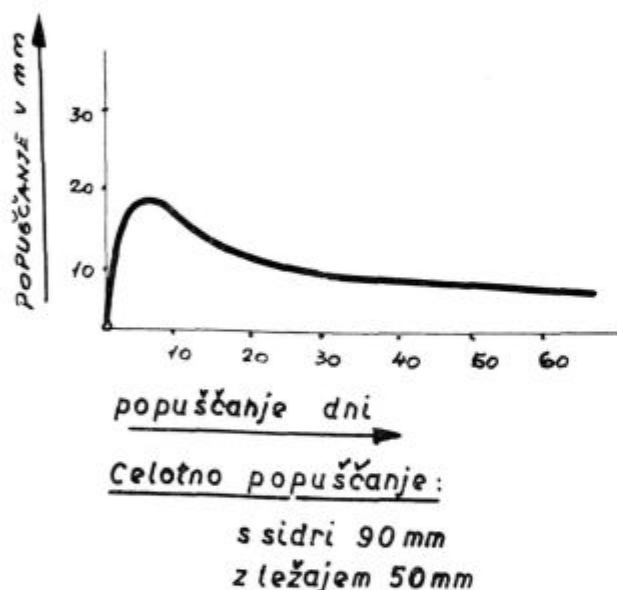


— pri individualnem popuščanju
 --- pri sistematičnem popuščanju

Sl. 3



Sl. 4



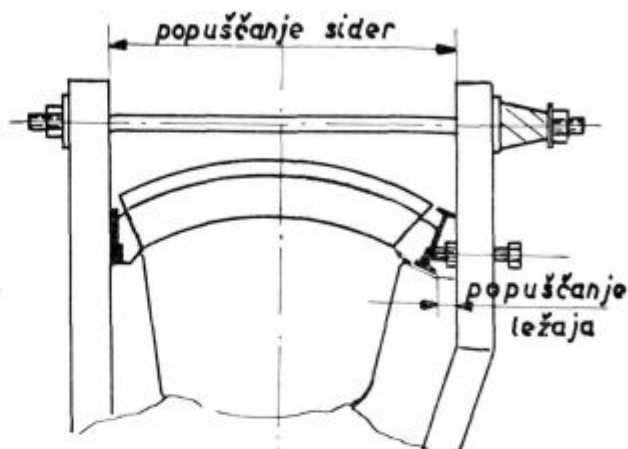
Sl. 5

Ker se stanje oboka spreminja in širjenje raste po vedno večjem loku, je potrebno popuščanje vse dokler obok ne dotraja. Dobljene teoretične vrednosti veljajo le za začetno stanje, tj. do ogrevanja peči na delovno temperaturo, ko je obok še nepoškodovan. Z odgrevanjem ali propadanjem oboka se spreminjajo določene vrednosti, vendar je jasno, da se prečno širjenje večja in da se dalje vrši po že navedenem principu.

Na podlagi opazovanja in meritev, ki smo jih izvršili, sklepamo, da je zaradi anomalij (tolerance v izmerah opeke, nehomogena kvaliteta opeke, odstopanje šablone pri montaži, odstopanje razpetine na ležajih oboka — skica št. 1 oznaka A, slaba montaža oboka, neenakomerno ogrevanje oboka, različne temperature, vpliv trenja — vzdolžno, vpliv sosednje ležajne opeke, skratka vpliv neena-

komernih bočnih pritiskov) praktično potrebno še dodatno popuščanje (teoretično dobljena vrednost + 20 %).

Najpomembnejše praktično merilo pri zasledovanju delovanja oboka je gibanje oboka navzdol ali navzgor. Gibanje oboka lahko reguliramo z bočnimi silami, tj. vzmetmi na sidrih. Začetno stanje bočnih sil mora biti takšno, da se po snetu opaža obok ne deformira. Važno je dejstvo, da višina oboka pri ogrevanju pade (slika št. 4), to pa le pod



Sl. 6

pogojem, da je popuščanje pravilno in dovolj veliko (slika št. 6). Začetne minimalne in maksimalne bočne sile je mogoče določiti tudi po trdnostnem preračunu s statično metodo, kjer je treba upoštevati dovoljeno maksimalno tlačno obremenitev opeke (na zunanjem robu do 2 Kp/cm²).

Zelo važno je torej zategovanje oboka — oziroma začetno stanje bočnih sil pri snetu opaža, kar se odraža pri ogrevanju peči na delovno temperaturo, ko je širjenje materiala najintenzivnejše.

Iz navedenih podatkov je razvidno, da je bila vzdržnost SM peči še v letu 1964 pretežno odvisna od vzdržnosti glavnega oboka. Po letu 1964, ko smo uspeli povečati vzdržnost glavnega oboka s sistematičnim in intenzivnim popuščanjem na sidrih, pa se je pojavila kritična vzdržnost zadnje stene.

V letu 1965 smo naklonili zadnjo steno za 20°. Sedaj je vzdržnost zadnje stene in oboka izenačena. Pojavlja pa se novi problem — vzdržnost stebričkov in kapelic, ter jaškov, kakor tudi zamašitev jaškov, žlindrenikov in komor.

Zaključek

Po letu 1963 se je s forsirano proizvodnjo jekla vzdržnost SM peči (obokov) bistveno poslabšala pri nas, kakor tudi v jugoslovanskem merilu. Predvidena rešitev problema je bila v izboljšanju kvalitete ognja vzdržnega materiala. Kvaliteta opeke za oboke se še do danes ni bistveno izboljšala ter je zaradi tega bilo treba iskati druge rešitve.

V okviru naših možnosti ni bilo mogoče uporabiti boljše kvalitete opeke za obok. Pričeli smo iskati rešitev v vplivu konstrukcije opeke in oboka, ter v delovanju napetosti, ki nastopajo v oboku pri toplotni obremenitvi. Napetosti smo zasledovali z vgrajenimi polžastimi vzmetmi, ki smo jih izkoristili kot dinamometer.

Izdelali smo teoretični princip gibanja oboka z upoštevanjem temperaturnih pogojev in vzporedno zasledovali gibanje oboka pri sistematičnem in intenzivnem popuščanju.

V času remonta od 13. 9. 1964 do 26. 9. 1964 pa smo prilagodili konstrukcijo oboka teoretičnim potrebam in izvedli intenzivno ter sistematično popuščanje. Bistvena razlika je v tem, da smo praktično kot teoretično prišli do zaključka, da se mora držati obok preko vse kampanje pod začetno višino tako, da so napetosti v oboku skoncentrirane v zunanjih plasteh opeke, kjer je trdnost opeke največja.

Tako smo dosegli večjo vzdržnost oboka in s tem peči, ki se je povprečno povečala za 107 šarž na kampanjo peči. V letu 1963 smo imeli vzdržnost 342 šarž, v letu 1964 386 šarž in v letu 1965 že 465 šarž.

Idealno delovanje pritiskov pa bi dosegli s tem, da bi obok popolnoma ločili od ostale konstrukcije peči in istočasno mehanizirali regulacijo naklonskega kota oziroma kota obeh ležajev oboka, kar še predvidevamo v okviru naših tehničnih možnosti.

Navedena rešitev problema je za nas kakor za naše železarne seveda le delna, potrebno bo izboljšati tudi kvaliteto ognja vzdržnega materiala. V zadnjem času kaže »Magnohrom« veliko razumevanje in zanimanje, tako da lahko že v prihodnjem letu pričakujemo izboljšane oz. nove kvalitete ognja vzdržnega materiala za jeklarske peči.

Literatura

1. Dr. ing. Jože Muster, POROČILA METALURŠKEGA INSTITUTA V LJUBLJANI
Centralna kontrola ognjevarnega materiala za leto 1963 in 1964
2. O. Pavlík, I. Brabník, J. Kral, VŽKG Ostrava,
POVEČANJE TRAJNOSTI RAZLIČNIH MARTINSKIH STROPOV PRI KURJENJU Z MAZUTOM IN PRI UPORABI KISIKA
Hutník, št. 4, leto 1963