

UDK 628.5:697.942

Odpraševanje v industriji

Primeri sodobne rešitve pri elektrojeklarni Železarnе Jesenice

LUDVIK MILANEZ

1. SPLOŠNO O ODPRAŠEVANJU

1.1. Ekološki vidik

Skoraj si ne moremo predstavljati industrijskega kraja brez oblakov prahu in na vsakem koraku daleč naokrog. Neposredna ogroženost delcev na delovnih mestih z zapraševanjem je velika. Onesnaženost okolja dodatno obremenjuje delovne ljudi in vse prebivalstvo industrijskih krajev.

V praksi je potrjeno, da je moč z ustreznimi odpraševalnimi napravami zmanjšati na minimum emisijo virov onesnaževanja, če se le za to nameni dovolj potrebnih sredstev.

Izdelani so že številni ustrezni tehnološki postopki. Poleg osnovnega imajo mnogi tudi rekupe- rativni pomen, npr.: izkoriščanje odpadne toplote, vračanje odpadnih snovi v proizvodnjo oz. njihova neposredna uporaba. V času energetske in surovin- ske krize je ta drugotni pomen vse bolj pomemben.

Pri novih, sodobnih objektih se tehnološki postopki za varstvo okolja upoštevajo praviloma že pri gradnji. Na obstoječih objektih pa ostaja stanje v večini primerov nespremenjeno.

Upoštevati je treba, da so tudi objektivni vzroki, zaradi katerih se stanje pri starejših objektih vidno ne izboljšuje. Dotrajanost naprav, ki so namenjene osnovni proizvodnji, nas pogosto spravlja v dvom o smiselnosti vlaganja v drage čistilne naprave. Adaptacija dotrajanih stavb in naprav ponekod tehnično sploh ni izvedljiva, vendar bi bila za postavitev čistilnih naprav nujno potrebna.

Velika ovira je tudi izpad proizvodnje v času montaže dopolnilnih čistilnih naprav.

Gradnja odpraševalnih naprav ima poseben pomen v starih železarskih krajih, kjer veliki onesnaževalci ozračja (npr. plavži, konvertorji, elektro- obločne peči) terjajo odpraševalne sisteme velikih zmogljivosti.

1.2. Nekatere teoretične in praktične osnove odpraševanja

1.2.1. Fizikalna opredelitev prahu

Za prah kot skupino trdnih delcev, je značilno, da je njegova hitrost pri prostem padu majhna v primerjavi s hitrostjo naravnega gibanja zraka.

Po Stockesu je srednja hitrost padanja delcev prahu v mirujočem plinu

$$v = (\rho_d - \rho_p) \frac{g d_e^2}{18 \eta_p} \quad (1)$$

in ker je $\rho_p \ll \rho_d$, je

$$v \approx \rho_d \frac{g d_e^2}{18 \eta_p} \quad (2)$$

kjer so:

v — hitrost padanja delcev (m/s)

ρ_d — gostota delcev (kg/m^3)

ρ_p — gostota plina (kg/m^3)

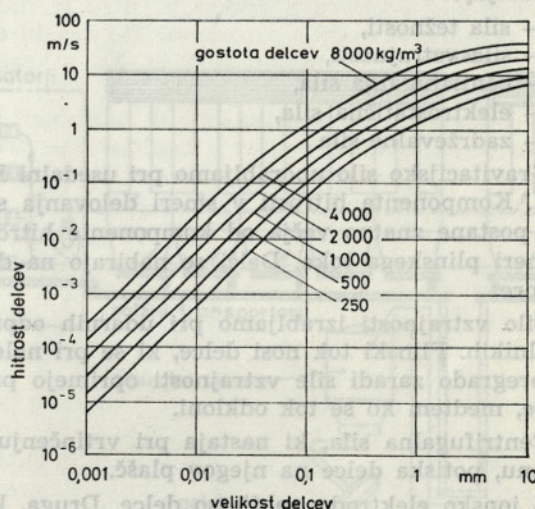
d_e — ekvivalentni premer delca, tj. premer nadomestne krogle enake prostornine (m)

η_p — dinamična viskoznost plina (Pa s)

g — zemeljski pospešek ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Delci, ki so manjši od $0,1 \mu\text{m}$, — po Stockesu — v zraku ne padajo, temveč lebdiijo. Kot prah pa obravnavamo delce do velikosti $500 \mu\text{m}$.

Na sliki 1 so grafično prikazani primeri odvisnosti hitrosti padanja od gostote in velikosti delcev kroglaste oblike. Medij je čisto ozračje s temperaturo 15°C in tlakom $1013,25 \text{ mbar}$.



Slika 1

Delci prahu niso enaki. Izhajajoč iz primerljivosti po prostornini, površini, premeru in številu delcev določimo povprečne velikosti delcev. Če imajo delci enako gostoto, je povprečni prostorninski premer hkrati tudi povprečni masni premer. Povprečni aritmetični premer je

$$d_0 = \frac{D}{N} = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i} \quad (3)$$

kjer pomenijo:

- d_0 — premer delcev nadomestne skupine
- D — skupni premer delcev dejanske skupine
- N — skupno število delcev dejanske skupine
- n_i — število delcev dejanske skupine
- d_i — premere delcev dejanske skupine

Če imajo delci obliko, ki se razlikuje od krogle, je treba uvesti ustrezen ekvivalent oblike.

Za izbiro načina odpraševanja trdnih delcev je pomembna tudi njihova granulacijska struktura, ki se ugotavlja s sejalnimi analizami in po statističnih metodah.

1.2.2. Postopki in načini delovanja naprav ter sistemov odpraševanja

Obstajata odpraševanje po suhem ali po mokrem postopku.

Odpraševanje po suhem postopku je v osnovi preprostejše, saj odpade problem z vodo oz. tekočino, ki je pri mokrem sredstvo za zajemanje trdnih delcev.

V metalurgiji npr. sta oba postopka močno v uporabi, vendar dajejo v svetu prednost vse bolj rešitvam po suhem postopku.

Načelno se za delovanje odpraševalnih naprav uporabljajo:

- sila težnosti,
- sila vztrajnosti,
- centrifugalna sila,
- elektrostatična sila,
- zadrževalne sile.

Gravitacijsko silo uporabljamo pri usedalni komori. Komponenta hitrosti v smeri delovanja sile teže postane znatno večja od komponente hitrosti v smeri plinskega toka. Delci se nabirajo na dnu komore.

Silo vztrajnosti izrabljamo pri udarnih odpraševalnikih. Plinski tok nosi delce, ki se pri naletu na pregrado zaradi sile vztrajnosti oprimejo pregrade, medtem ko se tok odkloni.

Centrifugalna sila, ki nastaja pri vrtnjenju v ciklonu, potiska delce na njegov plašč.

Z ionsko elektrodo nabijemo delce. Druga, kolektorska elektroda jih pritegne. Ustrezna naprava se imenuje elektro filter.

V praksi se učinki navedenih sil za izločanje delcev iz disperzije v plinu uporabljajo kombinirano. Že za naprave same lahko rečemo le, da delujejo pretežno po enem ali drugem načinu delovanja sil na delce. Naprave pa pogosto sestavljamo v odpraševalne sisteme in kombinacij je še več. Prepletata se tudi oba postopka (suhi in mokri).

Posamezne vrste naprav izločajo iz plina trdne delce velikostnega reda:

- pri elektrofiltrih 10^{-2} do $10^2 \mu\text{m}$
- pri ciklonih 5 do $10^3 \mu\text{m}$
- pri usedalnih komorah nad $10^2 \mu\text{m}$.

Učinke odpraševanja je mogoče poboljšati s posebnimi postopki [8].

Sistemi odpraševanja se ločijo tudi po načinu zajemanja delcev. To je lahko neposredno iz izvora ali pa iz njegove okolice. Obstaja tudi kombinirano zajemanje.

Med najsodobnejšimi je sistem odpraševanja, pri katerem po opravljenih fazah grobega čiščenja zajemamo najbolj drobne prašne delce v vrečastem filtru.

Načelo delovanja vrečastega filtra je v prepihovanju prašnega plina skozi vreče in zadrževanju delcev na stenah vreč. Prepihovanje je lahko od zunaj (prašek se nabira na zunanji strani vreč) ali znotraj (prašek se nabira na notranji strani vreč). Na stenah vreč se nabere sloj praška, ki poveča filtrirni učinek vreč in zmanjša pretočno količino plina. Pri predvideni debelini sloja se prične čiščenje vreč. Čisti se lahko v glavnem na tri načine:

- mehansko s stresanjem vreč,
- z nasprotnim tokom plina,
- s pulzirajočim vpihovanjem zraka v vreče.

Izbira vrste vreč je odvisna od temperature plina in od vrste trdnih delcev, ki so v njem. Glede na izbrano vrsto vreče (npr. vreča iz lanenih ali sintetičnih vlaken) se določi sistem čiščenja. Da ostane pretok plina konstanten, se menja čistijo posamezne skupine vreč.

S takim sistemom se doseže skoraj stoodstoten učinek odpraševanja. Če je zajemanje neposredno in posredno, ima opisani sistem naslednje dobre lastnosti:

- odpade problem z umazano vodo,
- zelo učinkovito filtriranje drobnih delcev,
- majhen odpor filtra,
- učinkovito odkrivanje napak,
- možnost popravil med obratovanjem,
- razmeroma preprosto vzdrževanje,
- zajemanje iz vseh virov pri vseh fazah dela,
- učinek izločanja trdnih delcev do 99,5 %.

Ena takšnih, po končnih učinkih pa enaka, je rešitev vprašanja odpraševanja v elektrojeklarni I Železarne Jesenice.

2. SODOBNA REŠITEV ODPRASEVANJA PRI ELEKTROJEKLARNI I ŽELEZARNE JESENICE

2.1. Splošno

V Železarni Jesenice so se kljub pričakovanemu ekonomskemu bremenu odločili za izgradnjo velikega odpraševalnega sistema (naprave).

Naprava ima nalogo zajemati prašne delce treh obstoječih elektroobločnih peči za proizvodnjo jekla s skupno zmogljivostjo 170 ton. Naprava je izdelana po načrtih AAF (*American Air Filter* — podružnica Amsterdam*). To je vodilno svetovno podjetje za odpraševanje. Samo za področje metalurgije se je investitorju predstavilo z izvedenimi odpraševalnimi napravami na pečeh, ki imajo skupno nad desetkratno zmogljivost jeklarne I Železarne Jesenice. Opremljajo peči vseh zmogljivosti, največje doslej 4×200 ton (v ZDA, Ohio).

Podjetje AAF se je s tehnološkim jamstvom obvezalo doseči delež prašnih delcev v zraku pri izstopu iz naprave manj od 50 mg/m^3 . Po veljavnem predpisu je dopusten do trikrat večji delež [5]. Naprava je začela poskusno obratovati 29. novembra 1981 in prve meritve kažejo, da bo pričakovani učinek dosežen.

Pri polni obremenitvi bo naprava zajemala dnevno 8 do 15 ton praška, tj. $\approx 40\%$ zmanjšanje emisije vseh izvorov v Železarni Jesenice. Karakteristike praška so:

— kemična analiza (%): $47 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, 4 FeO , 7 MgO , $6 \text{ Mn}_2\text{O}_3$, $3 \text{ Al}_2\text{O}_3$, 8 CaO , 7 Zn , 3 Pb , $0,5 \text{ S}$, $1,5 \text{ C}$, 4 SiO_2 in 9 drugi oksidi in elementi

* Zastopnik v Jugoslaviji je: Intertehna, Beograd.

- zrnatost: 85% pod $10 \mu\text{m}$, 15% pod $1 \mu\text{m}$,
- nasipni kot: pod 15° za suh prah
- nasipna gostota mase: 980 do 1200 kg/m^3
- vlažnost: največja relativna vlažnost zraka.

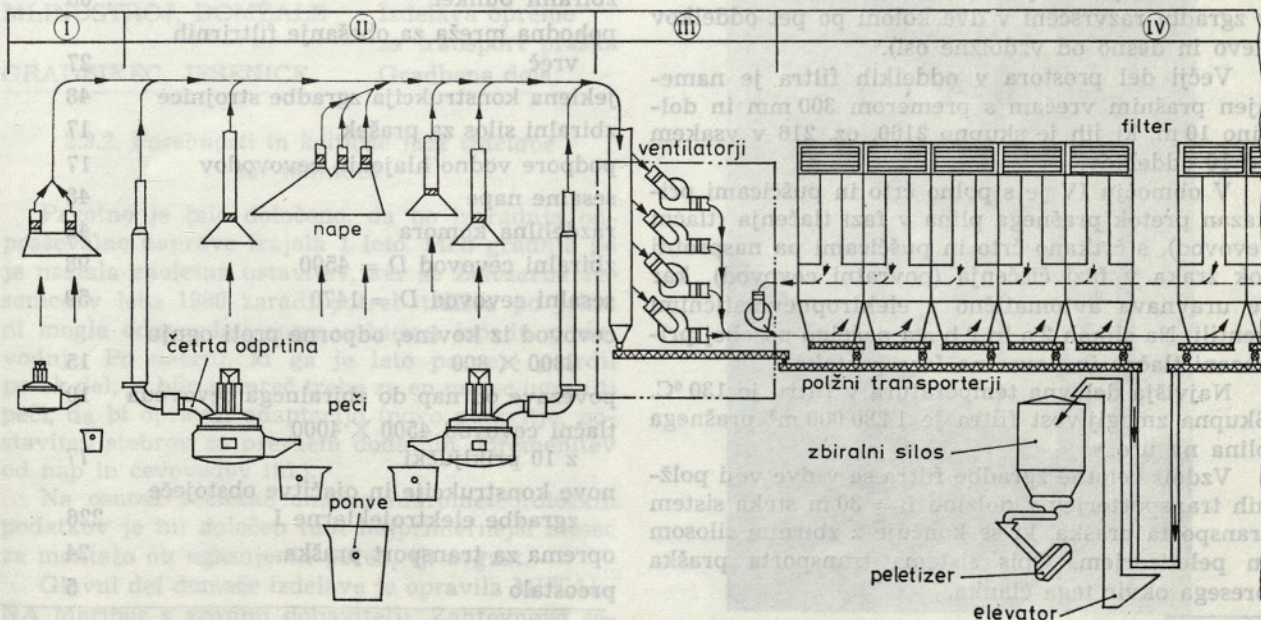
V delu je študija o predelavi praška (npr. pri pridobivanju cementa).

2.2. Opis naprave

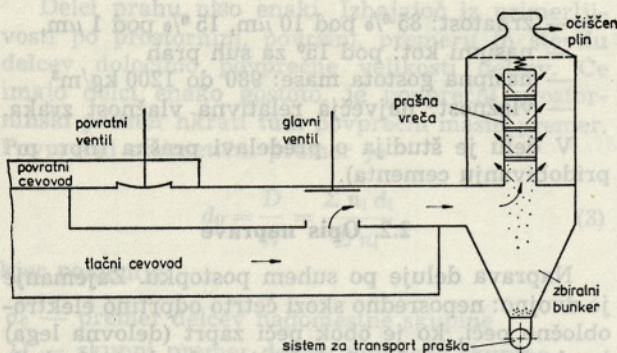
Naprava deluje po suhem postopku. Zajemanje je dvojno: neposredno skozi četrto odprtino elektroobločne peči, ko je obok peči zaprt (delovna lega) in skozi nape nad pečmi, ko je peč odprta (polnilna in praznilna lega). Prašen plin sesajo 4 glavni ventilatorji (moči po 710 kW , tlak po 50 mbar) skozi sesalni cevovod in razdelilno komoro ter ga na svoji drugi strani potiskajo skozi tlačni cevovod in elektropnevmatične ventile v vrečaste filtre. Pretok poteka skozi notranjo stran vreč in očiščen plin izstopa skozi zračnike na vrhu zgradbe filtra. Tlačni odpor filtra je 15 mbar . Vreče se čistijo z nasprotnim tokom zraka. Tok ustvarja poseben ventilator (moč 160 kW , tlak 40 mbar), priključen na povratni sesalni cevovod. Prašek, ki se nabira na notranji strani vreč, pada v spodaj ležeče zbiralne bunkerje in potuje potem skozi sistem transporta praška na peletiranje. Proces je avtomatiziran.

Na sliki 2 je načelno prikazan pretok plina in praška skozi napravo.

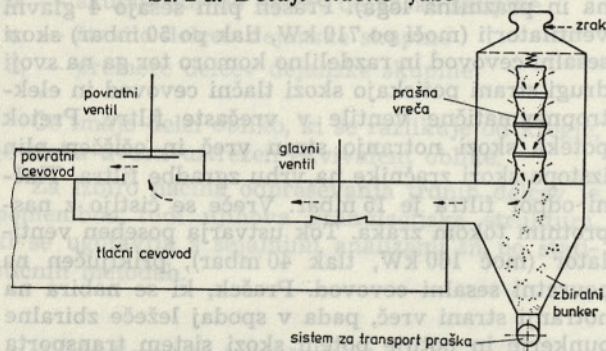
Pri peči v območju I zajemajo prašni plin samo z napami. Pri dveh pečeh v območju II zajemajo z napami in skozi četrto odprtino peči. Poleg tega zajemajo v območju II tudi z nape v livni hali (iztekanje v ponev med prebodom), ki leži vzdolžno vzporedno s pečno halo.



Sl. 2. Pretok plina in praška skozi napravo



Sl. 2 a. Detajl tlačne faze*



Sl. 2 b. Detajl čistilne faze*

Skozi območje I poteka na dolžini $L = 88$ m sesalni cevovod s premerom $D = 1470$ mm, ki se v II in III nadaljuje kot zbirni cevovod: $L = 73$ m, $D = 4500$ mm. Zbirni cevovod se konča s kolenom nad strojnico v območju III, kjer se razširi v razdelilno komoro s kanali na 4 ventilatorje. Osrednji konični del je namenjen usedanju večjih delcev, ki jih oddaja četrta odprtina peči.

V območju IV je deset oddelkov filtra, ki so v zgradbi razvrščeni v dve koloni po pet oddelkov (levo in desno od vzdolžne osi).

Večji del prostora v oddelkih filtra je namenjen prašnim vrečam s premerom 300 mm in dolžino 10 m, ki jih je skupno 2160, oz. 216 v vsakem od 10 oddelkov.

V območju IV je s polno črto in puščicami prikazan pretok prašnega plina v fazi tlačenja (tlačni cevovod), s črtkano črto in puščicami pa nasprotni tok zraka v fazi čiščenja (povratni cevovod), kar se uravnava avtomatično z elektropnevmatičnimi ventili. Na slikah 2 a in 2 b sta načelno posebej prikazani tlačna in povratna faza pretoka.

Najvišja delovna temperatura v filtru je 130°C . Skupna zmogljivost filtra je $1\,280\,000\text{ m}^3$ prašnega plina na uro.

Vzdolž celotne zgradbe filtra se v dve veji polžnih transporterjev z dolžino $L = 30$ m steka sistem transporta praška, ki se končuje z zbirnim silosom in peletizerjem. Opis sistema transporta praška presega okvir tega članka.

2.3. Izvajalska dela pri izgradnji naprave

2.3.1. Delitev dela med podjetjem AAF in domačimi izvajalci

Delitev obsega izvajalskih del med podjetjem AAF in domačimi izvajalci je bila določena s pogodbo med Železarno Jesenice in podjetjem AAF, ki se je obvezalo za:

- prenos tehnologije (*know-how*) z vsemi tehnološkimi garancijami,
- dobavo delavniških načrtov za konstrukcijo zgradbe filtra, nap, bunkerjev, silosov in cevovodov ter delov opreme, razen opreme za transport praška,
- dobavo uvozne opreme, tj.:
 - merno regulacijske naprave,
 - prvega kompleta filtrirnih vreč,
 - posameznih delov konstrukcij in opreme v skupni masi 161 t.

Domači izvajalci so oskrbeli:

- vsa gradbena dela,
- montažo vse domače in uvožene opreme, instalacij ter jeklenih konstrukcij,
- izdelavo konstrukcij in opreme v količinah, navedenih v razpredelnici 1.

Lista domačih izvajalcev je v razpredelnici 2.

Razpredelnica 1. Doma izdelane jeklene konstrukcije in oprema

Opis	Masa (t)
jeklena konstrukcija zgradbe filtra	157
zbiralni bunker	66
pohodna mreža za obešanje filtrirnih vreč	27
jeklena konstrukcija zgradbe strojnice	48
zbiralni silos za prašek	17
podpore vodno hlajenih cevovodov	17
sesalne nape	48
razdelilna komora	42
zbiralni cevovod $D = 4500$	98
sesalni cevovod $D = 1470$	59
cevovod iz kovine, odporne proti ognju 3800×800	15
povezave od nap do zbiralnega cevovoda	19
tlačni cevovod 4500×4000 z 10 priključki	77
nove konstrukcije in ojačitve obstoječe zgradbe elektrojeklarne I	226
oprema za transport praška	24
preostalo	5
skupno:	945

* Polna črta: pretok prašnega plina v tlačni fazi.

* Črtkano: pretok zraka v čistilni fazi.

Razpredelnica 2. Lista domačih izvajalcev

Izvajalec	Opravlja
ŽELEZARNA JESENICE	Investitorski inženiring
METALNA, MARIBOR s podizvajalci	Izdelava jeklenih konstrukcij, strojnih inštalacij in opreme Montaža domačih in uvoženih izdelkov, razen elektroinštalacij
PROJEKT, MARIBOR	Izdelava gradbenih načrtov in prilagoditev vseh načrtov AAF za potrebe domačih delavnic
IMK, LJUBLJANA	Projektantski nadzor in izdelava izvedbenih načrtov za adaptacijo obstoječe stavbe
IMP, MARIBOR	Projekti elektroenergetskega napajanja in izvedba montažnih del na elektro instalacijah
INŽENIRING, BLED	Izdelava pregledne dokumentacije
TEHNIČNI BIRO, JESENICE	Projektiranje razvoda vode in komprimiranega zraka
MLINOSTROJ, DOMŽALE	Izdelava opreme za transport praška
GRADBINEC, JESENICE	Gradbena dela

2.3.2. Posebnosti in kritične faze izdelave ter montaže

Prvotno je bilo določeno, da bo izgradnja odpraševalne naprave trajala 1 leto. Med gradnjo pa je nastala enoletna ustavitev, ker se Železarna Jesenice v letu 1980 zaradi potreb tržišča po jeklu ni mogla odpovedati enomesečnemu izpadu proizvodnje. Po načrtu, ki ga je leto pozneje potrdil potek del, je bilo namreč treba za en mesec ugasniti peči, da bi opravili adaptacijo (novo prekritje, postavitve stebrov za prevzem dodatnih obremenitev od nap in cevovodov itd.).

Na osnovi večletne analize hidrometeoroloških podatkov je bil določen tudi najprimernejši mesec za montažo ob ugasnjenih pečeh, tj. avgust.

Glavni del domače izdelave je opravila METALNA Maribor s svojimi dobavitelji. Zahtevnejši sestavi konstrukcij so bili v delavnici poskusno mon-

tirani, s čimer je bila zagotovljena nemotena montaža v času kritičnega avgusta. Večji del konstrukcij in opreme je METALNA poslala na gradbišče po železnici, le del cevnih konstrukcij s prekoračenim gabaritom je bil transportiran po cesti. Največji delež na terenu opravljenih varilskih ur delavcev montaže je bil pri zbiralnem cevovodu.

Bitka s časom, v katerem je bila načrtovana ustavitev peči, se je pričela zelo zgodaj. Železarna Jesenice je že v osnovni pogodbi s podjetjem AAF in METALNO določila, kaj mora biti poslano in ukrenjeno, preden peči ugasnejo. Strokovni delavci ŽELEZARNE JESENICE so skupaj s strokovnjaki METALNE za montažo preštudirali vse možnosti, da bi montaža ob ustavljenih pečeh čimbolj uspela.

Izhodišča so bila:

- pred ustavitvijo peči opraviti čimveč montažnih del,

- čas mirovanja peči mora biti čim krajši,

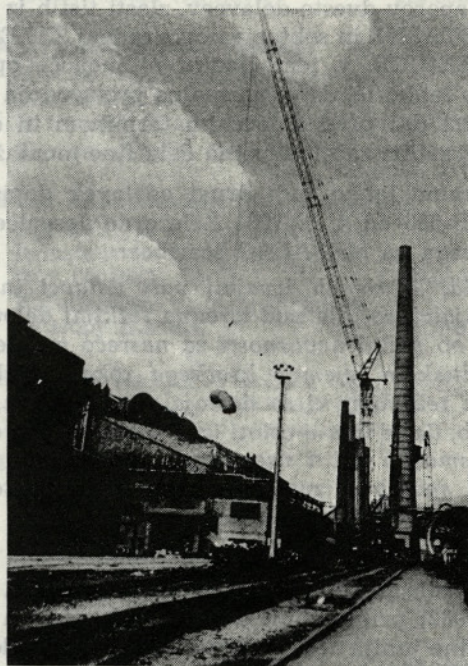
- v največji možni meri se je treba izogniti oviranju druge proizvodnje, zlasti v martinarni,

- vzporedno z deli pri adaptaciji obstoječe stavbe in montaži odpraševalne naprave naj se ob mirovanju peči opravi čimveč del, ki bi jih sicer bilo treba opraviti med obratovanjem elektrojeklarne I.

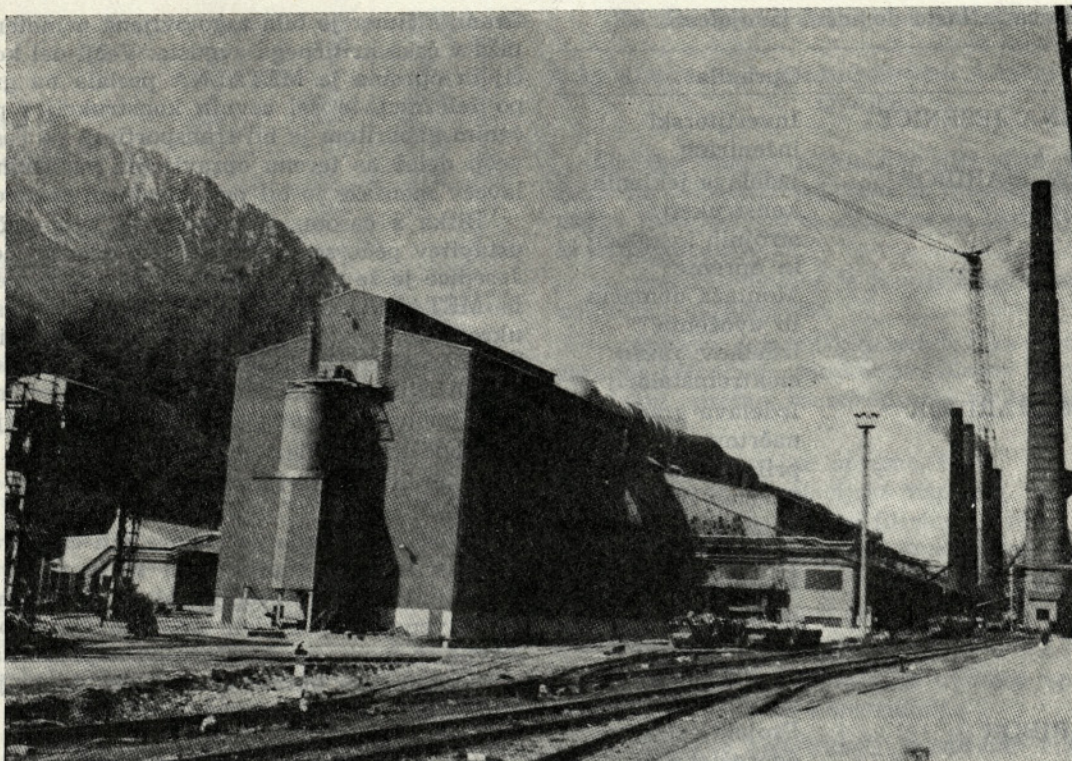
Da bi izpolnili načrtovano, je bilo ukrenjeno naslednje:

- oskrbljeno je bilo vse potrebno za vgradnjo sestavov med ugasnitvijo peči;

- dogovorjene in potrjene so bile podrobnosti za pospešeno montažo, med drugim: uporaba avtodvigala z nosilnostjo 3200 kN, največje angažiranje delavcev in stalen projektantski nadzor.



Sl. 3. Posnetek med gradnjo



Sl. 4. Nova odpraševalka

Slika 3 je posneta med mirovanjem peči; na sliki 4 pa je prikazana stavba filtra z zbiralnim silosom za prašek.

Prišel je predvideni dan, 3. avgust 1981. Delo je potekalo po načrtu in ga kljub številnim presečenjem med adaptacijo stare jeklarne, prehitelo. Naporov dvesto delavcev, zlasti tistih iz montaže METALNE in sektorja novogradenj ŽELEZARNE JESENICE, v tem članku ni mogoče opisati. Povemo lahko le, da je normalna proizvodnja jekla stekla tri dni pred določenim terminom in da so se takoj zatem začela končna dela fine montaže.

Citiramo lahko tudi drugi odstavek dopisa št. 2/AE/NS-686 od 4. 9. 1981 Železarne Jesenice, naslovljenega na METALNO Maribor:

»Dela, ki so jih izvajali vaši delavci in vaši podizvajalci, so bila pod izredno težkimi delovnimi pogoji, ob stalni nevarnosti za nesrečo pri delu in pod pritiskom izjemno kratkega roka. Kljub nekaterim težavam, ki so nastajale med delom, ocenjujemo, da je bila v celoti izpolnjena naloga dobro in, da smo ob dobri vsestranski pripravi in organizaciji sposobni izvajalci skupaj z investitorjem uspešno opraviti še obsežnejše naloge.«

Koledar dosedanjega delovanja naprave:

29. 11. 1981: pričetek poskusnega pogona, 23. 2. in 15. 3. 1982: priključitev obeh četrtih odprtih peči, do sredine junija 1982: usklajevanja z AAF, do sredine julija 1982: predviden pričetek trajnega pogona.

Še nekaj gospodarskih podatkov:

Investicija je veljala približno 180 milijonov din. Vrednostno je bila približno 2/3 realizirana doma. Podobni objekti so bili doslej v domovini zgrajeni ob znatno večjem tujem deležu. Po izkušnjah pri objektu odpraševalne naprave Železarne Jesenice pa bodo prihodnji terjali še manj deviznih sredstev.

LITERATURA

- [1] Models AMERtherm custom designed, public collector for industry, AAF No. APCD-2-340.
- [2] M. Kühn und M. Haucke: Erfahrungen bei der Behandlung und Verwertung von Stahlwerksstäuben und -schlamm — Stahl und Eisen 3 (1981), 61—65.
- [3] V. Podlesnik: Čiščenje plinova — Tehnička enciklopedija JLZ, 3. zvezek, Zagreb 1969.
- [4] N. Perić: Teoretske osnove za projektovanje uređaja za odprašivanje i izbor tkanina za filtriranje — Tekstil Medvode 1979.
- [5] Zvezni in republiški predpisi o varstvu okolja.
- [6] Material s seminarja o zaščiti človekovega okolja, Split 1976. (»Seminar o zaščiti človekove okoline od zagađivanja odpadnim materijalima crne metalurgije«.)
- [7] Interni materiali Železarne Jesenice.
- [8] L. André: Poboljšanje delovanja elektrofiltrov s pomočjo ultrazvočne aglomeracije letečega pepela v dimnih plinih — Strojniški vestnik 1981/10—12, 163 do 170.
- [9] B. Kraut: Strojniški priročnik — Strojniški vestnik Ljubljana 1981.

Avtorjev naslov: dipl. ing. Ludvik Herman Milanez,
Metalna — Maribor