

## Metalurgija čelika u Republici Hrvatskoj

Mirko Gojić\*

Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak  
gojic@simet.unizg.hr

**SAŽETAK:** Cilj je ovoga rada prikaz proizvodnje sirovog čelika u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1954. do 2020. godine. Metodologija rada uključivala je analizu sirovina za proizvodnju čelika, tehnoloških procesa, asortimana čeličnih proizvoda, znanstvenoistraživački i stručni rad te visokoškolsko obrazovanje iz metalurgije čelika.

Čelik je najvažniji metalni materijal koji se može definirati kao deformabilna slitina željeza s maksimalno 2 mas. % ugljika. Pored željeza i ugljika, čelik sadrži poželjne (mangan, krom itd.) i nepoželjne primjese (sumpor, fosfor, kisik, vodik itd.). Primarna sirovina za proizvodnju čelika je bijelo sirovo željezo koje se do sredine 1991. godine proizvodilo u visokim pećima Željezare Sisak. Čelični otpad je sekundarna sirovina koja se relativno lako preraduje u čelik pretaljivanjem. Sirovi čelik (ugljični i niskolegirani) u Republici Hrvatskoj proizvodio se u nekadašnjim željezarama u Sisku i Splitu. Proizvodna postrojenja za izradu čelika su Siemens-Martinove (Željezara Sisak) i elektrolučne peći (Željezara Sisak i Željezara Split). Utvrđeno je da je u razdoblju od 1954. do 2020. u Republici Hrvatskoj proizvedeno oko 9,34 Mt čelika.

Proizvodnja čelika u Siemens-Martinovim pećima temeljila se na izradi čelika u tzv. otvorenom ognjištu primjenom predgrijanoga zraka i goriva uz proces regeneracije. Za proizvodnju čelika u elektrolučnim pećima toplinska se energija osigurava primarno iz električnoga luka između grafitnih elektroda i čeličnoga otpada.

Proizvodni program Željezare Sisak primarno je bio usmjeren na proizvodnju čeličnih cijevi (bešavnih i šavnih), dok se u Željezari Split proizvodio tzv. betonski čelik za građevinsku industriju (građevinska armatura, žica itd.). Danas se čelik proizvodi u moderniziranoj elektrolučnoj peći (uz primjenu postupaka sekundarne metalurgije: lonac-peć i vakuumsko otplinjavanje) u talijanskoj firmi ABS Sisak d.o.o. koja od 2012. godine djeluje u okviru grupacije Danieli.

U okviru znanstvenoistraživačkoga i stručnoga rada realizirani su brojni nacionalni i međunarodni projekti, objavljeno je niz članaka u časopisima i zbornicima radova konferencija, izrađeno je 110 stručnih elaborata, izdan je sveučilišni udžbenik pod naslovom *Metalurgija čelika* u dva izdanja (2005. i 2006.), izrađeno je nekoliko priručnika itd. Visokoškolsko obrazovanje iz metalurgije čelika odvija se od ak. god. 1962/63. (na početku na Metalurškom odjelu u Sisku Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu), a od 1979. godine do danas na Metalurškom fakultetu u Sisku kao jedinjoj znanstvenonastavnoj instituciji u Republici Hrvatskoj iz polja metalurgije.

**Gljučne riječi:** metalurgija; čelik; sirovo željezo; čelični otpad; šavne i bešavne cijevi; betonski čelik; proizvodnja sirovoga čelika u RH

\* Prof. Mirko Gojić ujedno je i autor članka ČELIK u *Hrvatskoj tehničkoj enciklopediji* (2022), sv. 2. (poveznica u online izdanju: <https://tehnika.lzmk.hr/celik/>)

## 1. Uvod

Čelik je strateški najvažniji metalni materijal, iznimno važan za razvoj industrijskoga društva.<sup>1</sup> Razvoj tehnike i tehnologije ne može se zamisliti bez metalurgije čelika. Da je tome tako potvrđuje činjenica da je u 2021. godini u svijetu proizvedeno 1,953 Gt sirovoga čelika, što je za oko 3% više nego u 2020. godini.<sup>2</sup> U XXI. stoljeću proizvodnja čelika kontinuirano je rasla, osim u 2008. i 2009. zbog globalne svjetske krize. Čelik se može definirati kao deformabilna i najvažnija slitina željeza s maksimalno 2 mas. % ugljika. Uz željezo i ugljik, čelik sadržava poželjne (mangan, krom itd.) i nepoželjne primjese (sumpor i fosfor, otopljeni plinovi: kisik, vodik itd., prateći elementi: bakar, kositar, arsen, antimon, itd.). U fizikalno-kemijskom smislu, čelik je višekomponentna Fe-slitina, u kojoj je željezo otapalo, a primjese su otopljene tvari. Proizvodnja željeza i čelika stoljećima je bila, a i danas je sinonim ne samo gospodarske nego i političke moći.<sup>3</sup> Čelik je i »zeleni« materijal, uz stupanj recikliranja od 34 do 37% u svijetu u razdoblju od 2011. do 2019. godine i s potrošnjom čeličnog otpada od 570 do 630 Mt. Činjenica da su se nakon II. svjetskog rata zapadnoeuropske države ujedinile u Europsku zajednicu za ugljen i čelik (1951), preteču Europske ekonomske zajednice (1957), odnosno današnje Europske unije (1993), dovoljno govori o ulozi i značenju čelika kao materijala.

Osnova za višestruku primjenu čelika je mogućnost širokoga djelovanja na njegova svojstva legiranjem, toplom i hladnom plastičnom deformacijom, toplinskom i površinskom obradom (modificiranje i prevlačenje površine) itd. Time se mogu postići vrlo raznolike kombinacije čvrstoće, tvrdoće, žilavosti, spojivosti (zavarivanje), otpornosti na koroziju itd., odnosno svojstva čelika mogu se prilagoditi području primjene. U 2019. godini čelik se najviše koristio u području konstrukcija (52%), strojne opreme (16%) i automobilske industrije (12%).<sup>4</sup> Za proizvodnju čelika potrebne su osnovne sirovine i pomoćni materijali. Primarna sirovina za proizvodnju čelika je bijelo sirovo željezo, a sekundarna sirovina je čelični otpad. Također su bitne i ostale sirovine i pomoćni materijali kao npr. ferolegure, talitelji, oksidansi, livni prah, vatrostalni materijali itd.

<sup>1</sup> Shiv Krishna Mandal, *Steel Metallurgy: Properties, Specifications and Applications*, New York, Mc Graw Hill, 2015, str. 1–28; Pavle Pavlović, *Materijal čelik*, SKTH/Kemija u industriji, Zagreb, 1990., str. 5–32; *Steel Manual*, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2002., str. 2–175; Mirko Gojić, *Metalurgija čelika*, Denona, Zagreb, 2005., str. 1–441; Mihael Tolar, *Elektrojeklarstvo*, SIJ-ACRONI d.o.o., Jesenice, 2006., str. 9–263.

<sup>2</sup> <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/> (pristupljeno 20. VIII. 2022.)

<sup>3</sup> Mirko Gojić, *Metalurgija čelika*, Denona, Zagreb, 2005., str. 1–441.

<sup>4</sup> Dijana Knežević, Pregled svjetske proizvodnje čelika u razdoblju od 2000. do 2019. godine (završni rad), Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2021., str. 12–38.

U ovom radu prikazan je pregled proizvodnje sirovoga čelika u Republici Hrvatskoj, uključujući sirovine za njegovu proizvodnju (bijelo sirovo željezo, čelični otpad, te ostale sirovine i pomoćni materijali), u razdoblju od 1954. do 2020. godine. Također su prikazani tehnološki postupci i proizvođači čelika, asortiman proizvoda od čelika, znanstvenoistraživački i stručni rad te visokoškolsko obrazovanje iz metalurgije čelika u Republici Hrvatskoj.

## 2. Osnovne sirovine za proizvodnju čelika

Osnovne su sirovine za proizvodnju čelika su bijelo sirovo željezo i čelični otpad. U tablici 1. navedena je usporedba sastava, oblika, veličine i nasipne gustoće osnovnih sirovina za proizvodnju čelika.

Tablica 1. Usporedba kemijskoga sastava i nasipne gustoće sirovina za proizvodnju čelika.<sup>5</sup>

Sastav i svojstvo	Bijelo sirovo željezo	Čelični otpad
Željezo, mas. %	94 – 95	90 – 94
Ugljik, mas. %	3,5 – 4,5	do 1,0
Kisik, mas. %	0	0,5 – 5,0
Silicij, mas. %	0,6 – 0,8	Razlike ovisno o kvaliteti (vrsti) čeličnoga otpada (najčešće do 0,5)
Mangan, mas. %	1,2 – 2,0	Razlike ovisno o kvaliteti (vrsti) čeličnoga otpada (najčešće do 1,0)
Jalovina, mas. %	0	1,0 – 5,0
Fosfor, mas. %	0,1 – 0,2	Značajne razlike ovisno o vrsti i klasi čeličnoga otpada
Sumpor, mas. %	do 0,05	
Bakar, mas. %	Tragovi	
Nikal, mas. %	Tragovi	
Kobalt, mas. %	Tragovi	

<sup>5</sup> Mirko Gojić, *Metalurgija čelika*, Denona, Zagreb, 2005., str. 1–441.

Kositar, mas. %	Tragovi	
Nasipna gustoća, t/m <sup>3</sup>	3	1 – 2,5

\* Sadržaj od 0,12 mas. % Cu (u selektiranom, odnosno novom čeličnom otpadu) do preko 0,5 mas. % Cu (u paketima skupljenoga čeličnoga otpada), 0,08 – 0,1 mas. % Ni; 0,12 – 0,20 mas. % Cr; 0,02 – 0,2 mas. % Sn; 0,001 – 0,035 mas. % Pb; 0,03 – 0,07 mas. % S; 0,02 – 0,1 mas. % P.

## 2.1. Sirovo željezo

Kao što se iz tablice 1. vidi, sirovo željezo je Fe-slitina s oko 4 mas. % ugljika, a sadržava i nepoželjne primjese (S i P). Za proizvodnju čelika koristilo se bijelo sirovo željezo u kojem je ugljik izlučen u obliku karbida (Fe<sub>3</sub>C), a prijelomna površina skrutnutoga sirovoga željeza bijele je boje. Proizvodnja sirovoga željeza odvijala se u visokim pećima (VP) u Željezari Sisak. Za proizvodnju bijeloga sirovoga željeza korištena je limonitna i hematitna ruda željeza iz Bešlina i Bukovice s Banije do 1967. godine, limonit iz rudnika Ljubija iz Bosne i Hercegovine, uvozna ruda (Indija, Sudan itd.), metalurški koks (iz Lukavca u Bosni i Hercegovini, te iz koksare Bakar od 1978. godine), talitelji (vapnenac, dolomit itd.) itd.

Bijelo sirovo željezo proizvodilo se u staroj visokoj peći (VP 1) koja je puštena u rad 1939. godine u Talionici Caprag.<sup>6</sup> Peć je obnovljena nakon II. svjetskoga rata i u razdoblju 1946–55. proizvodila je bijelo i sivo sirovo željezo. Nakon toga je peć VP 1 ugašena zbog dotrajalosti i neekonomičnosti, te je nakon rekonstrukcije ponovno pokrenuta 1959. godine i radila je sve do 1969. godine, ali za preradu/reciklažu piritnih izgotetina i crvenoga mulja (neotopljeni ostatak kod prerade boksita u aluminij), odnosno proizvodila je specijalna siva sirova željeza.<sup>7</sup> Izgradnja dviju novih visokih peći (VP 2 i VP 3) (volumena po 123 m<sup>3</sup> s poprečnim presjekom gnijezda od 3 m<sup>2</sup>) u Željezari Sisak započela je 22. II. 1948. Peć VP 2 puštena je u pogon 29. XI. 1949., a VP 3 istoga datuma sljedeće godine. Zahvaljujući dvjema rekonstrukcijama (početkom 1960-ih i 1970-ih godina),<sup>8</sup> povećan je volumen svake peći na 202,9 m<sup>3</sup>, čime je proizvodnja sirovoga željeza povećana za 20–25%. Proizvedeno sirovo željezo u VP-u u Željezari Sisak, do izgradnje čeličane u Sisku (1954–55), isporučivalo se ostalim želje-

<sup>6</sup> Mirko Gojić, »Talionica Caprag-ishodište Željezare Sisak«, *Kemija u industriji*, 70, 7–8, 2021., str. 411–418.

<sup>7</sup> Dario Franić, »Željezara Sisak-visoke peći: djelovanje i organizacijski ustroj (1946–1995)«, *Arhivski vjesnik*, 59, 1, 2016., str. 177–206.

<sup>8</sup> Mirko Gojić, »Metalurški kombinat Željezara Sisak«, *Kemija u industriji*, 70, 9–10, 2021., str. 563–580.

zarama u Jugoslaviji (primarno u željezare u Jesenicama i Zenici) ili hrvatskoj metaloprerađivačkoj industriji (Slavonski Brod itd.).

Za povećanje učinkovitosti procesa proizvodnje sirovoga željeza u VP-u u Željezari Sisak rude željeza su se pripremale. Uvozne rude bogate željezom (> 30 mas. % Fe) izravno su se koristile za zasip VP-a, dok su se siromašne (< 30 mas. % Fe) morale obogatiti (oplemeniti) itd.<sup>9</sup> Za okrupnjavanje sitnih frakcija rude željeza korišten je postupak aglomeracije (sinteriranje). Postrojenje aglomeracije za pripremu rude željeza pušteno je u rad 1955. godine. Postupak aglomeracije ili sinteriranja je okrupnjavanje sitnozrnih ruda željeza i koncentrata zagrijavanjem do temperature površinsko-ga taljenja pri kojoj se zrna sljepljuju u čvrste, ali porozne aglomerate, tzv. sinter. Aglomerat se proizvodio na aglomeraciji tipa Greenewalt s četiri pravokutne tave ukupne usisne površine od 32 m<sup>2</sup>.<sup>10</sup> Od tada se proizvodnja sirovoga željeza u VP-u u Željezari Sisak bazirala na osušenoj i klasiranoj limonitnoj rudi željeza i aglomeratu proizvedenom iz mješavine domaće i uvozne Fe-rude. Odnos krupne rude i aglomerata u zasipu VP-a iznosio je 1 : 1. Instalirani godišnji kapacitet VP-a u Željezari Sisak iznosio je 225 kt, a stupanj iskorištenja u razdoblju 1984–88. od 77,8 do 92,5%.<sup>11</sup> Izgradnjom nove aglomeracije 1987. ne samo da je povećana proizvodnja (godišnji kapacitet od 550 kt sintera) nego i kvaliteta sirovoga željeza I. i II. klase na 90%. Sirovine potrebne za proizvodnju aglomerata na novoj aglomeraciji (limonit iz rudnika rude željeza iz Ljubije, uvozna ruda, visokopečna prašina+kovarina, vapnenac, koks i dolomit) dozirane su kroz devet dozirnih bunkera i dopremene sa skladišta (tzv. rudnoga dvora) ili transportnim trakama.<sup>12</sup> Nakon vlaženja i miješanja sirovina se transportirala na traku za aglomeriranje. Aglomeracijska traka sastojala se od dva dijela: područje aglomeriranja (površine 60 m<sup>2</sup>) i područje hlađenja aglomerata (površine 50 m<sup>2</sup>). Prirodni je plin korišten kao gorivo za potpaljivanje aglomeracijske mješavine, a radna temperatura iznosila je 1200–1250 °C. Na kraju aglomeracijske trake proizvodilo se drobljenje, sortiranje i odsijavanje aglomerata u frakcije. Granulacija aglomerata 5–80 mm izravno se transportirala u zasipne bunkere VP-a.<sup>13</sup> U odnosu na staru, nova je aglomeracija bila moderno koncipirana uz maksimalnu zaštitu na radu

<sup>9</sup> Zoran Glavaš, Natalija Dolić, Metalurgija željeza (recenzirani nastavni materijali), Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2014. str. 1–109.

<sup>10</sup> Stjepan Paulin, Damjan Vranešević, Dragutin Tominac, »Konceptija rekonstrukcije i izgradnje aglomeracije „Željezare Sisak“ Sisak«, *Metalurgija*, 27, 4, 1988., str. 145–148.

<sup>11</sup> Petar Milunić, »MK „Željezara Sisak“ – Sisak za pamćenje«, u: *Talionica Caprag-Željezara Sisak 1939.-2018.*, Udruga Kultura vrijednosti, Sisak, 2019., str. 46–58.

<sup>12</sup> Stjepan Paulin, Damjan Vranešević, Dragutin Tominac, »Konceptija rekonstrukcije i izgradnje aglomeracije „Željezare Sisak“ Sisak«, *Metalurgija*, 27, 4, 1988., str. 145–148.

<sup>13</sup> Stjepan Paulin, Damjan Vranešević, Dragutin Tominac, »Konceptija rekonstrukcije i izgradnje aglomeracije „Željezare Sisak“ Sisak«, *Metalurgija*, 27, 4, 1988., str. 145–148.

i zaštitu okoliša primjenom elektrofiltara. Procesom aglomeriranja upravljalo se s jednoga mjesta pomoću PLC automata.

Sirovo željezo dobivalo se redukcijom pripremljenih ruda željeza u VP pomoću metalurškoga koksa (sadržava 85–87 mas. % C), koji je jedino gorivo koje ispunjava sve zahtjeve za proizvodnju sirovoga željeza u visokoj peći: osiguranje topline, redukcija ruda željeza, naugličjenje sirovoga željeza, osiguranje propusnosti plinova kroz zasip visoke peći itd. Odvijanje procesa unutar visoke peći temelji se na protusmjernom principu, pri čemu vrući plinovi struje odozdo prema gore, a zasip (rude željeza, sinter, talitelji, koks) se kontinuirano spušta i pretaljuje.<sup>14</sup>

U VP su se naizmjenično dodavali slojevi koksa, rude željeza, sintera ili aglomerata i talitelja. Pomoću odgovarajućih sapnica raspoređenih po opsegu gnijezda peći upuhivao se zrak koji je predgrijan na ~1200 °C u tzv. kauperima. Za vrijeme proizvodnje sirovoga željeza odvija se niz reakcija, od kojih su najvažnije indirektna i direktna redukcija. Indirektna redukcija (<1000 °C) odvija se pomoću CO i H<sub>2</sub>, dok se direktna redukcija (> 1000 °C) odvija pomoću krutoga ugljika iz koksa, pri čemu nastaje CO. U VP-u dolazi do redukcije Fe, Mn, Si, P i ostalih elemenata (Cr, Ni, Ti, V itd.) koji se nalaze u rudama željeza i sintere te do odsumporavanja sirovoga željeza pomoću CaO i MgO iz talitelja, MnO itd. Iz tablice 2. vidljivo je da je proizvodnja bijeloga sirovoga željeza rasla sve do početka rata i do zaustavljanja VP-a 1991. godine.

**Tablica 2.** Proizvodnja bijeloga sirovoga željeza u VP-u u Željezari Sisak u razdoblju od 1954. do 1991. godine<sup>15</sup>

Godina	1954.	1961.	1968.	1975.	1982.	1989.	1990.	1991.
Proizvodnja bijeloga sirovoga željeza, kt	101,3	129,2	156,0	200,1	187,8	214,0	209,3	68,7

## 2.2. Čelični otpad

Čelični se otpad relativno lako prerađuje u čelik, a važan je za tzv. održivo kružno gospodarstvo jer se u tom slučaju troši znatno manje energije uz blaže onečišćenje u usporedbi s proizvodnjom čelika iz ruda željeza. Primjena čeličnoga otpada pridon-

<sup>14</sup> Zoran Glavaš, Natalija Dolić, Metalurgija željeza (recenzirani nastavni materijali), Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2014. str. 1–109.

<sup>15</sup> Dario Franić, »Željezara Sisak-visoke peći: djelovanje i organizacijski ustroj (1946.-1995.)«, *Arhivski vjesnik*, 59, 1, 2016., str. 177–206; Zlatko Čepo, *Željezara Sisak 1938-1978*, SOUR Metalurški kombinat »Željezara Sisak«, Sisak, 1978., str. 33–311; Zdenko Braičić, »Razvoj metalurgije i njezin utjecaj na urbanu preobrazbu i stambenu izgradnju Siska«, *Geoadria*, 10, 2, 2005, str. 211–228.

si uštedi energije, sirovina (rude željeza, vapnenac itd.) i bitnoga smanjenja otpada iz rudarstva te smanjenja onečišćenja zraka, manje potrošnje i onečišćenja vode itd. Poznato je da je bolje pretaljivati čelični otpad nego ga izvoziti.<sup>16</sup> Čelični otpad obično se dijeli u klase po podrijetlu i po kvaliteti. Po podrijetlu čelični otpad može biti vlastiti (tvornički), procesni (novi) i tzv. amortizirani otpad.<sup>17</sup>

Vlastiti čelični otpad nastaje tijekom izrade čelika: zaostali očvrtnuti metal u loncu ili razdjelniku nakon lijevanja (tzv. čelični medvjedi), čelik koji iscure iz lonca u slučaju procurenja zatvarača na dnu lonca, ostaci uljevnoga sustava kod klasičnoga sifonskoga lijevanja, »škart« ili neupotrebljivi odliveni komadi zbog prevelikih usahlina, šupljina, pukotina ili lokalnih segregacija primjesa, otpad nastao tijekom daljnje prerade čelika (odresci, nepravilni geometrijski oblici, odbačeni gotovi proizvodi nakon završne kontrole) itd. Procesni čelični otpad potječe od strojne obrade tijekom izrade raznih čeličnih proizvoda. Ovaj otpad nastaje pri finalizaciji čeličnih proizvoda u brojnim proizvodnim sektorima: proizvodnja alata, građevinskih konstrukcija, rezervoara, energetske opreme, strojeva, prijevoznih sredstava itd. Brzina nastajanja procesnoga čeličnoga otpada smanjuje se zbog boljšeg iskorištenja čelika i bolje obrade. Njegova količina ovisi o proizvodnji i potrošnji čelika. Amortizirani čelični otpad je najnekvalitetniji, a sastoji se od proizvoda odbačenih nakon uporabe: istrošene konstrukcije, stari brodovi, automobili, kamioni, vagoni, električni uređaji, poljoprivredni strojevi i oprema, željezničke tračnice, konzerve za hranu i piće itd.

Čelični otpad mora biti bez vidljivoga metalnoga bakra, tj. bez čistoga bakra, namotaja elektromotora, Cu-limova i pobakrenih metala, košuljica ležajeva, hladnjaka, žice, mesinganih dijelova itd., jer se bakar ne može ukloniti iz čelika tijekom procesa proizvodnje, a negativno utječe na njegova svojstva i plastičnu preradu. Sve vrste čeličnoga otpada moraju biti bez kositra u bilo kojem obliku (konzerve od bijeloga lima, pokositreni materijali) iz istih razloga kao u slučaju bakra, zatim bez cinka (pocinčani limovi), kao i bez olova (akumulatori, metal za lemljenje, krajevi kablova, valjkasti ležajevi, kućište ležajeva) te bez nemetala (beton, drvo). Nelegirani čelični otpad mora biti bez kroma, nikla i molibdena, tj. bez proizvoda od nehrđajućega čelika, kao i strojnih dijelova koji sadržavaju ove elemente (motori, mjenjači, osovine, zupčanici, alati i matrice itd.). Dostupnost i kvaliteta čeličnoga otpada ovise o stupnju razvijenosti pojedinih država. Čelični se otpad prije ulaganja u agregate za proizvodnju čelika (Siemens-Martinove peći u Željezari Sisak ili elektrolučne peći u željezarama u Sisku i Splitu) morao pripremiti (rezanje, lomljenje, usitnjavanje, prešanje

<sup>16</sup> Josip Krajcar, »Staro željezo kao sirovina za proizvodnju čelika u elektrolučnim pećima«, *Metalurgija*, 32, 3, 1993, str. 97–100.

<sup>17</sup> Mirko Gojić, *Metalurgija čelika*, Denona, Zagreb, 2005., str. 1–441.

itd.). Prije ulaganja treba se kontrolirati, posebno na radioaktivnost.<sup>18</sup> Najjednostavnija je priprema vlastitoga čeličnoga otpada, a najsloženija je priprema amortizirano-ga čeličnoga otpada, pri čemu se moraju odvojiti opasni predmeti. Stanje u pogledu skupljanja i pripreme čeličnoga otpada u Republici Hrvatskoj do 1991. godine nije zadovoljavalo. Postojao je velik broj malih sakupljača koji nisu bili u stanju organizirati suvremenu pripremu čeličnoga otpada. Iako je Republika Hrvatska imala relativno velik fond i razvijenu metaloprerađivačku industriju, nije imala dovoljno čeličnoga otpada. S obzirom na navedeno, čelični se otpad dijelom i uvezio jer se s njim ne trguje samo lokalno nego i na globalnoj razini.

### 2.3. Ostale sirovine i pomoćni materijali za proizvodnju čelika

Ostale sirovine i pomoćni materijali za proizvodnju čelika su: ferolegure, talitelji, oksidansi, livni prah, mazut, vodena para, komprimirani zrak, vatrostalni materijali, itd.<sup>19</sup> Ferolegure (FeMn, FeCr, FeSi, FeMo, FeTi itd.) služe za legiranje čelika, s tim da se pojedine ferolegure (npr. FeSi) koriste i za dezoksidaciju čelika (uklanjanje kisika). Potrebne ferolegure proizvodile su se u Tvornici elektroda i ferolegura (TEF) u Šibeniku i u Tvornici karbida i ferolegura Dalmacija u Dugom Ratu pored Splita ili su se uvezile.<sup>20</sup> Talitelji (vapnenac, vapno, boksit, fluorit) dodaju se kod proizvodnje čelika radi dobivanja reaktivne i fluidne troske sposobne za vezanje i asimilaciju nepoželjnih primjesa, prije svega sumpora i fosfora. Boksit i fluorit povećavaju fluidnost troske i time ubrzavaju proces odsumporavanja i odfosforavanja čelika. Oksidansi (nekada: Fe-ruda, sinter, danas: tehnički kisik itd.) dodaju se radi ubrzanja oksidacije (uklanjanja) ugljika i drugih elemenata u čeliku (P, Mn, Cr itd.). Livni prah (mješavina različitih sitnozrnatih materijala: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO itd.) koristi se i kod klasičnoga i kontinuiranoga lijevanja čelika. Kod kontinuiranoga lijevanja čelika (koje danas prevladava) dodaje se livni prah u kokilu, tj. metalni kalup (preciznije rečeno u bakreni kristalizator koji se nalazi u metalnom kalupu), kako bi se otklonile površinske greške na lijevanim poluproizvodima (uzdužne i poprečne pukotine, grubi površinski i podpovršinski uključci, mjehurići itd.).<sup>21</sup>

<sup>18</sup> Anthony LaMastra, »Advances in Monitoring Scrap Steel for Radioactivity«, *Iron and Steel Engineer*, 76, 5, 1999, str. 91–96.

<sup>19</sup> Mirko Gojić, *Metalurgija čelika*, Denona, Zagreb, 2005., str. 1–441.

<sup>20</sup> Aleksandar Cvijetić, »Proizvodnja i primjena grafitnih elektroda kroz program razvoja crne metalurgije Hrvatske«, *Metalurgija*, 34, 1/2, 1995., str. 53–54.

<sup>21</sup> Josip Krajcar, Barbara Krajcar, Vladimir Ferketić, »Neka pitanja u vezi s kvalitetom kontinuirano lijevanih poluproizvoda«, *Metalurgija*, 14, 2, 1975., str. 13–23; Josip Krajcar, »Livni prah III-Izbor i primjena praha za kontinuirano lijevanje čelika«, *Metalurgija*, 29, 4, 1990., str. 973–102.



U SM (Siemens-Martinovim) pećima mazut se koristio kao gorivo, a komprimirani zrak i/ili vodena para koristili su se za raspršivanje mazuta. Vatrostalni materijali koristili su se za unutarnje oblaganje agregata za proizvodnju sirovoga čelika, lonaca za transport i doradu čelika, razdjelnika (međulonaca) na uređaju za kontinuirano lijevanje čelika, formiranje kanala za tok taline čelika kod klasičnoga lijevanja u metalne kalupe itd. U tu namjenu koristili su se šamotni, aluminosilikatni, magnetitni i drugi vatrostalni materijali.

### 3. Tehnološki postupci proizvodnje čelika u Republici Hrvatskoj do 1991. godine

Republika Hrvatska nikada nije imala, niti danas nema, kapacitete te sirovinske i energetske osnove za proizvodnju čelika postupkom u kisikovim konvertorima koji od 1970. godine dominira u svijetu. Zato se u Republici Hrvatskoj sirovi čelik proizvodio tzv. SM postupkom (Željezara Sisak) i pretaljivanjem čeličnoga otpada u elektrolučnim pećima (ELP-postupak) na izmjeničnu struju (Željezara Sisak i Željezara Split). Proizvodnja čelika SM postupkom temeljila se na taljenju metala u otvorenom ognjištu primjenom predgrijanoga zraka i goriva na temelju regeneracije. SM peći imale su zračnu regeneratorsku komoru, dok se gorivo (generatorski plin, prirodni plin, mazut) dovodio kroz kombinirane gorionike, a dodavao se i kisik (kroz gorionike ili koplja) za intenzifikaciju procesa. SM postupak imao je šire granice u pogledu korištenih sirovina jer je mogao koristiti čelični otpad, tekuće ili kruto sirovo željezo itd. Prijenos topline plamenom bio je primarno zračenjem. Postupak je danas napušten, odnosno ne grade se nove SM peći zbog neekonomičnosti: dugoga vremena izrade taline, velike potrošnje topline i vatrostalnoga materijala te iz ekoloških razloga.

Proizvodnja elektročelika odvijala se u ELP-u na izmjeničnu struju. Zbog trofaznoga sustava električne energije koriste se tri grafitne elektrode (uvode se kroz svod peći) koje su raspoređene na kutovima istostraničnog trokuta. Potrebna se toplina osigurava primarno iz električnoga luka koji se uspostavlja između grafitnih elektroda i čeličnoga otpada, a dodatna se energija osigurava primjenom gorionika  $O_2$ /gorivo (mješavina plinova) i oksidacijom primjesa upuhivanjem kisika. Uloga grafitnih elektroda pri radu ELP-a je osiguravanje kontinuiranoga i jednoličnoga prijenosa električne energije do metalne taline. ELP je cilindričnoga oblika i sastavljen je od podnice, plašta, svoda, izljevnoga otvora, držača elektroda, transformatora (za dobivanje odgovarajućega niskoga napona za stvaranje električnoga lika) itd. Na primarnu stranu transformatora dovodi se električna energija visokoga napona, a na sekundarnoj strani koristi se energija visoke jakosti struje (oko 40 kA) i relativno niskoga napona (200–800 V). Za proizvodnju čelika u ELP-u potrebna je velika snaga (za jednu tonu čelika treba oko 0,4 MWh električne energije). Produktivnost ELP-a znatno se povećava uporabom gorionika  $O_2$ /gorivo, kisikova koplja itd. U strukturi

proizvodnih troškova izrade čelika u ELP-u najveći se udio odnosi na troškove energije i elektroda. Osnovna sirovina je pripremljeni čelični otpad koji se ulaže s dvije ili više košara. Elektročelik je jeftiniji i ekološki prihvatljiviji (niža emisija CO<sub>2</sub>, manje onečišćenje vode itd.).<sup>22</sup>

Nakon proizvodnje čelika u primarnim agregatima (SM i ELP) od 1970-ih godina uvedena je sekundarna metalurgija (obrada čelika u loncu) i kontinuirano lijevanje čelika. Sekundarna metalurgija uključuje sve aktivnosti od izlivanja taline u lonac do kontinuiranoga lijevanja. Time se postiže željeni kemijski sastav, homogenizacija taline, odugljičenje do veoma niskih sadržaja ugljika, odsumporavanje, odfosforavanje, otplinjavanje, dezoksidacija, poboljšanje čistoće čelika, kontrola oblika nemetalnih uključaka (sferoidizacija) itd. Postupci su sekundarne metalurgije brojni (propuhivanje taline argonom, vakuumiranje taline, obrada u lonac-peći itd.). Sekundarnom metalurgijom postiže se bolja kakvoća čeličnih poluproizvoda, bolja prilagođenost u proizvodnom programu i veća usklađenost rada primarnih agregata za proizvodnju čelika i postrojenja za kontinuirano lijevanje, te veća produktivnost čeličane. Od postupaka sekundarne metalurgije, propuhivanje taline argonom koristilo se samo u Željezari Sisak.

Lijevanje čelika u poluproizvode za daljnju plastičnu preradu (valjanje itd.) provodilo se klasično u metalne kalupe iz sivoga lijeva različitih veličina i oblika (nekada) i kontinuirano (danas primarno). Pri kontinuiranom lijevanju talina čelik se iz lonca lijeva u razdjelnik (međulonac), a nakon toga u bakreni kristalizator, pri čemu se dobiva tzv. kontinuirana žila u obliku gredice, bluma, slaba itd. Ovisno o obliku poprečnoga presjeka kristalizatora, dobiveni skrutnuti čelični poluproizvodi nakon lijevanja različitoga su presjeka: kvadratni, pravokutni, okrugli, poligonalni itd. Uvođenjem kontinuiranoga lijevanja izvadak čelika povećan je na oko 90%, uz uštedu energije i vremena, bolju kvalitetu itd. U Željezari Sisak kontinuirano je lijevanje uvedeno 1973. godine, a u Željezari Split odmah od početka rada 1971. godine.

#### **4. Privredna poduzeća za proizvodnju čelika u Republici Hrvatskoj do 1991. godine**

Proizvodnja sirovoga čelika u Republici Hrvatskoj odvijala se u dvije željezare: Željezari Sisak i Željezari Split. Željezara Sisak po je svojoj strukturi spadala u željezare integralnoga tipa jer je sadržavala pogone za proizvodnju koksa, sirovoga željeza, sirovoga čelika te pogone za toplu i hladnu preradu čelika. Željezara Split oduvijek je bila mini željezara jer se u njoj pretaljiavao čelični otpad u čelik koji se prerađivao u pogonima za toplu i hladnu preradu. No po opsegu proizvodnje obje su željezare spadale u male željezare.

<sup>22</sup> Franc Vodopivec, »Steel, the material for the 21st century«, *Metalurgija*, 35, 2, 1996., str. 87–91.

#### 4.1. Željezara Sisak

Željezara Sisak (slika 1.) izrasla je iz maloga predratnoga poduzeća Talionica Caprag u kojoj je 1939. godine započela proizvodnja sirovoga željeza.<sup>23</sup> Željezara Sisak osnovana je 31. X. 1946. godine kao državno privredno poduzeće. Radovi na izgradnji nove Željezare Sisak (prometnice i novi VP-i) započeli su 22. II. 1949. godine, čime je zapravo započeo razvoj teške industrije u Republici Hrvatskoj.

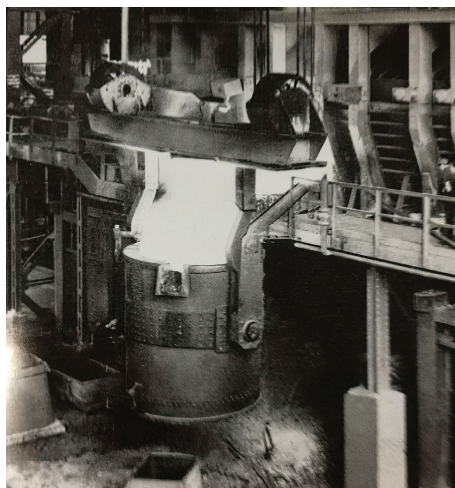


Slika 1. Antipod na ulazu u Željezaru Sisak

Sirovi se čelik u Željezari Sisak proizvodio u SM pećima i elektrolučnoj peći (tablica 3.). Izgradnja SM čeličane u Željezari Sisak započela je 1949. godine. U to je vrijeme SM postupak bio primarni postupak proizvodnje čelika u svijetu (sve do 1970. godine). Prva SM peć puštena je u pogon 29. XI. 1954. godine. U početku su glavni problemi u proizvodnji čelika bili nedovoljno educirani radnici i nedostatak financijskih sredstava, posebno deviznih.<sup>24</sup> Tehnološki se proces sastojao od ulaganja sirovina (bijelo sirovo željezo, čelični otpad itd.), taljenja, rafinacije, izlivanja (slika 2.) itd. U SM pećima Željezare Sisak najčešći odnos sirovoga željeza i čeličnoga otpada obuhvaćao je raspon 60 : 40 – 50 : 50.

<sup>23</sup> Mirko Gojić, »Talionica Caprag-ishodište Željezare Sisak«, *Kemija u industriji*, 70, 7–8, 2021., str. 411–418.

<sup>24</sup> Vlatko Čakširan, *Željezara Sisak-nedovršeni gigant*, Gradski muzej Sisak, Sisak, 2018. str. 30–31.



**Slika 2.** Izlivanje (ispust) čelika u lonac iz Siemens-Martinove peći u Željezari Sisak

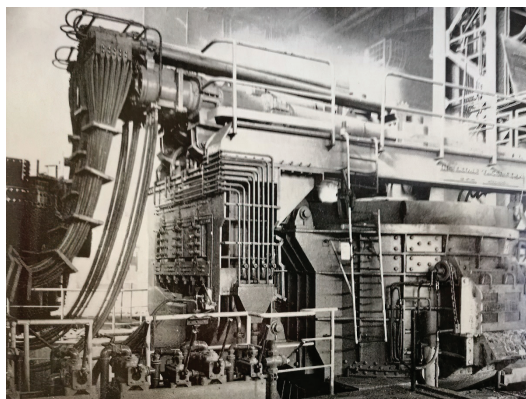
Kao gorivo prvo se koristio generatorski plin, a od 1954. godine prirodni plin. Rastaljeno bijelo sirovo željezo iz VP-a transportiralo se u loncima do čeličane. Kao što se iz tablice 3. vidi, u prvoj godini proizvodnje čelika u Republici Hrvatskoj proizvedeno je 6,8 kt SM čelika. Druga SM peć puštena je u pogon 29. XI. 1955. godine. Prvotni kapaciteti SM peći bili su po 70 t s korisnom površinom kupke od 41 m<sup>2</sup>. Uz SM peći izgrađeni su i ostali potrebni prateći pogoni: kisikana (1952.), energana (1956.) itd. Uključivanjem u proizvodnju čelika i SM peći 2 povećana je proizvodnja čelika na 82,5 kt u 1956. godini.<sup>25</sup> Proizvodnja SM čelika konstantno je rasla, dosegnuvši 1965. godine proizvodnju od 187,7 kt. Kisik za oksidaciju primjesa u SM peć počeo se uvoditi povremeno od 1967., a stalno od 1977. godine kroz gorionike i kroz koplja na svodu peći. Sve je to dovelo do toga da je mjesečna proizvodnja SM čelika, sve do njihova gašenja (1991.) iznosila 20–24 kt. Željezara Sisak proizvodila je više od 80% sirovoga čelika u Republici Hrvatskoj, a udio SM čelika iznosio je oko 85%.

Proizvodnja čelika u ELP-u u Željezari Sisak započela je pokusnim radom 21. II. 1966. godine.<sup>26</sup> Početni kapacitet peći tipa Tagliaferri je bio 25 t uz instaliranu snagu transformatora od 15 MVA (slika 3).

Tehnički godišnji kapacitet ELP-a iznosio je 42 kt čelika. Primarna sirovina za proizvodnju elektročelika bio je pripremljeni čelični otpad, ali se dijelom koristilo i bijelo sirovo željezo u krutom stanju. U ELP-u su se proizvodili kvalitetniji čelici (ple-

<sup>25</sup> Zlatko Čepo, *Željezara Sisak 1938-1978*, SOUR Metalurški kombinat »Željezara Sisak«, Sisak, 1978., str. 33–311.

<sup>26</sup> Ibid.



Slika 3. Elektrolučna peć u Željezari Sisak iz 1966. godine

meniti ugljični, čelici za izradu cijevi za naftnu industriju itd.).<sup>27</sup> U prvoj godini rada u ELP-u proizvedeno je 25,4 kt elektročelika. Intenzifikacijom procesa već je 1977. godine proizvedeno 65,6 kt elektročelika. Kasnije je kapacitet ELP-a povećan na 30 t, s mjesečnom proizvodnjom 4–6 kt. Izrada čelika u ELP-u trajala je oko tri sata.

Tablica 3. Proizvodnja SM i elektročelika u razdoblju od 1954. do 1991. godine u Željezari Sisak<sup>28</sup>

Godina	1954.	1958.	1962.	1966.	1970.	1974.	1977.	1980.	1990.	1991.
SM čelik, kt	6,8	102,0	128,7	171,1	245,3	273,0	286,8	249,7	253,2	94,1
Elektročelik, kt	-	-	-	25,4	49,8	60,1	65,6	69,3	52,4	50,1
Ukupno, kt	6,8	102,0	128,7	196,5	295,1	333,1	352,4	319,0	305,6	144,2

Rekonstrukcijom obiju SM peći (1966.), uvođenjem mazuta te povećanjem iskorištenja prirodnoga plina i kisika povećan je kapacitet svake SM peći sa 70 na po 150 t čelika. Površina podnice svake SM peći iznosila je 56 m<sup>2</sup>. Mazut se raspršivao predgrijanom vodenom parom. Kisik se dodavao kroz gorionike i svodna koplja.<sup>29</sup> Izrada SM čelika je, ovisno o kemijskom sastavu, trajala 6–8 sati. Financijska ulaganja u investiciju ELP-a i rekonstrukciju obiju SM peći dovela su do porasta proizvodnje

<sup>27</sup> Mirko Gojić, *Metalurška proizvodnja u nekadašnjoj Željezari Sisak*, Zbornik 10. Simpozija: Povijest i filozofija tehnike, Zagreb, 23. i 24. II. 2021., KIKLOS-krug knjige d.o.o., str. 295–322.

<sup>28</sup> Zlatko Čepo, *Željezara Sisak 1938-1978*, SOUR Metalurški kombinat »Željezara Sisak«, Sisak, 1978., str. 33–311; Zdenko Braičić, »Razvoj metalurgije i njezin utjecaj na urbanu preobrazbu i stambenu izgradnju Siska«, *Geoatria*, 10, 2, 2005, str. 211–228.

<sup>29</sup> Vladimir Ferketić, Milorad Dragaš, Josip Krajcar, »Ispitivanje načina intenzivne primjene kisika u SM procesu«, *Metalurgija*, 7, 1–2, 1968., str. 15–28.



čelika u Republici Hrvatskoj u 1977. godini na 352,4 kt (286,8 kt SM čelika i 65,6 kt elektročelika) (tablica 3.). Od postupaka sekundarne metalurgije provodilo se propuhivanje taline u loncu inertnim plinom (argon) od 1970-ih godina s ciljem homogenizacije temperature i kemijskoga sastava čelika te smanjenja količine nemetalnih uključaka, odnosno povećanja čistoće čelika.<sup>30</sup> Čelik se ispuštao u lonac, a nakon toga ulijevao isključivo u metalne kalupe različitih formata (do 1973. godine). Uvođenjem postrojenja za kontinuirano lijevanje čelika (1973.) povećan je izvadak (6–7%), a tehnički godišnji kapacitet postrojenja iznosio je oko 450 kt. Kontinuirano lijevanje provodilo se na dvama uređajima s po tri »žile« čiji je radijus zakrivljenosti iznosio 11 m. Godišnji kapacitet SM čeličane bio je 420 kt, a ELP 70 kt. Kontinuirano su se lijevali slabovi (pravokutni presjek 350 × 190 mm i 430 × 190 mm), blumovi (kvadratni 300 × 300 mm, osmerokutni s promjerima 245, 276 i 320 mm itd.) itd. Krajem 1980-ih najviše su se (više od 60%) kontinuirano lijevali slabovi.<sup>31</sup> U razdoblju od 1970. do 1990. godine u Željezari Sisak proizvodilo se prosječno mjesečno 20–24 kt SM i 4–6 kt elektročelika.

Proizvedeni čelik (odliven klasično u ingote i/ili kontinuirano lijevane polu-proizvode) dalje se prerađivao u valjaonicama u Željezari Sisak: Valjaonici bešavnih cijevi (VBC), Valjaonici traka i gredica (VTG), Valjaonici šavnih (VŠC) i preciznih šavnih cijevi (PŠC) te u pogonu za hladnu preradu (hladno vučenje i pilgerovanje cijevi).

#### 4.2. Željezara Split

Nagli porast potrošnje tzv. betonskoga čelika u građevinskom sektoru doveo je do izgradnje Željezare Split u Kaštel Sućurcu (slika 4.). Unatoč otporu za izgradnju željezare od strane Udruženja jugoslavenskih željezara, osnovano je u Splitu poduzeće u izgradnji »Adriasider« 6. III. 1968. godine, a izgradnja željezare u Splitu započela je u travnju 1969. godine. Uz tržišne uvjete, Split je imao i posebno važnu prednost za izvor osnovne sirovine, tj. čeličnoga otpada u postojećem rezalištu.

Pripojenjem investicijske grupe za izgradnju Jadranske željezare tvrtki »Adriasider«, poduzeću u osnivanju za proizvodnju čelika, nastaje Jadranska željezara Split 15. VI. 1970. godine.<sup>32</sup> Montaža opreme za ELP započela je 15. VI. 1970. godi-

<sup>30</sup> Josip Krajcar, Vladimir Ferketić, Barbara Krajcar, »Prvi pokusi ispiranja čelika inertnim plinovima u Željezari Sisak«, *Metalurgija*, 11, 3–4, 1972, str. 15–20; Vladimir Ferketić, Josip Krajcar, »Obrada SM čelika argonom i dušikom u loncu«, *Metalurgija*, 12, 2, 1973, str. 3–13.

<sup>31</sup> Josip Krajcar, Vladimir Ferketić, Dušan Vuković, »Problemi kontinuiranog lijevanja čelika nakon prestrukturiranja i modernizacije pogona u „Željezari Sisak««, *Metalurgija*, 30, 4, 1991., str. 149–153.

<sup>32</sup> Ranko Vilić, »Jadranska željezara«, *Slobodna Dalmacija*, 16. VI. 1970., str. 6.



Slika 4. Željezara Split u Kaštel Sućurcu

ne. Peći i opremu proizvela je švicarska tvrtka »Brown Boweri und C«. Elektrolučna peć kapaciteta 25 t i snage transformatora od 7,5 kVA puštena je u probni rad 8. I. 1971. godine u 22,14 sati.<sup>33</sup> Uloženo je 25 t pripremljenoga čeličnoga otpada, a prva je talina odlivena u zoru 9. I. 1971. godine. Probni je rad trajao 2–3 mjeseca. Tehnološki proces proizvodnje čelika bio je sličan onom u ELP-u Željezare Sisak (poglavlje 4.1.), s tom razlikom da je u Splitu kao uložak primarno korišten amortizirani čelični otpad te da je lijevanje čelika bilo 100% kontinuiranim postupkom. Postrojenje za kontinuirano lijevanje gredica (100 × 100 mm) s dvije »žile« s radijusom zakrivljenosti od 4 m pušteno je u rad 28. I. 1971. godine.<sup>34</sup> To je bilo prvo instalirano postrojenje za kontinuirano lijevanje čelika u Jugoslaviji. Proizvođač postrojenja bila je švicarsko-talijanska tvrtka »Concast-Innocenti«. Kapacitet ELP-a iznosio je 60 kt sirovoga čelika, a kapacitet lijevanih čeličnih gredica 57 kt. Dobiveni čelični poluproizvodi bile su gredice koje su automatske škarice sjekle na određenu duljinu za Valjaonicu žice koja je instalirana u rujnu 1971. godine. Valjaonicu je proizvela talijanska tvrtka »Pomini-Farrell« i bila je prva u Jugoslaviji s valjačkim stanovima za valjanje prednapregnute žice. Time se dobivala, u to vrijeme, deficitarna žica za tzv. bi-čelik, vijke, čavle, građevinske mreže, rebrasti betonski čelik itd. Bi-čelična armatura je specijalno oblikovana armatura od hladno vučenih žica, a sastoji se od dviju uzdužnih žica spojenih zavarivanjem prečkama čije su osi u istoj ravnini.

<sup>33</sup> Ranko Vilić, »Prvi kilogrami jadranskog čelika«, *Slobodna Dalmacija*, 11. I. 1971., str. 6.

<sup>34</sup> Vinko Šimunović, »Jadranska željezara-novi član Udruženja jugoslavenskih željezara«, *Čelik*, 60, 12, 1976., str. 25–29.

Do kraja 1971. godine u Splitu je proizvedeno 34 kt čeličnih gredica, a kasnije je proizvodnja povećana na oko 48 kt godišnje.<sup>35</sup> Izgradnjom drugoga ELP-a, kapaciteta 25 t,<sup>36</sup> i novoga postrojenja za kontinuirano lijevanje, proizvodnja čelika povećana je na 55–67 kt čelika u razdoblju od 1981. do 1984. godine (slika 5.). Od 1986. godine Jadranska željezara Split preimenovana je u Željezaru Split. Krajem 1980-ih godina tehnički kapacitet proizvodnje elektročelika u Splitu povećan je na 120 kt za kontinuirano lijevanje gredica 100 × 100 × 2000–6000 mm. Prosječna mjesečna proizvodnja elektročelika u Željezari Split iznosila je oko 9 kt.



Slika 5. Izlijevanje čelika u livni lonac iz elektrolučne peći u Željezari Split 1980-ih godina

Topla valjaonica godišnjega kapaciteta 80 kt proizvodila je glatki i orebreni betonski čelik u kolutima i šipkama, dok je hladna valjaonica (godišnji kapacitet 30 kt) proizvodila zavarene armaturne mreže, vilice, zaštitne ograde itd.

<sup>35</sup> Vinko Šimunović, »Jadranska željezara-novi član Udruženja jugoslavenskih željezara«, *Čelik*, 60, 12, 1976., str. 25–29.

<sup>36</sup> Mirko Gojić, *Stanje i trend proizvodnje čelika u svijetu i Republici Hrvatskoj*, Knjiga zbornika radova s multidisciplinarnog savjetovanja: *Materijali i tehnološki razvoj održanog* u Zagrebu 15. svibnja 2002., urednik prof. dr. sc. Tomislav Filetin, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 2002., str. 53–67.



## 5. Proizvodnja i potrošnja čelika u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1992. do 2020. godine

Početak 1990-ih mijenja se, odnosno poremećen je rad metalurške industrije, uključujući i proizvodnju čelika, zbog ratnih okolnosti, otežanoga uvoza sirovina, gubitka tržišta itd. Tijekom 1991. godine u Željezari Sisak obustavljena je proizvodnja sirovoga željeza u VP-ima, kao i proizvodnja čelika u SM pećima. Proizvodnja čelika nastavljena je u ELP-u u Sisku i u Splitu, ali u bitno smanjenom opsegu (tablica 4.). Pad proizvodnje čelika bio je veći za više od 10 puta, s 485 kt t u 1989. godini na 46 kt u 1996. godini. Prestankom proizvodnje sirovoga željeza u VP-u i čelika u SM pećima, Željezara Sisak postaje konceptualno mini željezara s proizvodnjom od samo 21,95 kt sirovoga čelika u 1995. godini.<sup>37</sup> U svijetu je npr. 1992. godine od ukupno proizvedenoga čelika (722,7 Mt) u mini željezarama proizvedeno 30% čelika.<sup>38</sup>

Proces sanacije Željezare Sisak od strane Vlade Republike Hrvatske u razdoblju 1996–2001. osnivanjem novoga poduzeća Valjaonica cijevi Sisak d.o.o. (VCS) organizacijom proizvodnje kroz tri poslovna centra: Bešavni centar (čeličana+valjaonica bešavnih cijevi), šavni centar i hladna prerada nije uspio. Dolazi do štrajkova, obustavlja se proizvodnja te VCS d.o.o. 2001. godine odlazi u stečaj. Ubrzo se pristupa privatizaciji i traženju strateških stranih partnera, pri čemu su obje željezare prošle kroz tri neuspješne privatizacije. Vlasnici Željezare Sisak bili su: austrijsko-ruski konzorcij Turbo impex (2001–02), ruska Mechel Steel grupa koja je poslovala kao Mechel Sisak d.o.o. (2003–04) i američka tvrtka Commercial Metals Company (CMC), koja je poslovala kao CMC Sisak d.o.o. (2008–12). Činjenica je da je CMC Sisak d.o.o. 2010. godine investirao značajna sredstva u novi ELP (povećanje kapaciteta na 60 t), lonac-peć i rekonstrukciju postrojenja za kontinuirano lijevanje čelika u okrugle presjke, ali je kvaliteta kontinuirano lijevanih okruglica bio nezadovoljavajuća.<sup>39</sup>

Proizvodnja elektročelika u Splitu je modernizirana (2002/03) i ELP je imao kapacitet od 26 t čelika. Uveden je sekundarno metalurški postupak lonac-peć istoga kapaciteta. Time je tehnički godišnji kapacitet proizvodnje čelika u Splitu povećan na 190 kt. Kontinuirano lijevanje provodilo se na dvožilnom postrojenju, pri čemu su se lijevale gredice 100 × 100 × 2000–6000 mm i 125 × 125 × 2000–6000 mm za toplo valjanje niskougličnih, srednjougličnih i niskolegiranih betonskih čelika. Kapacitet Valjaonice za toplo valjanje gredica iznosio je 170 kt glatkoga i orebrenoga betonskoga čelika, a kapacitet Valjaonice za hladnu preradu (valjanje i vučenje) iznosio je

<sup>37</sup> Marijan Malina, »Tranzicija u Željezari Sisak«, *Metalurgija*, 42, 1, 2003., str. 69–73.

<sup>38</sup> Josip Črnko, Mijo Kundak, »Proizvodnja čelika danas i u budućnosti«, *Metalurgija*, 38, 2, 1999., str. 97–102.

<sup>39</sup> Nikola Devčić, »Uspomene na rad u Željezari Sisak«, u: *Talionica Caprag-Željezara Sisak 1939-2018*, Udruga Kultura vrijednosti, Sisak, 2019., str. 59–65.

30 kt. Vlasnici neuspješnih privatizacija Željezare Split bili su: poljski Zlomrex (2007–09), domaća C.I.O.S. grupa kada je Željezara Split poslovala kao Adria čelik d.o.o. (2011–12), te njemačka tvrtka Techcom GmbH (2012–15). U Republici Hrvatskoj u nekim godinama (2012., 2016., 2017.) i nije bilo proizvodnje čelika kao posljedica navedene tranzicije, štrajkova, investiranja ABS Sisak d.o.o. u čeličanu u Sisku itd. Nakon brojnih problema Željezara Split 2018. godine »odlazi« u stečaj.

**Tablica 4.** Proizvodnja čelika u razdoblju od 1992. do 2020. godine u Republici Hrvatskoj<sup>40</sup>

Godina	1992.	1997.	2002.	2007.	2012.	2017.	2018.	2019.	2020.
Proizvodnja, kt	102	69	34	75	1	0	136	69	45

Poznato je da je jedan od parametara industrijalizacije države proizvodnja čelika i/ili potrošnja finalnih čeličnih proizvoda »po glavi stanovnika«. U Republici Hrvatskoj je u razdoblju 2010–19. potrošnja gotovih čeličnih proizvoda u rasponu 125–192 kg po stanovniku, što je ispod prosječne potrošnje u državama članicama EU (277–329 kg). Potrošnja čeličnih proizvoda u Republici Hrvatskoj u 2019. godini (192 kg/stanovniku) daleko je niža nego u Austriji (444 kg), Njemačkoj (419 kg), Italiji (413 kg), a posebno je niža od tzv. novih članica EU-a: Češke (674 kg), Slovenije (602 kg), Slovačke (450 kg) itd.<sup>41</sup>

Republika Hrvatska jedna je od rijetkih država u svijetu koja se »odrekla« ili »digla ruke« od vlastite proizvodnje čelika. Budući da je tzv. treći vlasnik u privatizaciji bivše Željezare Sisak američki CMC Sisak d.o.o. (2008–12) pretalio i/ili odveo preradačke kapacitete, nažalost u Sisku nije više moguća prerada čelika, osim prerade čeličnih cijevi u hladnom stanju u tzv. Novoj hladnoj preradi koja je od 2012. godine bila u vlasništvu njemačke tvrtke, a poslovala je kao Rohrwerke Max Hütte Sisak d.o.o. Predratna godišnja potrošnja čeličnih proizvoda u Republici Hrvatskoj bila je oko 600–700 kt. Podaci o potrošnji čeličnih proizvoda u razdoblju od 1992. do 2019. godine (tablica 5.) upućuju na to da u Republici Hrvatskoj postoji potreba za vlastitom proizvodnjom i preradom čelika, dosegnuvši 2007. i 2008. godine potrošnju više od 1 Mt gotovih čeličnih proizvoda. Doduše, relativno visoka potrošnja čeličnih proizvoda u Republici Hrvatskoj bazirana je na uvozu i posljedica je nezadovoljavajuće ponude asortimanske strukture proizvoda. Primjerice, proizvodnja limova za brodogradnju nije niti postojala, iako je za takvom proizvodnjom svojevremeno postojao interes u Splitu (1960-ih godina). U razvojnim dugoročnim projekti-

<sup>40</sup> <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/> (pristupljeno 20. VIII. 2022.)

<sup>41</sup> Ibid.

ma planirala se izgradnja integralne željezare s koksarom, uključujući i valjaonicu limova širine 4 m za brodogradnju kapaciteta u prvoj fazi od 500 kt godišnje. Čak su izrađene i stručne ekspertize projektnih biroa iz stranih tvrtki (Jawata iz Japana, Vitkovice iz Čehoslovačke, Vöest iz Austrije i Italsider iz Italije).<sup>42</sup>

Tablica 5. Potrošnja čelika u razdoblju od 1992. do 2019. godine u Republici Hrvatskoj<sup>43</sup>

Godina	1992.	1997.	2002.	2007.	2012.	2017.	2018.	2019.
Potrošnja, kt	266	219	667	1030	624	758	715	793

## 6. Asortiman čeličnih proizvoda u Republici Hrvatskoj

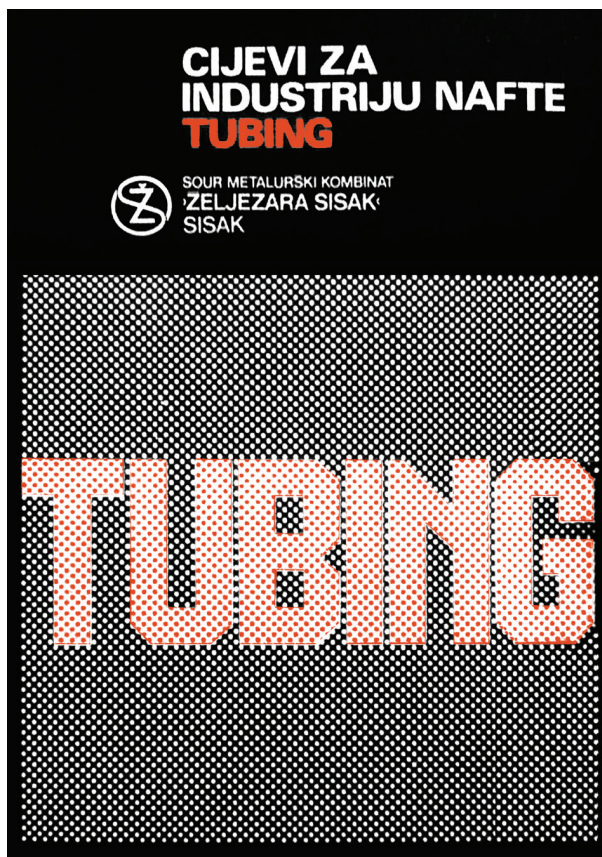
Proizvodni program Željezare Sisak primarno je bio usmjeren na proizvodnju cijevi (bešavnih i šavnih). Za proizvodnju bešavnih cijevi koristili su se klasično odliveni ingoti (posebno za cijevi većih promjera), kontinuirano lijevani blumovi (kvadratni, osmerokutni itd.) te kontinuirano lijevane uvozne okruglice (promjera 120–420 mm). Željezara Sisak bila je jedini proizvođač bešavnih cijevi u Jugoslaviji. Kapacitet proizvodnje bešavnih cijevi (vanjskoga promjera 21,3–355,6 mm) iznosio je 150 kt. Prva bešavna cijev (vanjskoga promjera 69 mm) proizvedena je 1952. godine na tzv. lakoj pruzi VBC-a. U to vrijeme u Sisku se nije proizvodio čelik tako da je valjaonička proizvodnja cijevi započela iz čeličnih gredica nabavljenih iz Željezare Jesenice. Posebno su bili zastupljeni čelici za naftnu industriju (eksploatacija i transport nafte i prirodnoga plina) za izradu sprovodnih (kvalitete čelika: GrA, GrB, X-42 itd.), zaštitnih i crpnih cijevi (kvalitete čelika: J-55, K-55, N-80) u skladu s API (engl. American Petroleum Institute) nomogramom koji je dobiven 1957. godine (slika 6.). Osim toga radile su se plinske, konstrukcijske, kotlovske bešavne cijevi itd.

Za proizvodnju šavnih cijevi koristili su se klasično odliveni ingoti, a uvođenjem kontinuiranoga lijevanja (1973) počeli su se koristiti odliveni slabovi koji su se prvo valjali u gredice. Dobivene gredice su se valjale u predtraku koja se dalje valjala u toplovaljanu traku, tj. uložak za proizvodnju šavnih cijevi.<sup>44</sup> Prva šavna cijev u Željezari Sisak proizvedena je 1963. godine u VŠC-u postupkom elektrootpornoga zavarivanja, a kasnije (od sredine 1971. godine) uveden je postupak visokofrekventnoga indukcijskoga zavarivanja.

<sup>42</sup> Ante Bonačić-Mandinić, Ante Jerković, *Poduzeće »Jadranska željezara«*, Institut za pomorsku, turističku i obalnu privredu, knjiga 5, Split, 1972., str. 3–67.

<sup>43</sup> <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/> (pristupljeno 20. VIII. 2022.)

<sup>44</sup> Rade Križanić, »Izrada toplovaljane trake«, *Metalurgija*, 14, 2, 1975., str. 23–38.

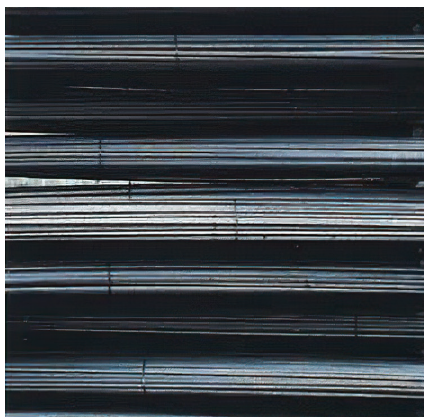


Slika 6. Reklamna brošura za crpne cijevi za naftnu industriju Željezare Sisak

Kapacitet proizvodnje šavnih cijevi (vanjskoga promjera 17,1–88,9 mm) iznosio je 220 kt. Ovisno o namjeni, neke bešavne i šavne cijevi isporučivale su se nakon toploga cinčanja. Šavne su cijevi bile namijenjene za plinske i vodovodne instalacije, konstrukcije itd. Također su se proizvodile precizne šavne cijevi kao i profilne (kvadratne, pravokutne, elipsaste itd.), hladno pilgerovane, hladno vučene cijevi itd. Željezara Sisak je iz bešavnih cijevi proizvodila i plinske boce za tehničke plinove (18–50 l) u razdoblju 1962–70., a njihova kasnija proizvodnja preseljena je u tvrtku »Đuro Đaković« u Slavonski Brod. Proizvodnja kolčaka (cijevnih spojnika) uvedena je 1970. godine. Cijevni lukovi (promjera 25–219 mm) proizvodili su se od 1963. do 1979. godine, kada je njihova proizvodnja preseljena u dislocirani pogon Željezare Sisak, u Novsku. Željezara Sisak bila je velikim dijelom izvozno orijentirana. Prvi izvoz bešavnih cijevi (859 t) ostvaren je u Brazil 1954. godine. S vremenom je izvoz rastao tako da je 1958. godine izvezeno 40% godišnje proizvodnje. U 1988. godini Željezara Sisak je 1/3 proizvoda izvezla na međunarodno tržište u više od 30 zemalja (zapadna i istočna Euro-

pa, prekoceanske zemlje), a 2/3 proizvoda trošilo se na tržištu Hrvatske (41,5%), Srbije (36%) i Slovenije (17,3%).<sup>45</sup> Godine 1990. proizvedeno je 253 kt cijevi (143,2 kt šavnih i 109,8 kt bešavnih). Zbog ratnih događanja i gubitka tržišta Željezara Sisak se 1990-ih godina usmjerava isključivo na izvoz.<sup>46</sup> U 1991. godini smanjena je proizvodnja šavnih cijevi na 56,8 kt (-60,3%), a bešavnih na 44,8 kt (-59,2%). Taj se pad dalje nastavio, tako da je 1995. godine proizvedeno 56 kt šavnih i 15 kt bešavnih cijevi.<sup>47</sup>

U razdoblju 1971–2002. u Željezari Split kontinuirano su se lijevale gredice 100 × 100 mm iz niskougličnih i niskolegiranih čelika za preradu u betonski čelik. U toploj valjaonici Željezare Split (kapaciteta 80 kt) proizvodili su se glatki i orebreni čelični proizvodi za građevinarstvo u kolutima i šipkama. Glatki čelični proizvodi bili su promjera 6–16 mm u kolutima i šipke promjera 12–25 mm u duljini 25 m. Orebreni čelični proizvodi (slika 7.) imali su promjer 8 i 10 mm i isporučivali su se u kolutima, dok su šipke imale promjer 12–25 mm i duljinu 12 m. Hladna valjaonica (kapaciteta 30 kt) proizvodila je zavarene armaturne mreže (uzdužno i obostrano nosive mreže, te mreže za zidove), ravne i glatke orebrene šipke, vilice (za stupove, nosače, nadvoje, serklaže itd.), zaštitne ograde i vrata, fine ogradne mreže za peradarstvo, mreže za poljoprivredu (uzgoj cvijeća i povrća), bi-čelik za armature u građevinarstvu (minimalne čvrstoće 800 MPa i minimalnoga istezanja pri lomu 5–10%) itd. Bi-armatura se koristi za elemente i konstrukcije opterećene primarno na savijanje, ali i za složena naprezanja. Velika im je primjena u pločama, stijenama, nosačima, okvirnim konstrukcijama, tj. svuda gdje se inače koristi armirani beton.



**Slika 7.** Orebreni betonski čelik iz Željezare Split

<sup>45</sup> Mirko Gojić, *Metalurška proizvodnja u nekadašnjoj Željezari Sisak*, Zbornik 10. Simpozija: *Povijest i filozofija tehnike*, Zagreb, 23. i 24. II. 2021., KIKLOS-krug knjige d.o.o., str. 295–322.

<sup>46</sup> Zdenko Braičić, »Razvoj metalurgije i njezin utjecaj na urbanu preobrazbu i stambenu izgradnju Siska«, *Geoadria*, 10, 2, 2005, str. 211–228.

<sup>47</sup> Marijan Malina, »Tranzicija u Željezari Sisak«, *Metalurgija*, 42, 1, 2003., str. 69–73.



U razdoblju 1971–91. Željezara Split svoje je proizvode plasirala primarno na domaće tržište. Nakon 1991. godine čelični proizvodi Željezare Split počeli su se izvoziti u Italiju i Tursku, a najviše u države sjeverne Afrike: Alžir, Egipat itd. Nakon rekonstrukcije Željezare Split 2002/03., kreditnim sredstvima države, izgrađen je nov 26-t ELP (vrijeme taljenja oko 60 minuta), uvedena je dorada čelika u lonac-peći (kapacitet 26 t, snaga transformatora 15/12,5 MW), proširen je proizvodni program lijevanih poluproizvoda i povećani su proizvodni kapaciteti postrojenja.<sup>48</sup> Osim gredica 100 × 100 mm kontinuirano su se lijevale i grede 125 × 125 mm iz niskougličnih, srednjougličnih i niskolegiranih čelika za toplu i hladnu preradu s proizvodnim asortimanom sličnom predratnom. Stara valjaonica je rekonstruirana instaliranjem nove kontinuirane potisne peći kapaciteta 30 t/h, ugrađen je i dio novih valjačkih stanova, izgrađeno je postrojenje za toplinsku obradu rebrastoga betonskog čelika itd. Godišnji kapacitet valjaonica povećan je na gotovo 200 kt, od čega se 30 kt odnosilo na hladnu valjaonicu. Žalosna je činjenica da se niti jedan kg betonskog čelika iz Željezare Split nije ugradio pri gradnji naših autocesta tijekom 2000-ih jer se u to vrijeme favorizirao uvoz.

Željezara Split dijelom je prodavala čelične grede Valjaonici čelika Kumrovec koja je od 1973. godine proizvodila građevinske profile (okrugli, kutni, kvadratni itd.) u toploj valjaonici i na postrojenjima za hladnu preradu. Godišnji kapacitet valjaonice iznosio je 40 kt, a dio čeličnih gredica nabavljan je iz uvoza. Od 2000. godine vlasnik Valjaonice postaje talijanska grupa Alba koja je poslovala do 2007. godine. Tvrtka Armko Konjščina od 1963. godine proizvodila je valjanu i vučenu žicu te armaturnu mrežu za građevinarstvo iz žica koje je nabavljala iz uvoza. U razdoblju od 1992. do 2002. godine investirano je u tehnološku obnovu i modernizaciju proizvodnje armaturnih mreža, pri čemu je godišnji kapacitet povećan s 13 na 42 kt. Važno je napomenuti da su proizvodi iz Armko Konjščina ugrađeni u sve tunele i gradilišta naših autocesta. Zbog pogrešnih procjena i loših ulaganja, te u konačnici problema u poslovanju, tvrtka je odvedena u stečaj 2013. i ugašena 2017. godine. Valjaonica šavnih cijevi Potpićan (kasnije Histria tube d.d. za proizvodnju čeličnih cijevi i pribora) osnovana je 1977. godine pod prvotnim nazivom Tvornica tankostijenih cijevi u okviru tvrtke Labinprogres,<sup>49</sup> a proizvodila je hladnooblikovane šavne cijevi. Za svoju proizvodnju kao uložak nabavljan je i dio cijevi iz Željezare Sisak. Godišnji kapacitet valjaonice iznosio je 12 kt šavnih i pocinčanih cijevi različitih presjeka (okrugli, kvadrati, pravokutni itd.) vanjskoga promjera 12–101,6 mm. Valjaonica je prvo odvedena u stečaj 2018., a potom i ugašena.

<sup>48</sup> Vitomir Živković, »Reconstructure of Reinforcing Steel Bars Mill in Željezara Split«, *Metalurgija*, 43, 3, 2004., str. 227–238; Isti, »Results of Reconstruction of Steel Works in Željezara Split«, *Metalurgija*, 45, 3, 2006., str. 227–239.

<sup>49</sup> Vedran Kos, »Potpićan«, u: *Istarska enciklopedija*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2005.

Struktura valjanih proizvoda u Republici Hrvatskoj nije odgovarala strukturi realne potrošnje (koja je oduvijek bila veća od proizvodnje) zbog naglašene potrebe za plosnatim proizvodima, posebno limovima za brodogradnju, koji su se uglavnom uvozili.

## 7. Današnja proizvodnja čelika u Republici Hrvatskoj

Danas je proizvodnja čelika u Republici Hrvatskoj svedena na proizvodnju elektročelika u nekadašnjoj Željezari Sisak, ali u moderniziranim i dijelom novim postrojenjima u vlasništvu talijanske tvrtke Danieli (od 31. V. 2012. godine). Čeličana posluje pod nazivom ABS Sisak d.o.o., uloživši znatna sredstva u modernizaciju proizvodnje čelika, posebno u sekundarnu metalurgiju (izgradnja postrojenja za otplinjavanje čelika u vakuumu) i kontinuirano lijevanje (lijevanje na tri »žile«). Čelični se otpad nabavlja od malih sakupljača, ali se i kupuje s domaćega i stranoga tržišta. Ulaganje čeličnoga otpada u ELP je najčešće s tri uložne košare. Masa čeličnoga otpada određena je na osnovi tzv. toploga ostatka od izrade prethodne taline. Uložak se sastoji od pripremljenoga čeličnoga otpada, briketa toplo reduciranoga željeza (produkt direktne redukcije), ugljičnih blumova (škart, tehnološki otpad), strugotine sirovoga čelika, vlastitoga otpada (npr. tzv. čelični medvjedi), koksa, vapna za formiranje troske itd.<sup>50</sup> Taljenje se odvija u moderniziranom ELP-u na izmjeničnu struju kapaciteta 75 t (slika 8.) energijom električnoga luka između elektroda i čeličnoga otpada, ali se u cilju intenzifikacije procesa koristi i tzv. kemijski paket koji se sastoji od gorionika radi osiguravanja dodatne topline, a upuhuju se kisik, ugljik, prirodni plin i MgO u prahu.



Slika 8. Ulaganje pripremljenoga čeličnoga otpada u elektrolučnu peć (ELP) u ABS-u Sisak, d.o.o., 2021.

<sup>50</sup> Mato Dundjer, Industrijska proizvodnja čelika u ABS Sisak, d.o.o. (završni rad), Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2022., str. 25–50.

Osim što gorionici pridonose taljenju uloška, ujedno pomažu stvaranju troske u peći. Nakon taljenja uzima se uzorak za analizu kemijskoga sastava pomoću automatske robotske ruke, pri čemu se odmah provodi brza analiza sadržaja kisika i ugljika te mjeri temperatura taline. Pretaljivanje uloška u ELP traje, ovisno o vrsti čelika, između 60 i 70 minuta. Nakon toga se talina ispušta u lonac (ispust taline traje 2–4 minute), pri čemu se provodi dezoksidacija s aluminijem i ferosilicijem (FeSi), predlegiranje čelika manganom (dodatak silikomangana – FeSiMn), te se još dodaje sintetska troska i po potrebi sredstvo za naugličjenje na bazi petrol koksa (trgovački naziv: karburit). Prilikom ispusta taline u lonac cijelo se vrijeme talina propuhuje argonom kroz porozni kamen ugrađen u dno lonca. Nakon toga se lonac odvozi na postrojenje za sekundarnu metalurgiju (lonac-peć, slika 9), gdje se provodi propuhivanje argonom, mjerenje temperature, uzimanje uzoraka za određivanje kemijskoga sastava čelika, odsumporavanje, legiranje, naugličjenje, dezoksidacija i dogrijavanje pomoću elektroda (princip kao na ELP).



Slika 9. Obrada taline čelika u lonac-peći, ABS Sisak d.o.o., 2021.

Obrada taline u lonac-peći traje 60-ak minuta. Nakon postizanja ciljanoga kemijskog sastava i temperature talina se otprema na postrojenja za vakuumsko otplinjavanje (VD postupak, engl. *Vacuum Degassing*) radi smanjenja sadržaja vodika (ispod 2 ppm). Vakuumsko otplinjavanje u pravilu traje 50–60 minuta. Nakon toga slijedi



kontinuirano lijevanje (slika 10.), koje traje oko 50 minuta. Moguće je provesti i tzv. sekventno lijevanje (sljedeća se talina lijeva odmah nakon prethodne bez prekida lijevanja). Dobiveni čelični poluproizvodi su: okruglice promjera 210–410 mm te gredice 160 × 160 i 170 × 170 mm. Nakon kontinuiranoga lijevanja slijedi plinsko rezanje poluproizvoda (najčešća duljina 12 m) i njihova vizualna kontrola. Osim toga, kontrolira se geometrija, duljina, ravnoća, tvrdoća i radioaktivnost odlivenih poluproizvoda. Također se uzima uzorak za makroskopsku analizu na pukotine, poroznost, centralne segregacije itd. Za razliku od nekad, danas se gotovo ništa ne radi ručno, a vođenje i praćenje procesa proizvodnje čelika provodi se pomoću računala. U 2020. godini proizvedeno je oko 45 kt čelika (ugljični i legirani čelici). Nažalost, to je 10-ak puta manje nego 1989. godine. Čelični poluproizvodi (90%) dobiveni u ABS-u Sisak d.o.o. otpremaju se u valjaonicu u Udinama za proizvodnju žice. U razdoblju od 1954. do 2020. u Republici Hrvatsko ukupno je proizvedeno oko 9,34 Mt sirovoga čelika, dok je proizvodnja čelika za razdoblje od 1992. do 2020. godine iznosila 2,1 Mt elektročelika.<sup>51</sup>



**Slika 10.** Postrojenje za kontinuirano lijevanje čelika u ABS Sisak, d.o.o., 2021.

Trenutačno (kolovoz 2022.) u čeličani ABS Sisak d.o.o. radi se na modernizaciji, tj. zamjeni postojeće ELP peći novom istoga kapaciteta (75 t), ali s dva reda vodom

<sup>51</sup> <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/> (pristupljeno 20. VIII. 2022.)

hladenih panela, čime se smanjuje potrošnja vatrostalnoga materijala u peći. Također se mijenja i svod na lonac-peći te se modernizira postrojenje za kontinuirano lijevanje u zoni sekundarnoga hlađenja itd. U medijskim napisima najavljuje se da će ABS Sisak d.o.o. ne samo modernizirati i povećati proizvodnju čelika nego će investirati i u valjaoničke kapacitete za preradu čelika u Sisku.<sup>52</sup>

## 8. Znanstvenoistraživački rad i nastavna aktivnost iz metalurgije čelika

Znanstvenoistraživački i stručni rad iz metalurgije čelika u Željezari Sisak provodili su profesori Pavle Pavlović (1919–2001), Josip Krajcar (1927–2020) i Mijo Kundak (1939–2009), mr. sc. Vladimir Ferketić, viši predavač, i drugi s Instituta za metalurgiju (1961–78), Metalurškoga odjela (1960–74), odnosno Metalurškoga inženjerstva Tehnološkoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (1974–78) te od 1979. do danas Metalurškoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Fond za znanstvenoistraživački rad Željezare Sisak financirao je znanstvene projekte, teme i zadatke. U okviru projekta *Čelik i ljevarstvo* financirali su se brojni jednogodišnji zadaci, na niz tema (*Područje proizvodnje čelika, Unapređenje kvalitete čelika, Metalurgija lonca, Kontinuirano lijevanje čelika*). Istraživanja su se odnosila na metalurške procese proizvodnje čelika s termodinamičkoga stajališta (prof. P. Pavlović).<sup>53</sup> Istraživanja vezana uz rafinaciju i intenzifikaciju (primjena kisika) SM postupka provodili su prof. J. Krajcar i prof. M. Kundak.<sup>54</sup> U razdoblju od 1980. do 1989. godine u okviru Radne grupe za znanstveno-tehničku suradnju metalurških institucija Jugoslavije i Europske ekonomske zajednice (EEZ) istraživalo se na projektu *Lijevanje i skrućivanje čelika*. Pri tome su se podnosili polugodišnji (fazni) i završni izvještaji na sastancima u Bruxellesu, Sisku, Rimu, Düsseldorfu, Zenici, Smederevu, Sheffieldu i Ljubljani. Znanstvena i stručna istraživanja vezana za sekundarnu metalurgiju (propuhivanje taline argonom, modifikacija nemetalnih uključaka itd.), klasično i kontinuirano lijevanje čelika provodili su prof. J. Krajcar, mr. sc. V. Ferketić i dr.,<sup>55</sup> a preglede proizvodnje

<sup>52</sup> Mario Pušić, Mega investicija u Hrvatskoj: Talijani pokrenuli projekt koji bi trebao oživjeti sisački kraj! (<https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/mega-investicija-u-hrvatskoj-talijani-pokrenuli-projekt-koji-bi-trebao-ozivjeti-sisacki-kraj-15191851>; objavljeno 2. V. 2022., pristupljeno 28. VIII. 2022.)

<sup>53</sup> Pavle Pavlović, »Metalurški procesi razmatrani sa stanovišta termodinamike (II dio)«, *Metalurgija*, 4, 1965., 3–4, str. 28–47.

<sup>54</sup> Josip Krajcar, »Primjena kisika u SM pećima, opći pregled i rezultati u MK „Željezara Sisak“«, *Metalurgija*, 22, 1983, 1–2, str. 25–32; Mijo Kundak, »Utjecaj vremena ulaganja i progrijavanja krutog uloška na ukupno trajanje procesa kod proizvodnje čelika u SM pećima«, *Metalurgija*, 25, 1986., 4, str. 169–173; Isti, »Interpretacija brzine odugličjenja taline u realnim uvjetima«, *Metalurgija*, 30, 4, 1991., str. 125–130.

<sup>55</sup> Josip Krajcar, »Kontinuirano lijevanje okruglica«, *Metalurgija*, 26, 4, 1987., str. 97–102; Josip Krajcar, Želimir Kendi, Anka Ivančan, Dušan Vulović, Vladimir Ferketić, »Uzroci površinskih grešaka

čelika priređivao je prof. Mirko Gojić.<sup>56</sup> U okviru Instituta za metalurgiju, odnosno Metalurškoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u razdoblju 1961–85. izrađeno je 110 elaborata iz metalurgije čelika, od kojih se mogu istaknuti:<sup>57</sup> J. Krajcar, *Vrsta i kvaliteta premaza kokila u odnosu na površinsku čistoću ingota* (1965); V. Ferketić, *Studija i ispitivanje načina intenzivne primjene kisika u SM procesu* (1967); J. Krajcar, V. Kordić, *Investicioni program za čeličanu Željezare Jadran II dio* (1968); P. Pavlović, *Investicioni program proširenja rekonstrukcije i proširenja Željezare Sisak* (1969); V. Ferketić, J. Krajcar, *Obrada čelika u loncu SM peći inertnim plinovima* (1972); J. Krajcar, V. Ferketić, *Prilog rješavanja nekih pitanja kontinuirano lijevanog čelika* (1976); V. Ferketić, *Usavršavanje tehnologije izrade i lijevanja čelika s višim zahtjevima i čelika osjetljivih na pukotine* (1978); J. Krajcar, *Prilog rješavanju pitanja kontinuiranog lijevanja blumova osmerokutnog presjeka* (1982) itd.

Nastavna aktivnost iz proizvodnje čelika na diplomskom studiju metalurgije počela se odvijati na Metalurškom odjelu u Sisku (osnovan 1960) Tehnološkoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu od ak. god. 1962/63. Nastava se odvija sve do danas na Metalurškom fakultetu u Sisku koji je osnovan 1979. godine u okviru Instituta za Metalurgiju Željezare Sisak. Prvi nastavnik proizvodnje čelika bio je prof. Vladimir Logomerac (1914–1980), koji je predmet Metalurgija željeza i čelika predavao od ak. god. 1962/63. do 1975/76. Poslije su proizvodnju čelika u okviru niza predmeta pod različitim nazivima (Metalurgija željeza i čelika, Metalurgija gvožđa i čelika, Metalurgija čelika, Proizvodnja željeza i čelika, Postupci sekundarne rafinacije, Sekundarna metalurgija i kontinuirano lijevanje) predavali prof. J. Krajcar (1980/81–1992/93) i mr. sc. V. Ferketić, viši predavač (1994/95–2001/02). Od ak. god. 2002/03. do danas predmet Metalurgija čelika predaje prof. M. Gojić. Predmet Sekundarna metalurgija i kontinuirano lijevanje od ak. god. 2013/14. do danas predaju profesori Zoran Glavaš i Anita Štrkalj. Na poslijediplomskom studiju metalurgije predavali su se predmeti: Procesi moderne metalurgije i toplinski procesi u metalurgiji – Proizvodnja čelika (prof. P. Pavlović) i Odabrana poglavlja iz metalurgije čelika (profesori P. Pavlović i J. Krajcar). Prvi i dosad (do 2022) jedini sveučilišni udžbenik u Republici Hrvatskoj koji obrađuje proizvodnju čelika tiskan je pod nazivom *Metalurgija čelika* (slika

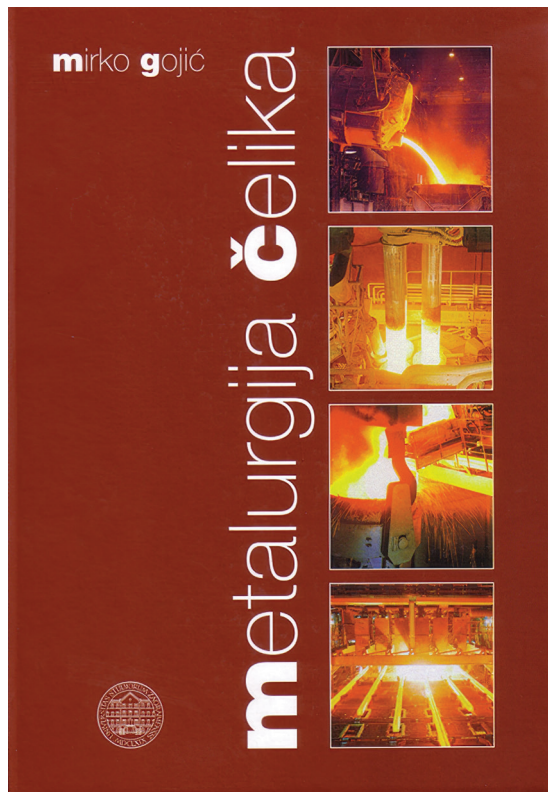
---

i mogućnosti poboljšanja površine ingota za bešavne cijevi«, *Metalurgija*, 31, 1, 1992., str. 35–42; Vladimir Ferketić, Josip Krajcar, Stanko Janjanin, Anka Ivančan, Želimir Kendi, »Obrada tekućeg čelika CaSi zicom«, *Metalurgija*, 27, 3, 1988., str. 75–81.

<sup>56</sup> Mirko Gojić, *Stanje i trend proizvodnje čelika u svijetu i Republici Hrvatskoj*, Knjiga zbornika radova s multidisciplinarnog savjetovanja: *Materijali i tehnološki razvoj*, održanog u Zagrebu 15. svibnja 2002., urednik prof. dr. sc. Tomislav Filetin, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 2002., str. 53–67.

<sup>57</sup> *Bibliografija 1961.-1985.*, 2. dopunjeno i prošireno izdanje, SOUR MK Željezara Sisak, Sisak, 1985., str. 32–40.

11.) autora prof. M. Gojića koji je »doživio« dva izdanja (2005. i 2006).<sup>58</sup> Izrađeni su i priručnici za potrebe čeličane u Željezari Sisak: *Priručnik za kontinuirano lijevanje čelika* (J. Krajcar, 1984), *Pregled suvremenih postupaka metalurgije lonca* (J. Krajcar, 1987) itd.



Slika 11. Naslovnica udžbenika iz proizvodnje čelika *Metalurgija čelika*, 2005.

## 9. Zaključak

Proizvodnja čelika u Republici Hrvatskoj razvijala se s orijentacijom na proizvodnju bešavnih i šavnih cijevi u Željezari Sisak te na proizvodnju betonskoga čelika i valjane žice u Željezari Split, kao i na valjanje čeličnih gredica u betonski čelik, žicu i profile u Valjaonici Kumrovec. Sirovi čelik (ugljični i niskolegirani) u Republici Hrvatskoj proizvodio se u nekadašnjim željezarama u Sisku i Splitu. Proizvodnja se odvijala u Siemens-Martinovim (Željezara Sisak) i elektrolučnim pećima (Željezara

<sup>58</sup> Mirko Gojić, »čelik«, *Hrvatska tehnička enciklopedija*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022., mrežno izdanje (<https://tehnika.lzmk.hr/?s=%C4%8Delik>, pristupljeno 20. VIII. 2022.)

Sisak i Željezara Split). Osnovna sirovina za proizvodnju čelika je bijelo sirovo željezo koje se proizvodilo u visokim pećima Željezare Sisak sve do sredine 1991. godine. Čelični otpad sekundarna je sirovina za proizvodnju čelika, ali je primarna sirovina za proizvodnju elektročelika u elektrolučnim pećima. Bolje ga je pretaljivati u čelik nego izvoziti. U Željezari Sisak proizvodio se čelik u dvjema Siemens-Martinovim pećima u razdoblju 1954–91. i elektročelik u jednoj elektrolučnoj peći od 1966. godine. U Željezari Split proizvodio se samo elektročelik od 1971. do njezina gašenja 2018. godine. Lijevanje čelika u Sisku bilo je isključivo klasično u metalne kalupe (do 1973), a nakon toga rastao je udio kontinuiranoga lijevanja, dok se čelik u Splitu od početka (1971) lijevao kontinuirano.

Ratna događanja uvelike su narušila i metaluršku industriju, uključujući i proizvodnju sirovoga čelika i čeličnih proizvoda. Došlo je do znatnoga pada proizvodnje čelika zbog zastarjele tehnologije, gubitka tržišta za čelične proizvode, brojnih neuspješnih privatizacija itd. Zbog devastacije prerađivačkih kapaciteta u Željezari Sisak i gašenja proizvodnje čelika u Željezari Split u Republici Hrvatskoj nije moguća plastična prerada čelika u poluproizvode i/ili gotove proizvode. U razdoblju od 1954. do 2020. u Republici Hrvatskoj ukupno je proizvedeno oko 9,34 Mt sirovoga čelika. Od 2012. do danas čelik se proizvodi samo u moderniziranoj elektrolučnoj peći u talijanskoj tvrtki ABS Sisak d.o.o. koja djeluje u okviru talijanske grupacije Danieli. Proizvodnja se odvija uz primjenu postupaka sekundarne metalurgije (lonac-peć i vakuumsko otplinjavanje). Iz područja metalurgije čelika provodio se intenzivan znanstveno-istraživački i stručni rad (izrađeno je 110 stručnih elaborata) u cilju unaprjeđenja proizvodnih postupaka, uvođenja sekundarne metalurgije (propuhivanje taline argonom) i lijevanja (klasično i kontinuirano) čeličnih poluproizvoda. Visokoškolska edukacija iz metalurgije čelika započela je ak. god. 1962/63. na Metalurškom odjelu Tehnološkoga fakulteta u Sisku i odvija se sve do danas na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.



## LITERATURA

- Bibliografija 1961.-1985.*, 2. dopunjeno i prošireno izdanje, SOUR MK Željezara Sisak, Sisak, 1985., str. 32–40.
- Ante Bonačić-Mandinić, Ante Jerković, *Poduzeće »Jadranska željezara«*, Institut za pomorsku, turističku i obalnu privredu, knjiga 5, Split, 1972., str. 3–67.
- Zdenko Braičić, »Razvoj metalurgije i njezin utjecaj na urbanu preobrazbu i stambenu izgradnju Siska«, *Geoadria*, 10, 2, 2005, str. 211–228.
- Aleksandar Cvijetić, »Proizvodnja i primjena grafitnih elektroda kroz program razvoja crne metalurgije Hrvatske«, *Metalurgija*, 34, 1/2, 1995., str. 53–54.
- Vlatko Čakširan, *Željezara Sisak-nedovršeni gigant*, Gradski muzej Sisak, Sisak, 2018. str. 30–31.
- Zlatko Čepo, *Željezara Sisak 1938-1978*, SOUR Metalurški kombinat »Željezara Sisak«, Sisak, 1978., str. 33–311.
- Josip Črnko, Mijo Kundak, »Proizvodnja čelika danas i u budućnosti«, *Metalurgija*, 38, 2, 1999., str. 97–102.
- Nikola Devčić, »Uspomene na rad u Željezari Sisak«, u: *Talionica Caprag-Željezara Sisak 1939.-2018.*, Udruga Kultura vrijednosti, Sisak, 2019., str. 59–65.
- Mato Dundjer, Industrijska proizvodnja čelika u ABS Sisak, d.o.o. (završni rad), Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2022., str. 25–50.
- Vladimir Ferketić, Milorad Dragaš, Josip Krajcar, »Ispitivanje načina intenzivne primjene kisika u SM procesu«, *Metalurgija*, 7, 1–2, 1968., str. 15–28.
- Vladimir Ferketić, Josip Krajcar, »Obrada SM čelika argonom i dušikom u loncu«, *Metalurgija*, 12, 2, 1973, str. 3–13.
- Vladimir Ferketić, Josip Krajcar, Stanko Janjanin, Anka Ivančan, Želimir Kendi, »Obrada tekućeg čelika CaSi žicom«, *Metalurgija*, 27, 3, 1988., str. 75–81.
- Dario Franić, »Željezara Sisak-visoke peći: djelovanje i organizacijski ustroj (1946.-1995.)«, *Arhivski vjesnik*, 59, 1, 2016., str. 177–206.
- Zoran Glavaš, Natalija Dolić, *Metalurgija željeza (recenzirani nastavni materijali)*, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2014. str. 1–109.
- Mirko Gojić, *Stanje i trend proizvodnje čelika u svijetu i Republici Hrvatskoj*, Knjiga zbornika radova s multidisciplinarnog savjetovanja: *Materijali i tehnološki razvoj*, održanog u Zagrebu 15. svibnja 2002., urednik prof. dr. sc. Tomislav Filetin, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 2002., str. 53–67.
- Mirko Gojić, *Metalurgija čelika*, Denona, Zagreb, 2005., str. 1–441.
- Mirko Gojić, »Talionica Caprag-ishodište Željezare Sisak«, *Kemija u industriji*, 70, 7–8, 2021., str. 411–418.
- Mirko Gojić, »Metalurški kombinat Željezara Sisak«, *Kemija u industriji*, 70, 9–10, 2021., str. 563–580.
- Mirko Gojić, *Metalurška proizvodnja u nekadašnjoj Željezari Sisak*, Zbornik 10. Simpozija: Povijest i filozofija tehnike, Zagreb, 23. i 24. 11. 2021., KIKLOS-krug knjige d.o.o., str. 295–322.
- Mirko Gojić, »čelik«, *Hrvatska tehnička enciklopedija*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022., mrežno izdanje (<https://tehnika.lzmk.hr/?s=%C4%8Delik>, pristupljeno 20. VIII. 2022.)
- <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/> (pristupljeno 20. VIII. 2022.)
- Dijana Knežević, Pregled svjetske proizvodnje čelika u razdoblju od 2000. do 2019. godine (završni rad), Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2021., str. 12–38.
- Vedran Kos, »Potpićan«, u: *Istarska enciklopedija*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2005.
- Josip Krajcar, Vladimir Ferketić, Barbara Krajcar, »Prvi pokusi ispiranja čelika inertnim plinovima u Željezari Sisak«, *Metalurgija*, 11, 3–4, 1972, str. 15–20.

- Josip Krajcar, Barbara Krajcar, Vladimir Ferketić, »Neka pitanja u vezi s kvalitetom kontinuirano lijevanih poluproizvoda«, *Metalurgija*, 14, 2, 1975., str. 13–23.
- Josip Krajcar, »Primjena kisika u SM pećima, opći pregled i rezultati u MK „Željezara Sisak“, *Metalurgija*, 22, 1983, 1–2, str. 25–32.
- Josip Krajcar, »Kontinuirano lijevanje okruglica«, *Metalurgija*, 26, 4, 1987., str. 97–102.
- Josip Krajcar, »Livni prah III-Izbor i primjena praha za kontinuirano lijevanje čelika«, *Metalurgija*, 29, 4, 1990., str. 973–102.
- Josip Krajcar, Vladimir Ferketić, Dušan Vuković, »Problemi kontinuiranog lijevanja čelika nakon prestrukturiranja i modernizacije pogona u „Željezari Sisak“, *Metalurgija*, 30, 4, 1991., str. 149–153.
- Josip Krajcar, Želimir Kendi, Anka Ivančan, Dušan Vulović, Vladimir Ferketić, »Uzroci površinskih grešaka i mogućnosti poboljšanja površine ingota za bešavne cijevi«, *Metalurgija*, 31, 1, 1992., str. 35–42.
- Josip Krajcar, »Staro željezo kao sirovina za proizvodnju čelika u elektrolučnim pećima«, *Metalurgija*, 32, 3, 1993, str. 97–100.
- Rade Križanić, »Izrada toplovaljane trake«, *Metalurgija*, 14, 2, 1975., str. 23–38.
- Mijo Kundak, »Utjecaj vremena ulaganja i progrijavanja krutog uloška na ukupno trajanje procesa kod proizvodnje čelika u SM pećima«, *Metalurgija*, 25, 1986., 4, str. 169–173.
- Mijo Kundak, »Interpretacija brzine odugličjenja taline u realnim uvjetima«, *Metalurgija*, 30, 4, 1991., str. 125–130.
- Anthony LaMastra, »Advances in Monitoring Scrap Steel for Radioactivity«, *Iron and Steel Engineer*, 76, 5, 1999, str. 91–96.
- Marijan Malina, »Tranzicija u Željezari Sisak«, *Metalurgija*, 42, 1, 2003., str. 69–73.
- Shiv Krishna Mandal, *Steel Metallurgy: Properties, Specifications and Applications*, New York, Mc Graw Hill, 2015, str. 1–28.
- Petar Milunić, »MK „Željezara Sisak“ – Sisak za pamćenje«, u: *Talionica Caprag-Željezara Sisak 1939-2018*, Udruga Kultura vrijednosti, Sisak, 2019., str. 46–58.
- Stjepan Paulin, Damjan Vranešević, Dragutin Tominac, »Konceptija rekonstrukcije i izgradnje aglomeracije „Željezare Sisak“ Sisak«, *Metalurgija*, 27, 4, 1988., str. 145–148.
- Pavle Pavlović, »Metalurški procesi razmatrani sa stanovišta termodinamike (II dio)«, *Metalurgija*, 4, 1965., 3–4, str. 28–47.
- Pavle Pavlović, *Materijal čelik*, SKTH/Kemija u industriji, Zagreb, 1990., str. 5–32.
- Mario Pušić, Mega investicija u Hrvatskoj: Talijani pokrenuli projekt koji bi trebao oživjeti sisački kraj (<https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/mega-investicija-u-hrvatskoj-talijani-pokrenuli-projekt-koji-bi-trebao-ozivjeti-sisacki-kraj-15191851>; objavljeno 2. V. 2022., pristupljeno 28. VIII. 2022.)
- Steel Manual*, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2002., str. 2–175.
- Vinko Šimunović, »Jadranska željezara-novi član Udruženja jugoslavenskih željezara«, *Čelik*, 60, 12, 1976., str. 25–29.
- Mihael Tolar, *Elektrojeklarstvo*, SIJ-ACRONI d.o.o., Jesenice, 2006., str. 9–263.
- Ranko Vilić, »Jadranska željezara«, *Slobodna Dalmacija*, 16. VI. 1970., str. 6.
- Ranko Vilić, »Prvi kilogrami jadranskog čelika«, *Slobodna Dalmacija*, 11. I. 1971., str. 6.
- Franc Vodopivec, »Steel, the material for the 21st century«, *Metalurgija*, 35, 2, 1996., str. 87–91.
- Vitomir Živković, »Reconstructure of Reinforcing Steel Bars Mill in Željezara Split«, *Metalurgija*, 43, 3, 2004., str. 227–238.
- Vitomir Živković, »Results of Reconstruction of Steel Works in Željezara Split«, *Metalurgija*, 45, 3, 2006., str. 227–239.

## STEEL METALLURGY IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Mirko Gojić

University of Zagreb, Faculty of Metallurgy Sisak

gojic@simet.unuzg.hr

**ABSTRACT:** The goal of this work is to review the production of crude steel in the Republic of Croatia in the period from 1954 to 2020. The working methodology included the analysis of raw steelmaking materials, technology processes, the assortment of steel products, scientific research and professional work, and high school education in the field of steel metallurgy.

Steel is the most important metallic material which can be defined as a deformable iron alloy with maximum 2 wt. % of carbon. Beside iron and carbon, steel contains desirable (manganese, chromium, etc.) and undesirable (sulphur, phosphorus, oxygen, hydrogen, etc.) admixtures. Pig iron is the primary raw material for steelmaking, which was produced up until mid-1991 in the blast furnaces of Iron and Steel Works Sisak. Steel scrap is the secondary raw material, which is relatively easily processed into steel through remelting. Crude steel (carbon and low-alloyed) in the Republic of Croatia was produced in the former Iron and Steel Works in Sisak and Split. The production facilities for steelmaking are Siemens-Martin (Iron and Steel Works Sisak) and electric arc furnaces (Iron and Steel Works Sisak and Iron and Steel Works Split). It was found that about 9.34 Mt of steel were produced in the Republic of Croatia in the period from 1954 to 2020.

Steelmaking in Siemens-Martin furnaces is based on the manufacturing of steel in so-called open hearths using preheated air and fuels with a regeneration process. For steelmaking in electric arc furnaces, heat energy is secured primarily from electric arcs between graphite electrodes and steel scrap.

The sales programme of Iron and Steel Works Sisak was primarily directed towards the production of steel pipes (seamless and seam tubes), while so-called concrete steel for the building industry (reinforcement, wire, etc.) was produced in Iron and Steel Works Split. Today, steel is produced in a modernised electric arc furnace (using secondary metallurgy processes: ladle-furnace, vacuum degassing) in the Italian company ABS Sisak Ltd., which has been operating within the Daniel Group since 2012.

Many national and international projects were realised within the frame of this scientific-research and professional work, numerous papers were published in journals and conference proceedings, 110 professional reports were made, a university textbook titled *Steel Metallurgy* was printed in two editions (2005 and 2006), several handbooks were produced, etc. Higher education in steel metallurgy has been in progress from the school year 1962/63, at first in Sisak at the Metallurgy Department Faculty of Technology of the University of Zagreb, and from 1979 till today at the Faculty of Metallurgy in Sisak, currently the only institution in the Republic of Croatia that offers education in the field of metallurgy.

**Keywords:** metallurgy; steel; pig iron; steel scrap; seam and seamless pipes; concrete steel; production of crude steel in the Republic of Croatia



Članci su dostupni pod licencijom Creative Commons: Imenovanje-Nekomercijalno (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Sadržaj smijete umnožavati, distribuirati, priopćavati javnosti i preradivati ga, uz obvezno navođenje autorstva, te ga koristiti samo u nekomercijalne svrhe.