

POVIJEST KEMIJE I KEMIJSKOG INŽENJERSTVA

Značajke masovne proizvodnje sirovog čelika u Republici Hrvatskoj od 1954. do 2020. godine

M. Gojić,^{a*} S. Kožuh,^a I. Ivanić^a i M. Bakić^bOvo djelo je dano na korištenje pod
Creative Commons Attribution 4.0
International License^a Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, 44 000 Sisak, Hrvatska^b ABS Sisak, d. o. o., Braće Kavurića 12, 44 000 Sisak, Hrvatska

Sažetak

U radu je dan kratak pregled tehnoloških procesa masovne proizvodnje sirovog čelika u Republici Hrvatskoj (RH) u razdoblju od 1954. do 2020. godine s naglaskom na proizvodnju čelika u razdoblju od 1992. do 2020. godine. Proizvođači čelika bile su željezare u Sisku i Splitu. Masovna proizvodnja čelika provodila se u Siemens-Martinovim (Sisak) i elektrolučnim pećima (Sisak i Split). Danas se čelik proizvodi samo u ABS Sisak d. o. o. u moderniziranoj elektrolučnoj peći uključujući i primjenu postupka sekundarne metalurgije (lonac-peć i vakuum otplinjač). Zbog devastacije prerađivačkih kapaciteta (prije 2012. godine) u Željezari Sisak i gašenja proizvodnje čelika u Željezari Split u RH danas nema mogućnosti plastične prerade vlastitog čelika u poluproizvode i/ili gotove proizvode. U RH je u razdoblju od 1954. do 2020. godine ukupno proizvedeno oko 9,3 Mt sirovog čelika (ugljični i niskolegirani čelici). Sažeto je prikazana i uloga visokoškolskog obrazovanja i znanstvenoistraživačkog rada u proizvodnji čelika u RH.

Ključne riječi

Metalurgija, proizvodnja čelika, SM peć, elektrolučna peć, ABS Sisak d. o. o.

1. Uvod

Čelik je višekomponentna, deformabilna i najvažnija legura željeza sa sadržajem ugljika do 2 maks. %.¹ Visoka godišnja svjetska proizvodnja čelika (1,87 Gt u 2020. godini)² i široko područje primjene čelika (konstrukcije, strojogradnja, brodogradnja, automobilska industrija itd.) ukazuje na njegova izvanredna svojstva koja se mogu prilagođavati uvjetima primjene.

Nakon II. svjetskog rata u Republici Hrvatskoj (RH) stavljeno je težište na industrijalizaciju kao temelj bržeg razvoja cijelog gospodarstva. U skladu s tim pristupilo se intenzivnim ulaganjima u proizvodnju čelika i/ili proizvoda od čelika. U tom smislu osnovana je 31. listopada 1946. godine Željezara Sisak (ŽS), kao državno privredno poduzeće. Preteča ŽS-a je Talionica Caprag, koja je osnovana 1938. godine za proizvodnju sirovog željeza.³ Obnova i upravljanje crnom metalurgijom u to se vrijeme odvijalo u okviru tzv. petogodišnjih planova, a upravljanje radom željezara preuzela je Generalna direkcija crne metalurgije Jugoslavije. Grad Sisak bio je optimalno rješenje za središte crne metalurgije i najbolja je odabrana lokacija od svih jugoslavenskih željezara.⁴

Današnja proizvodnja čelika primarno se odvija u kisikovim konvertorima (KK) i elektrolučnim pećima (ELP).⁵⁻¹⁰ Neovisno kojim se postupkom (KK ili ELP) dobije primarna talina, za izradu kvalitetnijih čelika provodi se dorada čelika u loncu nekim od brojnih postupaka sekundarne metalurgije (npr. lonac-peć, otplinjanje u vakuumu).^{11,12}

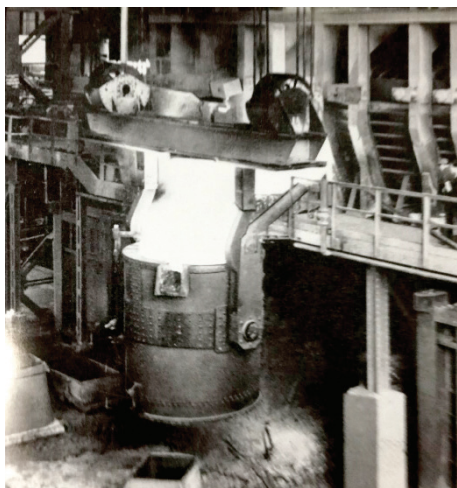
2. Proizvodnja čelika u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1954. do 1991. godine

Proizvodnja čelika u RH započela je primjenom Siemens-Martinovog (SM) postupka 1954. godine (već odavno spada u povijesne postupke) koji se temeljio na taljenju metala u otvorenom ognjištu primjenom predgrijanog zraka i goriva na temelju regeneracije. Upotrebljavala se bazična vatrostalna obloga. Gorivo (mazut, prirodni plin itd.) dovodilo se kroz kombinirane gorionike, a kasnije se dodavao i tehnički kisik (kroz gorionike ili koplja) za intenzifikaciju procesa.¹³ SM postupak imao je šire granice u pogledu uporabljenih sirovina (čelični otpad, tekuće ili kruto sirovo željezo itd.). Odavno je SM postupak u svijetu gotovo potpuno napušten, a u RH je napušten 1991. godine. U 2020. godini udio proizvodnje čelika SM postupkom u svijetu je samo 0,3 % (Ukrajina i Rusija).²

Izgradnja SM čeličane u Željezari Sisak započela je 1949. godine. U to vrijeme SM postupak bio je primarni postupak proizvodnje čelika u svijetu (sve do 1970. godine). Instalirana SM peć bila je tipa Maerz-Boelens s korisnom površinom kupke od 41 m². Veći dio opreme nabavljan je iz inozemstva, a montaža je obavljena uz pomoć inozemnih stručnjaka.¹⁴ Prva SM peć puštena je u pogon 29. 11. 1954. godine. Kemijske reakcije koje su se odvijale za vrijeme SM procesa su oksidacija silicija, mangana, ugljika, fosfora, a provodila se i reakcija odsumporavanja itd. U prvoj godini proizvodnje čelika u RH proizvedeno je 6,8 kt čelika. Druga SM peć puštena je u pogon 29. 11. 1955. godine. Primarna sirovina za proizvodnju čelika bilo je bijelo sirovo željezo proizvedeno u visokim pećima Željezara Sisak. Prvotni kapacitet svake SM peći iznosio je 70 t. Uz SM peći izgrađeni su i ostali potrebni prateći pogoni: kisikana (1952.), energana (1956.) itd. Uključivanjem SM

* Autor za dopisivanje: prof. dr. sc. Mirko Gojić
e-pošta: gojic@simet.unizg.hr

peći 2 u proizvodnju čelika povećana je proizvodnja čelika na 82,5 kt u 1956. godini.¹⁴ Proizvodnja SM čelika je konstantno rasla, dosegnuvši 1965. godine proizvodnju od 187,7 kt sirovog čelika. Rekonstrukcijom obiju SM peći (1966.), uvođenjem mazuta te povećanjem iskorištenja prirodnog plina i kisika povećan je kapacitet svake SM peći sa 70 na 150 t čelika.⁴ Čelik se ispuštao u lonac (slika 1), a nakon toga lijevao "klasično" isključivo u kokile različitih formata (do 1973. godine). Kasnije se čelik sve više lijevao i postupkom kontinuiranog lijevanja koji je uveden 25. svibnja 1973. godine. Izgradnjom koksare u Bakru (1978.) proizvodnja u Željezari Sisak je predstavljala jedan integralni tehnološki proces kojim su se, počevši od proizvodnje metalurškog koksa (gorivo i reducens za proizvodnju sirovog željeza), pripreme rude željeza (drobljenje, sušenje, separacija, sinteriranje, aglomeracija) i proizvodnje sirovog željeza, pa sve do izrade sirovog čelika i njegove prerade brojnim tehnološkim procesima (valjanje, kovanje itd.), dobivali finalni proizvodi (primarno šavne i bešavne cijevi). Tekuće bijelo sirovo željezo se izravno s visokih peći otpremalo loncima u čeličanu, a manji dio se upotrebljavao kao kruto sirovo željezo. Tehnološki proces u SM peći sastojao se od ulaganja sirovina (sirovo željezo, čelični otpad, talitelji itd.), rafinacije i dezoksidacije te izlivanja (ispusta) tekućeg čelika iz peći. Čelik se izliva pomoću račvastog žlijeba u dva livna lonca kapaciteta 75 – 85 t.

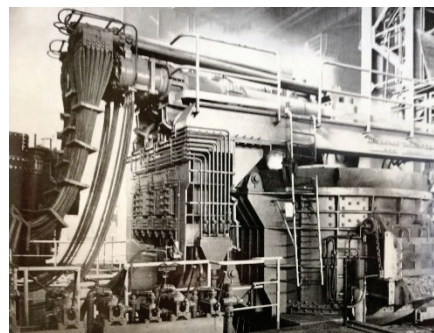


Slika 1 – Lijevanje čelika u lonac iz Siemens-Martinove peći u Željezari Sisak¹⁴

Fig. 1 – Pouring of liquid steel from Siemens-Martin furnace into a ladle at Sisak Ironworks¹⁴

Proizvodnja kvalitetnijih čelika u ELP Željezare Sisak započela je pokusnim radom 21. veljače 1966. godine.¹⁴ Početni kapacitet ELP tipa Tagliaferri bio je oko 25 t, a kasnije je povećan na oko 30 t, uz instaliranu snagu transformatora od 15 MVA. Tehnički godišnji kapacitet peći bio je 42 kt čelika (slika 2). Radilo se o ELP na izmjeničnu struju, odnosno peći u kojoj se proces proizvodnje čelika odvijao uz primjenu tri grafitne elektrode. Primarna sirovina za proizvodnju elektročelika bilo je pripremljeno staro željezo (čelični otpad). Između grafitnih elektroda i čeličnog otpada uspostavlja se električni luk koji daje toplinu po-

trebnu za taljenje čeličnog otpada. Ulaganje sirovina u ELP provodilo se pomoću uložnih košara, a izlivanje čelika se provodilo nagibanjem peći u lonac kapaciteta oko 40 t tekućeg čelika. U prvoj godini rada u ELP proizvedeno je 25,4 kt elektročelika. Već naredne, 1967. godine proizvedeno je 31,5 kt elektročelika.



Slika 2 – Elektrolučna peć u Željezari Sisak iz 1966. godine¹⁴

Fig. 2 – Electric arc furnace from 1966 at Sisak Ironworks¹⁴

Financijska ulaganja u ELP i rekonstrukciju obiju SM peći dovelo je do porasta proizvodnje čelika u RH u 1970. godini na 294,8 kt (245,3 kt SM čelika i 49,5 kt elektročelika).¹⁴ Uvođenjem postrojenja za kontinuirano lijevanje čelika povećan je izvadak (6 – 7 %) i znatno je povećan tehnički kapacitet proizvodnje čelika u čeličani Željezare Sisak na 360 kt sirovog čelika (1974. godine). Kontinuirano lijevanje se provodilo na dvama uređajima s po tri "žile" (blumovi kvadratnog i osmerokutnog presjeka, slabovi pravokutnog presjeka itd.) čiji je radijus zakrivljenosti iznosio 11 m. Uvođenjem kontinuiranog lijevanja praktički je prestala proizvodnja neumirenih čelika za razliku od razdoblja do 1973. godine kad je neumireni čelik činio oko 75 % čelika proizvedenog u SM pećima.

Nagli porast potrošnje tzv. betonskog čelika zbog primjene nove tehnologije građenja, tj. povećanjem udjela armiranog betona u građevinskom sektoru doveo je do izgradnje Željezare Split. Potrošnja betonskog čelika u Jugoslaviji porasla je s 213,652 kt u 1965. na 369,686 kt u 1970. godini, a očekivana potrošnja u 1972. godini je procijenjena na 500 kt.¹⁵ U to vrijeme u Jugoslaviji su proizvođači čelika za građevinarstvo bile željezare u Zenici i Jesenicama, ali ti kapaciteti nisu bili dovoljni. Unatoč otporu Udruženja jugoslavenskih željezara za izgradnju željezare osnovano je 6. 3. 1968. godine u Splitu poduzeće u izgradnji "Adriasider". Izgradnja željezare započela je u travnju 1969. godine. Pored tržišnih uvjeta Split je imao i posebno bitnu prednost u izvoru osnovne sirovine, tj. čeličnog otpada u postojećem rezalištu. Tvrtka "Adriasider" je 15. lipnja 1970. godine promijenila ime u Jadranska željezara. Elektrolučna peć kapaciteta 25 t i snage transformatora od 7,5 MVA puštena je u probni rad 8. siječnja 1971. godine, a postrojenje za kontinuirano lijevanje gredica (100 × 100 mm) u dvije "žile" s radijusom zakrivljenosti od 4 m pušteno je u rad 28. siječnja 1971. godine.¹⁶ Peći, oprema i postrojenje za 2-"žilno" kontinuirano lijevanje gredica s radijusom zakrivljenosti od 4 m bili su iz uvoza.¹⁶ Godišnji kapacitet ELP je

bio 60 kt sirovog čelika, a kapacitet lijevanih čeličnih gredica bio je 57 kt. Kao uložak je upotrijebljen gotovo isključivo čelični otpad, a čelik se 100 % lijevao kontinuirano. Do kraja 1971. godine u Splitu je proizvedeno 34 kt čeličnih gredica, a kasnije je proizvodnja povećana na oko 48 kt godišnje. Izgradnjom druge 25-t ELP¹⁷ i novog postrojenja za kontinuirano lijevanje proizvodnja čelika je povećana od 55 do 67 kt čelika u razdoblju od 1981. do 1984. godine. Krajem 1980-ih godina tehnički kapacitet proizvodnje elektročelika u Splitu je povećan na 125 kt.

U razdoblju od 1972. do 1984. godine ukupna godišnja proizvodnja čelika u RH rasla je od 350 do 410 kt sirovog čelika. Proizvodnja čelika u RH krajem 1980-ih godina iznosila je oko 485 kt, što je iznosilo oko 10 % proizvodnje čelika u Jugoslaviji. Od postupaka sekundarne metalurgije u Sisku je primijenjeno samo propuhivanje taline argonom u loncu neposredno prije lijevanja od 1980-ih godina. Sve faze izrade čelika u Sisku i u Splitu, uključujući i rafinaciju, odvijale su se u ELP. U RH je u razdoblju od 1954. do 1992. godine proizvedeno ukupno oko 7,2 Mt čelika. U Sisku su se primarno proizvodili obični ugljični i kvalitetni ugljični čelici, niskolegirani čelici itd. za tzv. "cijevni program" (bešavne i šavne cijevi), a u Splitu se proizvodio tzv. "betonski čelik" za okrugle profile glatkog i rebrastog čelika, građevinske armature i valjane žice itd.

Od 1970-ih godina koordinirana suradnja proizvođača čelika u Jugoslaviji sve više slabi i jača se autonomni pristup razvoja proizvođača čelika. Nažalost, to se razdoblje poklapa i sa svjetskom energetsom krizom, što je dovelo do prestrukturiranja svjetske industrije čelika. Brži razvoj proizvodnje čelika u RH tijekom 1980-ih izostao je zbog nemogućnosti praćenja suvremene tehnologije proizvodnje čelika, premalog kapaciteta visokih peći u Željezari Sisak (dvije visoke peći, svaka volumena od 203 m³), predugog zadržavanja SM postupka u proizvodnji čelika, nedovoljne podrške nadležnih saveznih i republičkih institucija za ulaganja u nove investicije (posebno za tzv. III. fazu razvoja Željezare Sisak)^{18,19} nedovoljnog ulaganja u postupke sekundarne metalurgije itd.

3. Proizvodnja čelika u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1992. do 2021. godine

Početak Domovinskog rata (1991.) mijenja se, odnosno uveliko je poremećen rad metalurške industrije, uključujući i proizvodnju čelika, zbog smanjenja tržišta, otežanog uvoza sirovina itd. U Željezari Sisak obustavlja se rad visokih peći i proizvodnja čelika u SM pećima. Proizvodnja čelika u RH je nastavljena u elektrolučnim pećima u Sisku i u Splitu, ali u bitno smanjenom opsegu (slika 3). Početkom 1990-ih godina zbog ratnih okolnosti, gubitka tržišta čeličnih proizvoda itd. dolazi do pada proizvodnje čelika u RH za više od 10 puta, s 485 kt na 46 kt u 1996. godini. S obzirom na to da je Željezara Sisak proizvodila oko 80 % sirovog čelika u RH, vrlo je bila bitna njezina pozicija i uloga. Prestankom proizvodnje sirovog željeza u visokim pećima i čelika u SM pećima Željezara Sisak postaje konceptualno mini željezara s proizvodnjom od samo 21,95 kt sirovog čelika u 1995. godini.²⁰ Ubrzo slijede neuspješni pokušaji sanacije željezara od strane Vlade Republike Hrvatske

(1996. – 2001.), a od 2001. godine pristupa se privatizaciji i traženju strateških partnera za željezare.



Slika 3 – Proizvodnja čelika u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1992. do 2020. godine

Fig. 3 – Production of steel in the Republic of Croatia in the period from 1992 to 2020

Željezara Sisak je prošla do 2012. godine kroz tri neuspješne privatizacije: austrijsko-ruski konzorcij Trubo impex (2001. – 2002.), ruska Mechel Steel grupa, koja je poslovala kao Mechel Sisak d. o. o. (2003. – 2004.) i američka tvrtka Commercial Metals Company (CMC), koja je poslovala kao CMC d. o. o. (2008. – 2012.). Provedene prve tri privatizacije u Željezari Sisak nisu dale očekivane rezultate. CMC d. o. o. je 2010. godine investirao u novu ELP (kapaciteta oko 60 t), lonac-peć i rekonstrukciju postrojenja za kontinuirano lijevanje čelika (prijelaz na lijevanje okruglica). Proizvodnja elektročelika u Splitu je modernizirana (2002./2003.), kapacitet ELP povećan je na 60 t čelika i uveden je postupak obrade čelika u loncu, tj. lonac-peć (kapaciteta 26 t). Time je tehnički godišnji kapacitet proizvodnje čelika u Splitu povećan na 190 kt. Međutim, i Željezara Split je prošla nekoliko neuspješnih privatizacija (2007. – 2009. poljski Zlomrex, 2011. – 2012. domaća C.I.O.S grupa kad Željezara Split posluje kao Adria čelik d. o. o. te 2012. – 2015. njemački Techcom GmbH) i na posljetku je ugašena (2018.). U RH u nekim godinama i nije bilo proizvodnje čelika (npr. 2016.) kao posljedica navedene tranzicije, tj. brojnih neuspješnih privatizacija i pretvorbi i "odvođenja" Željezare Split u stečaj. Nažalost, Željezara Split umjesto da je uz pravilan pristup bila industrijski proizvođač čelika za nužan građevinski sektor vjerojatno će biti "industrijski muzej".

Danas je proizvodnja čelika u RH svedena na proizvodnju elektročelika u čeličani nekadašnje Željezare Sisak, ali u moderniziranim i dijelom na novim postrojenjima u vlasništvu (od 31. svibnja 2012. godine) talijanske tvrtke Danieli. Čeličana posluje pod nazivom ABS Sisak d. o. o.,²¹ koji je uložio znatna sredstva u modernizaciju proizvodnje čelika, posebno u sekundarnu metalurgiju i kontinuirano lijevanje (postrojenje s tri "žile"). Proizvodnja čelika se odvija u ELP na izmjeničnu struju kapaciteta oko 67 t (slika 4), koja zapravo služi samo za pretaljevanje čeličnog otpada, a dorada čelika se odvija u lonac-peći (slika 5) i postrojenju



Slika 4 – Ulaganje starog željeza u elektrolučnu peć (ELP), ABS Sisak d. o. o.²¹

Fig. 4 – Charging of electric arc furnace (EAF) with steel scrap, ABS Sisak Ltd.²¹

za vakuumsko otplinjavanje (VD postupak). Pripremljeni čelični otpad se ulaže pomoću triju uložnih košara. Taljenje u ELP se provodi pomoću energije električnog luka, ali se primjenjuje i tzv. “kemijski paket” koji se sastoji od tri gorionika, radi osiguranja dodatne topline i povećanja brzine taljenja. Električni luk ostvaruje se između tri grafitne elektrode i čeličnog otpada. Pomoću gorionika potpomaže se taljenje čeličnog otpada, a oni ujedno stvaraju i uvjete za nastanak pjenušave troske u peći. Kroz gorionike se upuhuje ugljik, kisik, prirodni plin te MgO. Obrada čelika na lonac-peći (odsumporavanje, legiranje, dezoksidacija, modifikacija uključaka itd.) provodi se pri atmosferskom tlaku uz upuhivanje argona radi boljeg miješanja taline. VD postupak je namijenjen za uklanjanje plinova (prije svega vodika) iz čelika u vakuumskim uvjetima uz upuhivanje argona u talinu. Tijekom izrade taline po pojedinim fazama (ELP, lonac-peć, vakuum-otplinjač) mjeri se temperatura i ispituje kemijski sastav čelika. Nakon obrade u vakuumu talina se iz lonca lijeva na postrojenju za kontinuirano lijevanje (slika 6) u čelične poluproizvode: okruglice promjera 210 – 410 mm te gređice 160 × 160 i 170 × 170 mm. Za vrijeme kontinuiranog lijevanja odvija se primarno (hlađenje vodom u kokili preko bakrenog kristalizatora), sekundarno (špricanje vodom površine djelomično skrutnute “žile”) i tercijarno (na zraku) hlađenje. Nakon hlađenja provodi se rezanje i kontrola kvalitete kontinuirano lijeva-



Slika 6 – Kontinuirano lijevanje čelika u ABS Sisak d. o. o.²¹

Fig. 6 – Continuous casting of steel at ABS Sisak Ltd.²¹

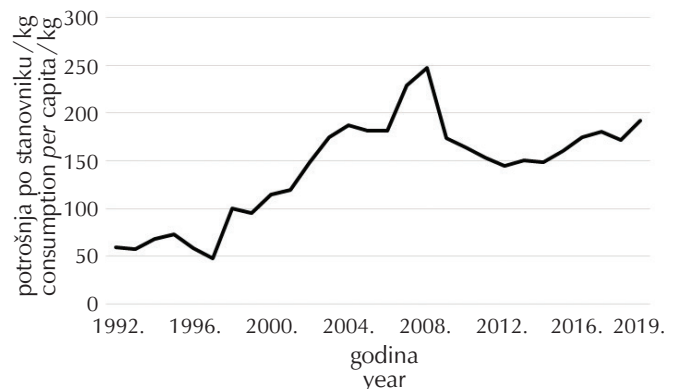


Slika 5 – Obrada čelika u lonac-peći, ABS Sisak d. o. o.²¹

Fig. 5 – Treating of steel in ladle-furnace, ABS Sisak Ltd.²¹

nih poluproizvoda (geometrija, duljina, ravnoća, tvrdoća, makroispitivanja itd.). U 2020. godini (slika 3) u RH je proizvedeno oko 45 kt čelika (ugljični i legirani čelici). Ukupna proizvodnja čelika u RH za razdoblje od 1992. do 2020. godine iznosila je oko 2,3 Mt elektročelika.²

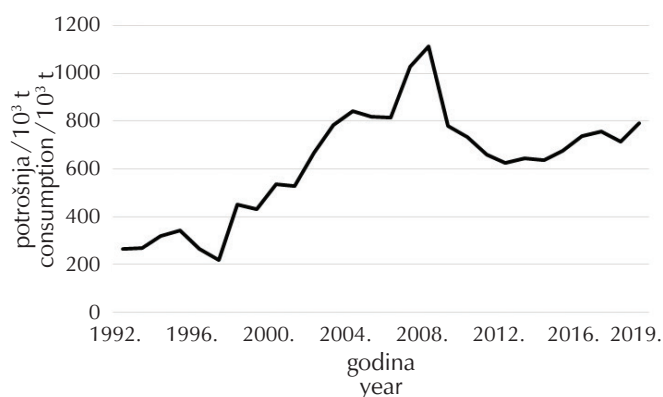
Poznato je da je jedan od parametara industrijalizacije države proizvodnja čelika i/ili potrošnja finalnih čeličnih proizvoda “po glavi stanovnika” (slika 7), jer proizvodnja čelika jedna je od najvažnijih bazičnih grana industrije. Bez nje se druge grane industrije ne mogu brzo i uspješno razvijati. U RH je u razdoblju od 2010. do 2019. godine potrošnja gotovih čeličnih proizvoda u rasponu od 125 do 192 kg po stanovniku, što je ispod prosječne potrošnje u državama članicama EU-a (277 – 329 kg/stanovniku). Potrošnja čeličnih proizvoda u RH 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.²



Slika 7 – Potrošnja gotovih čeličnih proizvoda “po glavi stanovnika” u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1992. do 2019. godine

Fig. 7 – Consumption of finished steel products per capita in the Republic of Croatia in the period from 1992 to 2019, kg/capita

Republika Hrvatska jedna je od rijetkih država u svijetu koja se “odrekla” ili “digla ruke od” vlastite prerade čelika. Budući da je tzv. „treći vlasnik” u privatizaciji bivše Željezare Sisak američki CMC d. o. o. (2008. – 2012.) pretalio i/ili odvezao prerađivačke kapacitete (valjaonice), nažalost u Sisku nije više moguća prerada čelika, osim prerade uvezenih čeličnih cijevi u hladnom stanju u tzv. Novoj hladnoj preradi, koja je od 2012. godine u vlasništvu njemačke tvrtke Rohrwerke Max Hütte Sisak d. o. o. Doduše, postoje medijske najave da ABS Sisak d. o. o. u skorijoj budućnosti planira investiranje u prerađivačke kapacitete čelika proizvedenog u Sisku. Podatci o potrošnji čeličnih proizvoda u razdoblju od 1992. do 2019. godine (slika 8) ukazuju na to da u RH postoji potreba za vlastitom proizvodnjom i preradom čelika, dosegnuvši 2007. i 2008. godine potrošnju više od 1,1 do 1,2 Mt gotovih čeličnih proizvoda.



Slika 8 – Potrošnja gotovih čeličnih proizvoda u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1992. do 2019. godine

Fig. 8 – Consumption of finished steel products in the Republic of Croatia in the period from 1992 to 2019

Doduše, relativno visoka potrošnja čeličnih proizvoda u RH temeljena je na uvozu i posljedica je nezadovoljavajuće ponude asortimanske strukture proizvoda. Npr. proizvodnja limova za brodogradnju nije ni postojala u RH, iako je za takvom proizvodnjom svojevremeno postojao interes u Splitu (1960-ih godina). U razvojnim dugoročnim projektima planirala se izgradnja integralne željezare u Splitu s koksarom uključujući i valjaonicu limova širine 4 m za brodogradnju kapaciteta od 500 kt godišnje u prvoj fazi. Čak su izrađene i stručne ekspertize projektnih biroa stranih tvrtki (Jawata iz Japana, Vitkovice iz Čehoslovačke, Voest iz Austrije i Italsider iz Italije).¹⁵

Oduvijek je u svijetu poznato da se metalurški sektor nikad nije i niti može restrukturirati bez pomoći države i uvažavanja struke. Nepravodobno donošenje industrijske strategije RH i isforsirani model privatizacije doprinijeli su deindustrijalizaciji većeg dijela industrijskog sektora, uključujući i metalurški. Dugogodišnji “mačehinski odnos” mjerodavnih državnih institucija općenito prema cijeloj industriji, uključujući i metaluršku (što je neuobičajeno u državama razvijenog svijeta), institucionalno neuključivanje metalurške struke pri donošenju strateških odluka za hrvatsku metalurgiju i ratna stradanja neki su od ključnih

razloga za “propadanje” hrvatske metalurgije. To najbolje svjedoči primjer Republike Slovenije, koja je izašla iz istog društveno-političkog sustava, ali je svoju metaluršku industriju, uključujući proizvodnju i preradu čelika (SIJ Acroni d. o. o., Store Steel d. o. o., Metal Ravne d. o. o.), uz svesrdnu državnu i institucionalnu pomoć metalurške struke ne samo “spasila” nego i uspješno privatizirala i dovela do toga da su to profitabilne tvrtke.²²

4. Sažeti prikaz visokoškolskog obrazovanja i znanstvenoistraživačkog rada u proizvodnji čelika u Republici Hrvatskoj

Razvoju proizvodnje čelika u Republici Hrvatskoj je doprinio i visokoškolski sustav u obrazovanju u znanstvenom polju metalurgije, posebno osnivanjem Metalurškog odjela u Sisku u okviru Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 1960. godine.^{23,24} Znanstvenoistraživački rad iz proizvodnje čelika u Željezari Sisak provodili su profesori Pavle Pavlović, Josip Krajcar i Mijo Kundak, viši predavač Vladimir Ferketić i dr. s Instituta za metalurgiju i Metalurškog fakulteta iz Siska. Istraživanja su se odnosila na metalurške procese proizvodnje čelika s termodinamičkog stajališta (P. Pavlović), rafinaciju, sekundarnu metalurgiju (ispiranje taline argonom, modifikacija nemetalnih uključaka itd.), klasično i kontinuirano lijevanje čelika: konfiguracija ingota, parametri lijevanja, unutarnje i vanjske greške, mogućnosti poboljšanja kvalitete površine primjenom odgovarajućih livnih praškova (J. Krajcar, V. Ferketić i dr.), intenzifikacija proizvodnje čelika kisikom u SM pećima (M. Kundak) itd. Nastavna aktivnost iz proizvodnje čelika na diplomskom studiju metalurgije počela se odvijati na Metalurškom odjelu Tehnološkog fakulteta u Sisku od akad. god. 1962./63., na kojem se odvija sve do danas (od 1979. godine na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu). Prvi nastavnik je bio prof. Vladimir Logomerac, a kasnije su proizvodnju čelika u okviru predmeta *Metalurgija čelika* predavali prof. Josip Krajcar i viši predavač Vladimir Ferketić, a od 2002. predmet *Metalurgija čelika* predaje prof. Mirko Gojić. Na poslijediplomskom studiju metalurgije na Metalurškom odjelu (1965. – 1973.) i Metalurškom inženjerstvu (1974. – 1978.) Tehnološkog fakulteta, odnosno od 1979. godine na Metalurškom fakultetu predavani su predmeti: *Proizvodnja sirovog čelika*, *Odabrana poglavlja iz termodinamike i kinetike metalurških procesa*, *Odabrana poglavlja iz proizvodnje čelika* itd. koje su predavali profesori P. Pavlović i J. Krajcar.

5. Zaključak

U razdoblju od 1954. do 2020. godine u Republici Hrvatskoj proizvodili su se ugljični i niskolegirani čelici u integralnoj (do 1992.) Željezari Sisak i mini Željezari Split. U Sisku se proizvodio čelik u Siemens-Martinovim (SM) i elektrolučnoj peći (ELP), dok se čelik u Željezari Split proizvodio samo elektrolučnim postupkom. Lijevanje čelika odvijalo se klasično u kokile (primarno do 1973. godine u Sisku), a kasnije primarno postupkom kontinuiranog lijevanja (u Splitu otpočeta 100 %). U razdoblju od 1956. godine do

kraja 1980-ih godina u RH povećana je proizvodnja čelika s 82,5 kt na 485 kt (za 5,9 puta), što je činilo oko 10 % proizvodnje čelika u Jugoslaviji. Početkom 1990-ih godina zbog ratnih okolnosti, gubitka tržišta čeličnih proizvoda itd. dolazi do pada proizvodnje čelika za više od 10 puta, tj. na 46 kt u 1996. godini. Željezara Sisak postaje mini željezara s proizvodnjom od samo 21,95 kt sirovog čelika u 1995. godini. Pokušaji sanacije i brojne privatizacije željezara (po tri u svakoj željezari) nisu dale očekivane rezultate. Nadležne državne institucije su pokazale previše "lutanja" i/ili neznanja u procesima tranzicije iz polja metalurgije. Danas se čelik, zahvaljujući investicijama i naporu tvrtke ABS Sisak d. o. o., proizvodi samo u Sisku. Tvrtka ABS Sisak d. o. o. od 31. svibnja 2012. godine posluje u okviru talijanske grupacije Danieli. Postrojenja za proizvodnju čelika su modernizirana uz znatna ulaganja u tehnološki proces proizvodnje čelika. Proizvodnja čelika odvija se u elektrolučnoj peći uz primjenu postupaka sekundarne metalurgije (lonac-peć i vakuumi otplinjač). Ukupno je u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1954. do 2020. godine proizvedeno oko 9,3 Mt sirovog čelika. U Republici Hrvatskoj oduvijek je postojala potreba za vlastitom proizvodnjom i preradom čelika, na što ukazuje i potrošnja čeličnih proizvoda u razdoblju od 1992. do 2019. godine. U 2007. i 2008. godini potrošnja gotovih čeličnih proizvoda u RH iznosila je čak 1,1 – 1,2 Mt, a proizvodnja sirovog čelika u tim godinama iznosila je svega od 75 do 89 kt. Doprinos proizvodnji čelika u Republici Hrvatskoj dali su i visokoškolski sustav iz polja metalurgije i znanstvenoistraživački rad koji se provodio na Metalurškom odjelu i Metalurškom inženjerstvu Tehnološkog fakulteta iz Zagreba, Institutu za metalurgiju Željezare Sisak te od 1979. do danas na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Popis kratica

List of abbreviations

- ELP – elektrolučna peć
– electric arc furnace
- EU – Europska unija
– European Union
- KK – kisikov konvertor
– oxygen converter
- SM – Siemens Martin
- VD – vakuumsko otplinjanje
– vacuum degassing

Literatura

References

- M. Gojić, Metalurgija čelika, Denona, Zagreb, 2005.
- URL: <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook/> (28. 2. 2022.).
- M. Gojić, Talionica Caprag-ishodište Željezare Sisak, Kem. Ind. 70 (7-8) (2021) 411–418, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2021.016>.
- M. Gojić, Metalurški kombinat Željezara Sisak, Kem. Ind. 70 (9-10) (2021) 563–580, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2021.018>.
- L. Holappa, Recent achievements in iron and steel technology, J. Chem. Technol. Metallurg. 52 (2) (2017) 159–167.
- R. P. De Menezes, P. F. Salarolli, L. G. Batista, H. S. Furtado, M. A. S. L. Cuadros, Slopping index for LD converters based on sound and image data fusion by fuzzy Kalman filter, Ironmak. Steelmak. 49 (2) (2022) 178–188, doi: <https://doi.org/10.1080/03019233.2021.1973883>.
- Latest developments in steelmaking capacity, Report of Directorate for Science, Technology and Innovation, Organisation for Economic Co-operation and Development, DSTI/SC(2020)3/FINAL, 22. 06. 2020.
- M. M. Elkoumy, M. El-Anwar, A. M. Fathy, G. M. Megahed, I. El-Mahallawi, H. Ahmed, Simulation of EAF refining stage, Ain Shams Eng. J. 9 (2018) 2781–2793, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.10.002>.
- T. Willms, T. Echterhof, S. Steinlechner, M. Aula, A. Abdelrahim, T. Fabritius, D. Mombelli, C. Mapelli, S. Preiss, Investigation on the Chemical and Thermal Behavior of Recycling Agglomerates from EAF by-Products, Appl. Sci. 10 (2020) 8309, doi: <https://doi.org/10.3390/app10228309>.
- X. Lia, W. Sun, L. Zhao, J. Caib, Material Metabolism and Environmental Emissions of BF-BOF and EAF Steel Production Routes, Miner. Process. Extr. Metall. Rev. 39 (1) (2018) 50–58, doi: <https://doi.org/10.1080/08827508.2017.1324440>.
- H. Yu, G. Qiu, J. Zhang, X. Wang, Effect of Medium Basicity Refining Slag on the Cleanliness of Al-killed Steel, ISIJ Int. 61 (12) (2021) 2882–2888, doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-184>.
- M. Jisng, K. Li, R. Wang, E. Yang, X. Wang, Cleanliness and Control of Inclusions in Al-Deoxidized Bearing, Steel Refined by Basic Slags during LF-VD-Ar Bubbling, ISIJ Int. 62 (1) (2022) 124–132, doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-306>.
- J. Krajcar, Primjena kisika u SM pećima: opći pregled i rezultati u MK "Željezara Sisak", Metalurgija 22 (1-2) (1983) 25–32.
- Z. Čepo, Željezara Sisak 1938–1978, treće prerađeno i dopunjeno izdanje, SOUR Metalurški kombinat "Željezara Sisak", Sisak, 1978.
- A. Bonačić-Mandinić, A. Jerković, Poduzeće "Jadranska željezara", Institut za pomorsku, turističku i obalnu privredu, Split, 1972.
- V. Šimunović, Jadranska željezara-novi član Udruženja jugoslavenskih željezara, Čelik 12 (60) (1976) 25–29.
- M. Gojić, Stanje i trend proizvodnje čelika u svijetu i Republici Hrvatskoj, u: T. Filetin (ur.), Zbornik radova s multidisciplinarnog savjetovanja: "Materijali i tehnološki razvoj", Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, 2002.
- V. Čakširan, Željezara Sisak-nedovršeni gigant, Gradski muzej Sisak, Sisak, 2018.
- Đ. Tadić, Željezara Sisak – tvornica čelika i života, Kultura vrijednosti, Sisak, 2017.
- M. Malina, Tranzicija u Željezari Sisak, Metalurgija 42 (1) (2003) 69–73.
- M. Dundjer, Industrijska proizvodnja čelika u ABS Sisak d.o.o., diplomski rad, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2022.
- M. Knap, Steelmaking in Slovenia after the First World Steel, The song of metal-Millennia of Metallurgy in Slovenia, National Museum of Slovenia, Ljubljana, 2019.
- M. Gojić, Razvoj znanstvenog polja metalurgije u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1960. do 2020. godine, Kem. Ind. 70 (5-6) (2021) 293–310, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2021.003>.
- M. Gojić, Enciklopedijska natuknica: čelik, Hrvatska tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022., URL: <https://tehnika.lzmk.hr/?s=%C4%8Delik> (12. 5. 2022.).

SUMMARY

Features of Crude Steel Mass Production in the Republic of Croatia from 1954 to 2020

Mirko Gojić,^{a*} Stjepan Kožuh,^a Ivana Ivanić,^a and Milan Bakić^b

This work presents a brief review of mass crude steel production technology in the 1954–2020 period, with an accent on steel production in the Republic of Croatia in the 1992–2020 period. Steel producers in Croatia were Ironworks in Sisak and Split. Steel was produced using Siemens-Martin (Sisak) and electric arc furnaces (Sisak and Split). Today, steel is produced only by ABS Sisak Ltd., using contemporary electric arc furnaces including steelmaking processes (ladle-furnace and vacuum degasser). Due to the devastation of the working capacities of Sisak Ironworks (before 2012), and shutdown of steel production at Split Ironworks, today Croatia has no possibility of processing its own steel by plastic deformation processes into semi-finished products and/or finished products. In Croatia, during the 1954–2020 period, about 9.3 Mt of crude steels were produced (carbon and low alloyed steels). Also shown is the role of higher education and scientific-research work in steelmaking in the Republic of Croatia.

Keywords

Metallurgy, steelmaking, SM furnace, electric arc furnace, ABS Sisak Ltd.

^a University of Zagreb, Faculty of Metallurgy,
Aleja narodnih heroja 3, 44 000 Sisak,
Croatia

^b ABS Sisak, Ltd., Braće Kavurića 12, 44 000
Sisak, Croatia

Review
Received May 18, 2022
Accepted July 14, 2022