

Povijesni razvoj ljevarstva na području današnje Republike Hrvatske

M. Gojić^{a,b*}

Ovo 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

^b Sveučilište Sjever, Trg dr. Žarka Dolinara 1, 48 000 Koprivnica

Sažetak

U ovom radu prikazan je povijesni pregled razvoja ljevarstva na području današnje Republike Hrvatske. Ljevarstvo kao metalurška djelatnost na području današnje Republike Hrvatske datira više od 6000 godina. Arheološki nalazi svjedoče o počecima razvoja ljevarstva u bakrenom dobu. Za vrijeme vučedolske kulture lijevala se arsenska bronca. U početku lijevana su oruđa, oružje, nakit itd. Od 19. stoljeća do početka Drugoga svjetskog rata otvarale su se brojne ljevaonice, posebice na području Rijeke i okolice, Slavonije (Slavonski Brod, Požega itd.), Zagreba i okolice, Dalmacije (Šibenik, Split), Siska i okolice itd. Opremljenost ljevaonicama bila je veoma slaba i nedostajalo je stručnog kadra, a rad se odvijao zanatski. Nositelji ljevarske proizvodnje su ljevači stranci tzv. univerzalnog karaktera, a inženjerskog kadra gotovo nije ni bilo. Nakon Drugoga svjetskog rata došlo je do obnavljanja prijeratnih i otvaranja novih ljevaonica. Tijekom 1946. godine u 17 ljevaonica proizvedeno je oko 8 kt odljevaka. U prvih 15 godina nakon rata vrlo se slabo investiralo u modernizaciju ljevaonica. U razdoblju 1959. – 1963. dio ljevaonica prelazi s obrtničkog na industrijski način proizvodnje, što je bitno povećalo proizvodnju odljevaka (posebice sivog lijeva). Od 1964. do 1970. započinje razvoj i modernizacija ljevaonica, što je dovelo do porasta proizvodnje s prosječnom godišnjom stopom rasta od 5 %. Najveća proizvodnja u ljevaonicama bila je u razdoblju od 1983. do 1987. kad se proizvodilo između 123 i 127 kt odljevaka. Krajem 1980-ih, a posebice početkom 1990-ih, znatno je smanjena proizvodnja odljevaka. Posljednjih 30-ak godina proizvodnja odljevaka progresivno raste. Tijekom 2023. u 25 ljevaonica proizvedeno je 109,9 kt odljevaka (31,87 % željeznih lijevova i 68,11 % neželjeznih lijevova) s 4266 zaposlenika. Važan doprinos razvoju ljevarstva proističe od visokoškolskih i znanstvenih institucija, Hrvatskog udruženja za ljevarstvo itd.

Ključne riječi

Ljevarstvo, željezo, bakar, aluminij, željezni odljevci, neželjezni odljevci

1. Uvod

Povijesni razvoj civilizacije u uskoj je vezi s razvojem materijala među kojima metalni materijali imaju primarnu ulogu. Pored proizvodnje i prerade čelika i aluminija, u Republici Hrvatskoj vrlo je važna i proizvodnja odljevaka. Prva oruđa bila su od kamena, drveta, školjaka ili bilo kojeg drugog materijala, onakvog kakvog je čovjek našao u prirodi. Bakar je prvi metalni materijal koji čovjek upotrebljava za izradu oruđa i oružja. Čovjek je uz tehnologiju lijevanja naučio legirati bakar s kositrom stvarajući kositrenu broncu koja je daleko čvršća i tvrđa za izradu predmeta potrebnih za svakodnevnu uporabu. Prva oruđa su sjekira, mač, nož itd.¹

Ljevarstvo je jedna od najstarijih industrijskih djelatnosti u Hrvatskoj.² Lijevanje metala u kalupe jedinstven je postupak oblikovanja metala po raznolikosti metoda kalupljenja i lijevanja kojima je moguće na ekonomičan način proizvesti komponente različitih oblika i složenosti, tj. odljevke od različitih vrsta metalnih legura (slitina). Pri lijevanju se metalna talina ulijeva u prethodno pripremljenu šupljinu u kalupu (kalupna šupljina).^{3–5} Hlađenjem i skrućivanjem rastaljenog metala dobiva se odljevak željenog oblika.

Za lijevanje metalnih materijala potrebne su velike količine energije, gorivo te metalne i nemetalne sirovine. Ljevarstvo kao metalurška djelatnost na neki način prekriva

i crnu i obojenu metalurgiju, jer se tehnologijom lijevanja mogu dobiti odljevci na bazi željeza i na bazi obojenih metala.⁶ Veliko je područje primjene odljevaka: sustavi za distribuciju vode, komponente za automobilsku industriju, zrakoplovstvo, brodogradnju, strojogradnju, naoružanje, nakit itd.

2. Vrste lijevova

Prema sadržaju ugljika ljevarske legure na osnovi željeza mogu biti čelični i željezni lijevovi. Čelični lijevovi, u skladu s Fe-Fe₃C dijagramom, u osnovi su legure željeza do maksimalno 2 mas. % ugljika. Iznad te granice radi se o željeznim lijevovima. Čelični lijevovi mogu biti ugljični i legirani.

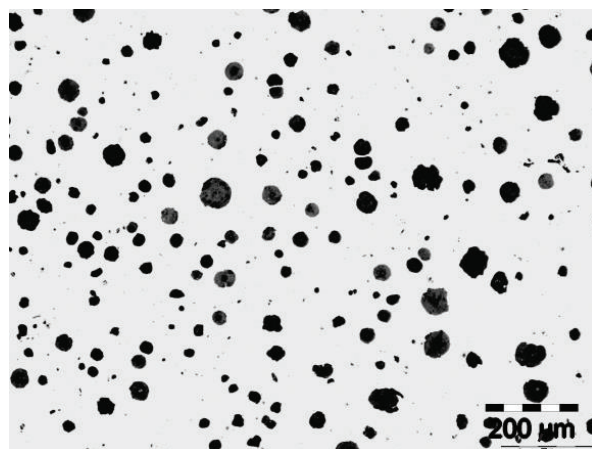
Željezni lijev jest legura na bazi željeza kod koje se tijekom skrućivanja odvija eutektička reakcija.³ Eutektičkom reakcijom prema stabilnom sustavu dolazi do pretvorbe taline u dvije krute faze: eutektički austenit (γ-Fe) i grafit. Ako se navedena reakcija odvija prema metastabilnom sustavu, što ovisi o kemijskom sastavu taline i uvjetima pri hlađenju i skrućivanju, dolazi do stvaranja eutektičkog austenita i karbida.

Općenito, postoje dvije skupine komercijalno uporabljivih željeznih lijevova: željezni lijevovi s grafitom različita oblika: sivi lijev s lističavim grafitom (slika 1), nodularni lijev s kuglastim ili nodularnim grafitom (slika 2), vermikularni i temperni lijev (dobiven naknadnom toplinskom obra-

* Autor za dopisivanje: prof. dr. sc. Mirko Gojić
E-pošta: gojic@simet.unizg.hr; mgojic@unin.hr



Slika 1 – Tipičan oblik grafita u odljevku sivog lijeva³
Fig. 1 – Typical graphite shape of grey iron casting³



Slika 2 – Tipičan oblik grafita u odljevku nodularnog lijeva³
Fig. 2 – Typical graphite shape of ductile iron casting³

Tablica 1 – Vrste željeznih ljevova s obzirom na mikrostrukturu i prijelom⁶

Table 1 – Types of ferrous irons with regard to the microstructure and fracture⁶

Vrsta lijeva Type of casting	Faza bogata ugljikom Carbon-rich phase	Metalna osnova Metallic matrix	Boja na prijelomnoj površini Colour of fracture surface	Konačna mikrostruktura nakon... Final microstructure after...	Oznaka s pripadajućom normom Designation and the corresponding standard
Sivi lijev Grey iron casting	Listićavi grafit Lamelle graphite	P, F	Siva Grey	skrućivanja solidification	GJL (HRN EN 1561)
Nodularni lijev Ductile cast iron*	Nodularni grafit Nodule graphite	F, P, A	Srebrno siva Silver grey	skrućivanja solidification	GJS (HRN EN 1563)
Vermikularni lijev Vermicular cast iron	Vermikularni grafit Vermicular graphite	F, P	Siva Grey	skrućivanja solidification	GJV (HRN EN 16079)
Bijeli željezni ljevovi White ferrous irons	Karbidi (cementit i miješani karbidi) Carbides (cementite and mixed carbides) (Fe ₃ C, M ₃ C, M ₇ C ₃)	P, M, A	Bijela White	skrućivanja ili toplinske obrade solidification or heat treatment	GJN (HRN EN 12513)
Melirani lijev Mottled iron	Listićavi grafit + karbid Lamella graphite + carbides	P	Siva i bijela Grey and white	skrućivanja solidification	
Temperni lijev Malleable iron casting	Temperni grafit Malleable graphite	F, P	Srebrno siva Silver grey	toplinske obrade heat treatment	GJMB, GJMW (HRN EN 1562)
Ausferitni nodularni lijev Ausferritic spheroidal graphite casting	Nodularni grafit Nodule graphite	A/F	Srebrno siva Silver grey	toplinske obrade heat treatment	GJS (HRN EN 1563)

F – Ferit, P – Perlit, A – Austenit, M – Martenzit, A/F – Austenit/ferit; F – Ferrite, P – Pearlite, A – Austenite, M – Martensite, A/F – Ausferrite

* Nodularni lijev u skladu s EN 1563; * Spheroidal graphite cast iron according to EN 1563

dom) te željezni ljevovi bez grafita (bijeli željezni ljevovi). Željezni ljevovi s grafitom primarno su legure željeza koje sadrže više od 2 mas. % ugljika (obično 3,0 – 3,5 mas. %) te od 2 do 3 mas. % silicija (promovira izlučivanje ugljika u obliku grafita). Široke varijacije svojstava mogu se postići promjenama u kemijskom sastavu i toplinskom obradom.

Za razliku od željeznih ljevova s grafitom, bijeli željezni ljevovi u mikrostrukturi sadrže karbide koji potječu od povišenog ili visokog udjela karbidotvornih elemenata (ponaјprije kroma). Zbog karbida imaju visoku otpornost na trošenje, pa se često nazivaju i željeznim ljevovima otpornim na trošenje.

Prema tome sadrže li grafit ili karbide, željezni se lijevo- vi mogu razvrstati prema mikrostrukтури metalne osnove (feritni, perlitni, austenitni, martenzitni, ausferitni) ili vrsti prijeloma (tablica 1).⁶

3. Ljevarstvo na području Hrvatske do 20. stoljeća

Povijest ljevarstva na području Europe započinje prije oko 7500 godina, a na području današnje Hrvatske prije oko 6000 godina.^{6,7} Arheološki nalazi kod nas svjedoče o počecima razvoja ljevarstva u bakrenom dobu. Najstariji gotovi proizvod, tj. odljevak koji nakon skrućivanja poprima oblik u kalupu, jest bakrena sjekira koja datira još od oko 4000. g. pr. Kr. i pronađena je u Rudama pokraj Samobora.⁷ Na području Slavonije pronađeni su primjeri lijevanja iz razdoblja badenske kulture (4. tisućljeće pr. Kr.). Nakon toga su se u vrijeme Vučedolske kulture (3000. – 2500. g. pr. Kr.) na području istočne Slavonije lijevale sjekire, bodeži, dlijeta itd. Uporabom glinenih dvodijelnih kalupa ljevači vučedolske kulture omogućili su početak serijske proizvodnje, dok su uporabom arsenskih bronci poboljšali livljivost i tvrdoću lijevanih proizvoda. Na području današnje Hrvatske brojna su arheološka nalazišta ostataka ljevaonica (Dubrovnik, Sveti Petar kraj Ludbrega itd.). U doba Rimskog Carstva na području današnjeg Siska bila je vrlo razvijena metalurška djelatnost koja je uključivala proizvodnju oružja i kovnicu novca.⁸

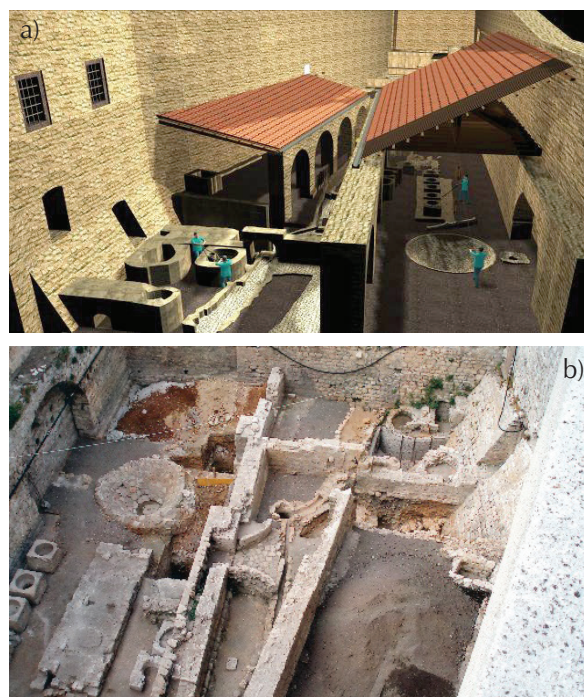
Pouzdanost je utvrđeno da su se na području današnje Hrvatske u 15. stoljeću otvarale prve ljevaonice. Dubrovačka ljevaonica topova počela je raditi 1410. godine, prije nego u Pragu (1424.), Beču (1470.) itd. Prvi ljevački majstor bio je Lilio iz Apulije (Južna Italija), koji je do 1416. lijevao topovske cijevi iz bronce. U drugoj polovici 15. stoljeća osnovane su ljevaonice topova i zvona ispod tvrđava Minčeta i Revelin. Tijekom arheoloških istraživanja na tvrđavi Revelin u Dubrovniku nađeni su ostatci velike i male peći za izradu taline za lijevanje topova (slika 3), dijelovi kalupa za lijevanje topova kao i ostatci troske.⁹



Slika 3 – Peć za izradu taline za lijevanje topova i zvona u tvrđavi Revelin u Dubrovniku s početka 16. stoljeća⁶

Fig. 3 – Furnace for producing molten metal for casting cannons and bells in Revelin Fortress in Dubrovnik, dating from the early 16th century⁶

Arheološka istraživanja u razdoblju od 2005. do 2008. unutar gradskih zidina tvrđave Minčeta (izgrađena početkom 14. st.) otkrila su talionicu (slika 4) s četiri peći od kojih su tri služile za taljenje metala, a jedna je vjerojatno služila kao staklarska peć ili peć za žarenje voska.¹⁰ Nađena je i kaluparnica u kojoj su se izrađivali kalupi od ljevačkog pijeska (za izradu topova, zvona, kugli pušanih zrna itd.), bazeni za pročišćavanje ljevačkog pijeska i kanali s taložnicima za filtriranje vode. Kaluparnica je imala i velik konusni kalup ukopan u zemlju (gornji promjer 3 m, donji promjer 1 m) za lijevanje većih konusnih odljevaka poput topova i zvona. Talioničke peći bile su izrađene od mješavine grafita i gline. Pronađeni su i fragmenti šupljih topovskih kugli promjera oko 0,20 m za bombe (topničko oružje koje je ustvari kombinacija topa i minobacača) koje su imale otvor za barut i fitilj, manjih punih kugli promjera 0,06 i 0,07 m te šuplje kugle promjera 0,10 m, pušcana zrna promjera oko 0,022 m te kalup za njihovu izradu, fragmenti grafitnih talioničkih posuda, troska, sedrene cjevčice za upuhivanje zraka u peć itd. Osim kalupa, u toj su radionici sa zapadne strane bile i četiri manje peći, koje su služile za zagrijavanje posuda za taljenje.



Slika 4 – Ljevaonica u Dubrovniku: (a) rekonstrukcija, (b) arheološka istraživanja⁹

Fig. 4 – Foundry in Dubrovnik: (a) reconstruction, (b) archaeological research⁹

Ivan Krstitelj Rabljanin (1470. – 1540.), kao glavni ljevač topova i zvona Dubrovačke Republike i izvrstan dekorater, lijevao je topove (bombe, za tvrđave i galije, topove za željezne kugle, željezne olovom prevučene kugle, kordalde – kratki topovi, mužare itd.) te zvona svih vrsta. Njegov odliveni brončani top mase 2184 kg iz 1504. godine, koji je nosio lik sv. Vlaha, od 1816. godine nalazi se u Vojnom muzeju u Beču⁷ i jedini je njegov sačuvani top. On

je kao poznati ljevač i u inozemnim okvirima, s dopuštanjem Dubrovačke Republike, slao svoje radove, posebno topove u Bari, Otranto i Barcelonu. Najpoznatiji i najveći top "Gušter" (duljine oko 3 m) izlio je 1537. godine za tvrđavu Lovrijenac, koji je nažalost završio u moru.¹¹ Unatoč nepoznavanja točne lokacije, bilo je nekoliko neuspjelih pokušaja vađenja zvona iz mora. Zvona Ivana Rabljanina Krstitelja još uvijek odzvanjaju Dubrovnikom (datirana i signirana s *Opus Baptistae*, tj. njegovim imenom) na Luži (1525.), gradskom zvoniku (1534.), zvoncima dominikanske crkve sv. Nikole (1520.), crkve sv. Josipa (1534.) itd.⁶

U gradu Hvaru najstarije zvono (slika 5) je iz 1487. godine s crkve Anuncijate koje je od rekvizicije austrougarskih vojnih vlasti za ratne potrebe (1915. – 1918.) izuzeo i spasio konzervator don Frane Bulić.¹² Ljevaonica je postojala i u Senju od 1541. godine, u kojoj su se pretaljivali neuporabljivi topovi, ali se iskorištavala i ruda bakra.¹³

Zagrebačka ljevaonica zvona radila je u razdoblju od 1456. do 1929. godine (1936. godine srušena je zgrada ljevaonice), a pored zvona lijevali su se mužari, svijećnjaci, svjetiljke, cijevi itd. Ljevaonicu na području današnjeg Gornjeg grada (Nova Ves) utemeljio je zvonoljevač Ilija Benković (? – 1490.) sin Benedikta iz Požege. Poslije su se otvarale i brojne druge ljevaonice (127 zvonoljevačkih obrtnika), uz brojne zvonoljevače, uglavnom strance, zahvaljujući blizini rudišta rude bakra u Čabru, Rudama pored Samobora, na Trgovskoj, Zrinskoj i Petrovoj Gori.

Jedan od najvećih zvonoljevača u zagrebačkoj ljevaonici, posebice za velika i masivna zvona, njemačkog podrijetla, je Henrik Degen (1801. – 1861.), koji je za svoje zasluge (više od 260 njegovih zvona registrirano je u Hrvatskoj) još 1928. godine dobio svoju ulicu u Zagrebu.¹⁴ U zagrebačkoj ljevaonici 1843. Henrik Degen je odlío i najveće zvono zagrebačke katedrale, dotad najveći brončani odljevak u Hrvatskoj (mase 6,4 t, visine 2,16 m i promjera 2,21 m). Od 1875. do 1935. godine je domaća ljevaonica "Jakov Cukrov" iz Splita odlila na tisuće zvona.

U Zagrebu i njegovoj okolici je osim ljevaonice zvona osnovano i niz ljevaonica za druge namjene. Tako je 1874. godine osnovana prva hrvatska tvornica strojeva i ljevaonica željeza u blizini današnjeg Britanskog trga, ali se nije dugo održala zbog konkurencije iz Austrije i Njemačke. Nešto kasnije osnovane su i dvije obrtničke ljevaonice: ljevaonica i trgovina kositrene bronce za izradu pribora za jelo (1876.) i ljevaonica za odljeveke od mjedi (sitna armatura za vodovod i plinovod). Kad su te ljevaonice prestale raditi nema podataka.

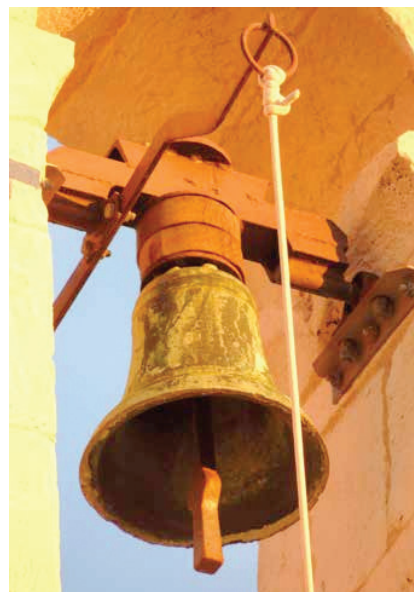
Ljevaonice su postojale na području Banije (Trgovi kod Dvora, Bešlinac u blizini Siska itd.), Vranovini u blizini Topuskog za različitu metalnu robu, kao npr. pribor za jelo, odljevci od sivog lijeva itd. Od 1808. kad je poteklo sirovo željezo iz visoke peći u Trgovima, počeli su se lijevati željezni odljevci na području današnje Hrvatske. Tom je prilikom odliveno nekoliko mužara i osam topovskih cijevi koje su se kasnije upotrebljavale u baterijama na brodovima.⁶ Godine 1857. sagrađena je nova kamena visoka peć i ljevaonica bakra u Bešlincu. U razdoblju 1918. – 1934. visoka peć u Bešlincu nije radila, jer su je belgijski vlasnici "otpisali", ali ponovno je aktivirana 1935. te je radila do

kraja 1941. za izvoz i za potrebe novootvorene (1939.) Talionice Caprag u Sisku. U Vranovini visoka peć je puštena u rad 1860. za proizvodnju bijelog i sivog sirovog željeza. Sivo sirovo željezo upotrebljavalo se kao uložak za izradu odljevaka u ljevaonicama u Zagrebu, Osijeku, Požegi itd. Rušile su se stare ili obnavljale te gradile nove talionice, tako da je u dvije visoke peći (Trgovi i Bešlinac) u 1885. godini ukupno proizvedeno oko 13,4 kt odljevaka.

U rudniku Sv. Barbara u Rudama pokraj Samobora eksploatirala se bakrena i željezna ruda.¹⁵ Početkom 19. stoljeća u okviru Samoborskog rudarskog udruženja radila je taliionica bakra u Rudama. Godine 1851. prestaje proizvodnja bakra zbog iskorištenosti rudnika. U ljevaonici željeza u Rudama su se od 1857. dobivali odljevci iz visoke peći od tzv. "prvog ispusta". Jedan je odljevak iz toga vremena sačuvan i nalazi se u samoborskom muzeju. Ljevaonica u Rudama izgorjela je u požaru 1860. godine te je prestala s radom. Rudnik Sv. Barbara otvoren je 2012. godine kao muzejski prostor, kojem je podzemni prostor danas poligon za nastavnu (terenska nastava) i znanstvenoistraživačku djelatnost.¹⁵

Prva industrijska ljevaonica na području današnje Hrvatske osnovana je 1853. u Rijeci (na početku za lijevanje sidara) u kojoj je 1866. proizveden prvi svjetski uporabljivi torpedo. Ta je ljevaonica od 1953. bila dio Tvornice oružja, motora i vozila "Torpedo". U Rijeci u razdoblju od 1864. do 1869. počela je raditi mala ljevaonica bronce i željeza, a 1931. otvorena je nova ljevaonica. Navedena ljevaonica je od 1948. poslovala kao dio Tvornice pumpi i brodske opreme "Rikard Benčić".

U Osijeku 1860-ih lijevali su se odljevci za poljoprivredne strojeve. Ljevaonica željeza i obojenih metala brodogradi-



Slika 5 – Najstarije zvono na otoku Hvaru iz 1487. godine na crkvi Anuncijate-Duh Sveti u gradu Hvaru¹²

Fig. 5 – The oldest bell on Hvar Island, dating from 1487, on the Church of the Annunciation-Holy Spirit in the town of Hvar¹²

lišta "Uljanik" osnovana je 1885. i bila je jedna od najmodernijih ljevaonica u Austro-Ugarskoj Monarhiji. Brodogradilište "3. maj" u Rijeci, koje je osnovano 1905. također je imalo svoju ljevaonicu, ali godina njezina početka rada nije poznata.

Ljevaonica u Daruvaru razvila se iz strojobravarске radionice osnovane 1890. godine. Godine 1912. radionica je postala Tvornica strojeva i ljevaonica željeza i bakra, a od 1938. godine djeluje pod nazivom Dalit.

4. Razvoj ljevarstva do Drugoga svjetskog rata

Početkom 20. stoljeća lijevani proizvodi su se većinom izvozili. U prvoj polovici 20. stoljeća otvorene su brojne ljevaonice u Hrvatskoj.^{7,16} U Zagrebu je osnovana (1900.) ljevaonica željeza "Eisenhuth" (pravi naziv je: Strojarsko-električarska tvornica Eisenhuth i drug, nazvana prema osnivaču Radoslavu Eisenhuthu). Prvi ljevači u njoj su bili stranci, a pomoćni radnici i ljevački početnici bili su domaći ljudi. Lijevali su se odljevci za kanalizaciju, rasvjetu, papuče kočnica za željezničke vagone, zvona itd., jer se grad Zagreb ubrzano razvijao. Zbog poslovnih problema tvornica je 1908. godine "propala" i otkupljena te je počela poslovati kao "Prva hrvatska tvornica strojeva i ljevaonica željeza d. d." Ljevaonica je radila i za vrijeme Prvoga svjetskog rata, ali je proširila proizvodni program na peći za grijanje prostorija, sifone, ploče za štednjake itd. Tvornica je radila do 1932.

Razvojem grada Zagreba nakon Prvoga svjetskog rata u razdoblju 1919. – 1943. otvorile su se 43 ljevaonice,¹⁷ koje su proizvodile dijelove za vodovod, kanalizaciju, željeznicu, kućanstva, armature, lijevanje umjetnina itd. U okviru tvrtke "Sila" za proizvodnju strojeva, opreme izmjenjivača topline i brtvila, koja je osnovana u Zagrebu 1919. godine, osnovana je i ljevaonica koja od 1969. djeluje u okviru zagrebačke tvrtke "Rapid".

U Zagrebu se 1922. osniva ljevaonica sivog lijeva te ljevaonica bronce i aluminijska, koja je već 1923. usvojila tehnologiju lijevanja parnih cilindara. Navedena ljevaonica od 1959. djeluje u okviru "Tvornice željezničkih vozila Janko Gredelj". Također, 1922. godine u Zagrebu braća Ševčik iz Češke osnovali su mehaničku radionicu za izradu metalnih proizvoda i održavanje strojne opreme (preteča svjetski poznate nekadašnje Tvornice alatnih strojeva "Prvomajska" osnovane 1946. godine), koja je u svojem sastavu od 1929. imala ljevaonicu željeza (primarno odljevci iz sivog lijeva) za proizvodnju tokarskih klupa za izradu strojeva te teških armatura za vodovod i kanalizaciju. U to su se vrijeme ljevaonica i radionica stalno modernizirale, tako da je 1936. imala i modelarnicu, kovačnicu i pogon za mehaničku obradu.

Osnivaju se i ljevaonice u drugim mjestima i gradovima:⁶ u Hercegovcu (1903.) kao Tvornica strojeva i ljevaonica željeza, koja od 1949. djeluje kao "Metal Hercegovac", u Belišću (1905.) kao dio tvornice koja je izrađivala i popravljala vagone i lokomotive, gdje su se lijevale tračnice za uskotračnu lokalnu željeznicu, u Osijeku (1908.), koja

od 1912. djeluje kao "Osječka ljevaonica tuča" (OLT), kasnije kao "Osječka tvornica lijevanih željeza i tvornica strojeva" (proizvodila je više vrsta armatura, oruđa itd.), u Požegi (1912.), koja je 1922. prerasla u ljevaonicu željeza (od 1981. posluje pod nazivom "Plamen"), u Bjelovaru (1917.), koja je bila ljevaonica sivog lijeva i od 1960. godine dio tvornice strojeva i ljevaonica "Tomo Vinković", u Slavonskom Brodu (1921.) u okviru prve jugoslavenske tvornice vagona, strojeva i mostova (danas u okviru "Đuro Đaković Group"), koja je u svojem sastavu imala i ljevaonicu željeza, u Karlovcu (1923.) kao Prva karlovačka ljevaonica željeza i industrija gospodarskih strojeva Dobra itd.

Ljevaonica željeza na riječkom Sušaku osnovana je 1929. godine (od 1933. djeluje u sustavu tvornice brodske opreme "Vulkan"), a uz nju i odgovarajuća modelarnica. Predratna godišnja proizvodnja te ljevaonice iznosila je oko 100 t odljevaka iz sivog lijeva i obojenih metala.

Ljevarstvo se razvijalo i u Dalmaciji. Godine 1920. osniva se ljevaonica "Deželić i drugovi" preseljenjem ljevaonice iz Pule. Između Prvoga i Drugoga svjetskog rata u Splitu su osnovane ljevaonice koje su radila za potrebe cementara i brodogradilišta. Prve suvremene ljevaonice u Dalmaciji vezane su s otvaranjem nekadašnjih metalurških velikih gospodarskih subjekata: Tvornice elektroda i ferolegura (TEF) u Šibeniku (1903.), Tvornice karbida i ferolegura Dalmacija-Dugi Rat (1914.) i Tvornice aluminijske Lozovac (TAL) pored Šibenika (1937.). Neposredno uz halu elektrolize glinice u TAL-u izgrađena je i ljevaonica aluminijska.

Godine 1908. u Privremenoj višoj školi za umjetnost i obrt u Zagrebu (od 1941. godine Akademija likovnih umjetnosti, ALU) otvorena je ljevaonica umjetnina (jedna od najstarijih u ovom dijelu Europe), čiji je rektor u razdoblju od 1923. do 1944. bio svjetski poznati kipar i arhitekt Ivan Meštrović (1883. – 1962.). U njoj su izliven brojne njegove skulpture, kao npr. *Indijanci (kopljani i strijelac)* u Chicagu (1928.), *Grgur Ninski* u Splitu (1929.), *Spomenik zahvalnosti Francuskoj* u Beogradu (1930.) itd.

Brojne otvorene ljevaonice između Prvoga i Drugoga svjetskog rata većinom su male (10 – 12 zaposlenih), obrtničkoga su karaktera s tzv. "svaštarskom" proizvodnjom odljevaka.¹⁸ U njima su se lijevali odljevci malih dimenzija i mase od sivog lijeva, bronce i mjedi, a ponekad se pretaljivala strugotina od bronce i mjedi, stari cink i olovo.¹⁹ Odljevci su zbog, u to vrijeme, nerazvijene metalne industrije bili po obliku krajnje jednostavni i bez posebnih tehničkih zahtjeva u pogledu kvalitete. Stručna sprema ljevačkog kadra bila je veoma niska. Poslodavci su uveli rad na tzv. "akord", tj. rad nije plaćen po nadnici, nego po količini dobrih odljevaka bez grešaka. U većini tih ljevaonica maksimalna godišnja proizvodnja bila je do 50 t. Iznimke su s proizvodnjom do i više od 1 kt odljevaka u ljevaonicama: "Tvornica vagona" u Slavonskom Brodu, "Braća Ševčik" i "Sila" u Zagrebu itd.

Godine 1939. puštena je u rad visoka peć u talionici Caprag u Sisku za proizvodnju bijelog i sivog sirovog željeza. Neposredno uz visoku peć izgrađena je i ljevaonica s kupolnom peći visine 8 m za preradu sivog sirovog željeza u sivi lijev od kojeg su se lijevale papuče za kočnice na vagonima, ploče i kugle za cementnu industriju itd.²⁰ U okviru Tvornice aluminijske Lozovac (TAL) pored Šibenika započela

je raditi ljevaonica Al-legura (1937.).⁶ Godine 1939. otvorena je ljevaonica u Varaždinu u okviru današnje Metalske industrije Varaždin (MIV).

Prvi ljevači, uglavnom stranci (Slovenci, Česi, Talijani i Mađari), koji su došli u Hrvatsku uvoditi proizvodnju odljevaka u naše ljevaonice, bili su iskusni te su imali široka stručna znanja i kompetencije za preciznu izradu kalupa.¹⁹ Prenosili su potrebna znanja na mlađe domaće ljude, posebno za izradu kalupa. U to vrijeme ljevači su bili svojevrsna društvena i građanska elita. Visokostručnog kadra i nije bilo. Tek krajem 1920-ih u ljevaonice su došli prvi inženjeri, koji su se počeli baviti tehnologijom lijevanja s ciljem njezina unaprjeđenja.

Između dvaju svjetskih ratova rudarstvom i metalurgijom upravljalo je Kraljevsko rudarsko satništvo u Zagrebu, a uspostavom Banovine Hrvatske (26. kolovoza 1939.) tu je ulogu preuzelo Rudarsko glavarstvo u Zagrebu.⁶ Prije Drugoga svjetskog rata opremljenost ljevaonica je gotovo nikakva, a osjećao se i nedostatak stručnog kadra. U ljevaonicama je isključivo bila ručna priprema pijeska, rad se odvijao zanatski, nije postojala organizirana tehnološka priprema rada, neriješeni su problemi transporta, rad se odvijao u nehygijskim uvjetima itd. Nositelj ljevarске proizvodnje bio je ljevač tzv. univerzalnog karaktera, a inženjerskog kadra gotovo nije ni bilo.²¹ Prvi inženjer koji se bavio ljevarstvom je ing. Niko Malešević (1901. – 1982.), kasnije dugogodišnji (1946. – 1972.) profesor današnjeg Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, koji je u razdoblju 1926. – 1941. radio u ljevaonici "Radionice državnih željeznica" u Zagrebu. Prof. Malešević poboljšava operacije kalupljenja i lijevanja te uvodi industrijski način rada umjesto obrtničkog. Na području Hrvatske 1939. godine bila je aktivna 21 ljevaonica, u kojima je proizvedeno 9 kt odljevaka,²² a prijeratnu proizvodnju odljevaka karakterizirale su usitnjenost i tzv. "svaštarenje".

5. Ljevarstvo u Hrvatskoj od 1945. godine do osamostaljenja

Ljevarstvo je tijekom Drugoga svjetskog rata gotovo prestalo zbog nedostatka kadra, sirovina, otežanih komunikacija itd. Ljevaonice su dobrim dijelom ostale pošteđene od ratnih razaranja. Jedino su ljevaonica vojnog arsenala u Puli i ljevaonica Tvornice vagona u Sl. Brodu do temelja porušene. Ljevački stručni kadar je nestao (sveo se na oko 10 % predratnog), tako da je oživljavanje ljevačke industrije bilo vrlo teško.¹⁸ Zbog industrijalizacije bilo je nužno obnavljati stare, ali i otvarati nove ljevaonice. Veće ljevaonice razvijale su svoju proizvodnju na temelju poduzeća koja su već osnovana prije Drugoga svjetskog rata, kao što su: Tvornica dizalica i ljevaonica "Vulkan", Tvornica motorne opreme i ljevaonice ("Rikard Benčić" i "Torpedo"), MIV iz Varaždina, Dalit iz Daruvara, ljevaonice u okviru TAL-a i TEF-a Šibenik itd.

Završetkom Drugoga svjetskog rata ljevaonice su nacionalizirane. Godine 1946. u 17 ljevaonica odliveno je oko 8 kt odljevaka.²³ Jedan od najvećih problema bio je nedostatak kadra na svim razinama. Npr. cjelokupni visokoobrazovani ljevački kadar u to vrijeme sastojao se od samo četiri inženjera.

Otvorene su sljedeće nove ljevaonice: IKOM Zagreb (1946.), ljevaonica u okviru tvornice Metaloplastika iz Makarske (1955.), u Čakovcu (1955.), Vulkan iz Zagreba (1960.), Strojari u Gornjoj Bistri (1960.), Metalac iz Konjščine (1961.), Lipovica iz Popovače (1968.), u današnjem CIMOS-u u Buzetu 1969. godine otvoreno je poduzeće za proizvodnju automobilskih dijelova, IMPK iz Ivanić Grada (1973.), u Kumrovcu (1978.), u Benkovcu (1980.), ljevaonica u okviru Metal-Produkt pored Zagreba (1986.) itd. te ljevaonice u okviru velikih tvrtki: Željezara Sisak (1954., slika 6), ljevaonica brodogradilišta "Brodosplit" (1951.), ljevaonica Al-legura u okviru Tvornice lakih metala (TLM) u Šibeniku (1955.), ljevaonica u Roču otvorena je 1984. godine u sastavu grupe CIMOS na istoj lokaciji (hali) gdje je bila kovačnica brodogradilišta "Uljanik" itd. Također je važno djelovanje i ljevaonice umjetnina Ujević osnovane 1982. godine.



Slika 6 – Ljevaonica čeličnog lijeva u Željezari Sisak⁶
Fig. 6 – Steel casting foundry at the Sisak Ironworks⁶

Nakon Drugoga svjetskog rata ljevaonice su bile slabo opremljene, preskromno se investiralo, bili su teški uvjeti rada, niske su plaće, a osnovna karakteristika ljevaonica je rascjepkanost i tzv. "svaštarenje". Već 1955. godine bilo je 36 ljevaonica (od kojih 11 s godišnjom proizvodnjom iznad 1 kt, a dvije s preko 5 kt), koje su proizvele oko 30 kt odljevaka.²³ Sredinom 1950-ih godina najjača ljevačka industrija bila je na riječkom području.

Prvih 15 godina nakon rata pružala se slaba podrška ljevaonicama. U razdoblju od 1959. do 1963. godine dio ljevaonica prelazi s obrtničkog na industrijski način proizvodnje, započinje uvođenje mehanizacije (miješalice pijeska za izradu kalupa i jezgri, zračni kompresori i alat za sabijanje pijeska, kalupalice tzv. "drmalice" itd.), što je bitno povećalo proizvodnju odljevaka (posebice odljevaka od sivog lijeva). Tijekom 1963. godine u 75 ljevaonica tzv. društvenog sektora proizvedeno je ukupno 70,271 kt odljevaka. Došlo je do okrupnjavanja kapaciteta kod ljevaonica odljevaka za široku potrošnju za sanitarije, armature, vodovode i kanalizaciju te za metaluršku proizvodnju u Sl. Požegi, Osijeku, Varaždinu, Sisku itd.

U razdoblju od 1964. do 1970. odvijao se ozbiljniji razvoj ljevaonica (posebice ljevaonica obojenih metala), naročito onih s većom godišnjom proizvodnjom na osnovi smjernica iz “Studije o stanju i perspektivnom razvoju ljevaonica u SR Hrvatskoj za razdoblje 1964. – 1970”. U tom razdoblju neke ljevaonice prelaze i na proizvodnju nodularnog lijeva, uvode se veziva na bazi fenola i furana za izradu jednokratnih kalupa te znatno raste ukupna proizvodnja (tablica 2) itd. Nažalost, uvođenjem novih veziva ne provodi se regeneracija tih pješčanih mješavina za izradu kalupa, tako da je tehnologija povezana s velikim rasipanjem materijala i zagađenjem okoliša. Tek nakon 1966. godine uvedena je veća mehanizacija i suvremenije opremanje ljevaonica.

Tablica 2 – Proizvodnja odljevaka u 1965. godini²⁴

Table 2 – Castings production in 1965⁸

Vrsta odljevaka Type of casting	Proizvodnja/kt Production/kt
Sivi lijev Grey cast iron	91,008
Čelični lijev Steel casting	6,966
Nodularni lijev Ductile cast iron	1,632
Temporni lijev Malleable cast iron	1,135
Odljevci legura na bazi bakra Castings of copper-based alloys	2,016
Odljevci legura na bazi aluminija lijevane u pijesak ili kokile Castings of aluminium-based alloys cast in sand or moulds	2,904
Odljevci visokotlačno lijevanih legura na bazi aluminija High-pressure casting of aluminium-based alloys	2,907
Odljevci legura na bazi magnezija Castings of magnesium-based alloys	0,010
Odljevci legura na bazi cinka Castings of zinc-based alloys	0,321
Odljevci legura na bazi olova za klizne ležajeve Castings of lead-based alloys for plane shaft bearings	0,322

Godine 1973. napušta se sklonost ljevaonica za tzv. “svaštarsku” proizvodnju, uz trend prema užoj specijalizaciji, kao npr. ljevaonica željeza u tvrtki “Prvomajska” iz Zagreba (nabavljena je nova oprema za lijevanje dijelova za alatne strojeve). Tijekom 1975. godine ljevaonice Hrvatske sudjeluju s 20 % u jugoslavenskoj proizvodnji odljevaka. Od ukupne proizvodnje 86 % odnosi se na odljevke od sivog, tempornog i nodularnog lijeva, 6 % na odljevke od čeličnog lijeva i 8 % na odljevke od teških i lakih obojenih metala. Odljevci Al-legura sudjeluju u ukupnoj proizvodnji odljevaka s 5 % od kojih se polovica odnosi na tlačni lijev.

Primjena računala u ljevaonicama počinje od 1980-ih godina, što doprinosi porastu proizvodnje.²⁵ Najveća proizvodnja odljevaka bila je u razdoblju od 1983. do 1987. godine kad je proizvedeno od 123 do 127 kt odljevaka (bez podataka iz obrtničkih ljevaonica, kojih je udio u proizvodnji bio gotovo zanemariv) uz 10 736 zaposlena.²³ Nakon toga, zbog negativnih gospodarskih kretanja u svijetu, dolazi do pada proizvodnje (u 1990. godini proizvedeno je 92,344 kt odljevaka). Treba napomenuti da su bile vrlo aktivne i brojne ljevaonice u okviru velikih gospodarskih subjekata iz metalurgije, brodogradnje i metaloprerade koje su radile i masivne odljevke. Tako je tijekom 1983. godine u ljevaonici Željezare Sisak, uporabom domaćih sirovina i vlastite tehnologije, odliveno kućište pilger-stana (mase 54 t, dotad najmasivniji odliveni čelični odljevak u Jugoslaviji) za tzv. tešku prugu Valjaonice bešavnih cijevi.²⁶

6. Ljevarstvo od osamostaljenja Hrvatske do danas

Početkom 1990-ih godina značajan je pad proizvodnje odljevaka, što je povezano s početkom rata i ratnim devastacijama ljevaonica (posebice je bila oštećena ljevaonica OLT iz Osijeka, koja je tada bila jedna od dvije najveće ljevaonice, koja je obustavila proizvodnju) kao i raspadom tržišta u Jugoslaviji i istočnoevropskih tržišta (rad ljevaonice u okviru tvrtke “Prvomajska” je praktično obustavljen zbog pogrešne i jednostrane orijentacije izvoza u SSSR).^{27–29} U odnosu na 1990. godinu (92,344 kt) proizvodnja odljevaka u ljevaonicama više je nego prepolovljena u 1992. godini (42,756 kt). Najmanja proizvodnja odljevaka bila je 1995. godine (ispod 40 kt) kao posljedica restrukturiranja ljevaonica i pretvorbe vlasništva. Nažalost, mnoge ljevaonice neuspješno su privatizirane i na kraju brojne i ugašene: ljevaonica “Felis” u okviru nekadašnje Željezare Sisak, ljevaonice u okviru nekadašnjih tvrtki “Rikard Benčić” i “Torpedo” u Rijeci, “Dalit” iz Daruvara (slika 7), TOP-ljevaonica Kerestinec itd. No otvorene su i nove ljevaonice: ljevaonica preciznog lijeva u okviru tvrtke HS Produkt u Karlovcu (1994.), ljevaonica-Krapina (1999.), Almos u Ku-



Slika 7 – Lijevanje taline u ljevaonici Dalit iz Daruvara⁶

Fig. 7 – Pouring of molten metal at the Dalit foundry in Daruvar⁶

tini (2001.), Saint Jean Industries u Sl. Brodu (2004.), CIAL u Sisku (2010.) itd.

Od 1995. godine stalan je porast proizvodnje odljevaka koji se može pripisati konsolidaciji proizvodnje te nalaženju novih dobavljača i tržišta. Treba napomenuti da su gotovo sve sirovine za proizvodnju odljevaka, od uložka, kaluparskih materijala, legura za obradu i cijepljenje taline, vatrostalnih materijala itd. nabavljane iz uvoza i da je obrt kapitala bio veoma spor.²⁸

Tijekom 2000. godine bilo je aktivno 36 industrijskih i 40 obrtničkih ljevaonica (tablica 3), pri čemu je proizvedeno 44,653 kt odljevaka, uz 3284 zaposlenika. U proizvodnji odljevaka obrtničke ljevaonice sudjeluju s 1,7 %, a u broju zaposlenih s 5,6 %.

U Republici Hrvatskoj 2010. godine radile su 43 ljevaonice.³¹ Industrijske ljevaonice čine više od 90 % ukupne proizvodnje i broja zaposlenih, a preostale ljevaonice odnose se na lijevanje umjetnina (iz bronce, aluminija itd.), metalne galanterije i suvenira.

Najvažnije današnje ljevaonice željeznih i neželjeznih metala te njihovih legura u Republici Hrvatskoj jesu⁶: P.P.C Buzet d. o. o., Ferro-Preis d. o. o., LTH Metalni lijev d. o. o., MIV Varaždin d. d., Plamen d. o. o., RS Metali d. d., ljevaonica u okviru Impol-TLM d. o. o., Lipovica d. o. o., Almos d. o. o., Saint Industries d. o. o., Ivanal d. o. o., Dalekovod OSO d. o. o., Ljevaonica obojenih metala Duni d. o. o., IMPK d. o. o., Metal Product d. o. o., CIAL d. o. o. itd.

Najveća ljevaonica jest P.P.C. Buzet d. o. o. na dvjema domaćim lokacijama (Buzet i Roč), koja djeluje u sustavu slo-

Tablica 3 – Proizvodnja odljevaka u 2000. godini, kt³⁰

Table 3 – Production of castings in 2000, kt³⁰

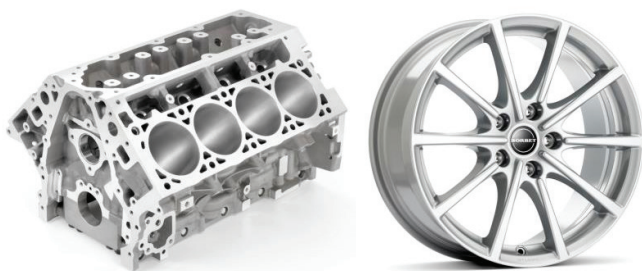
Redni broj Ordinal number	Vrsta lijeva Type of casting	2000.		
		Bez obrtničkih Non-craft production	Obrtničke Craft production	UKUPNO TOTAL
1.	Sivi, Grey cast iron	23,033	0,102	23,135
2.	Nodularni Ductile cast iron	8,115	–	8,115
3.	Bijeli temperni White malleable cast iron	0,050	–	0,050
	Ukupno (1-3) Total	31,198	0,102	31,300
4.	Čelični ¹⁾ Steel casting ¹⁾	1,040	0,033	1,073
5.	Cu-lijev Copper alloy casting	0,375	0,249	0,624
6.	Zn-lijev Zinc alloy casting	0,686	0,072	0,758
	Ukupno (5 i 6) Total	1,061	0,321	1,382
7.	Al-pješčani Aluminium sand casting	0,138	0,157	0,295
8.	Al-kokilni Aluminium mould casting	1,890	0,119	2,009
9.	Al-visokotlačni Aluminium-high-pressure casting	6,579	0,015	6,594
	Ukupno (7–9) Total	8,607	0,291	8,898
10.	Pb-lijev Lead alloy casting	2,000	–	2,000
	Ukupno (1–10) Total	43,906	0,747	44,653
11.	Br. zaposlenih No. of employees	3099	185	3284

¹⁾ Podatci za ljevaonicu Felis d.o.o. Sisak su za 1999. godinu

¹⁾ Felis Ltd. Sisak, foundry data from 1999

venske grupe CIMOS d. d. iz Kopra. Proizvodni program čini izrada automobilskih dijelova (razni dijelovi motora, nosači motora i mjenjača, letve i kućišta volana, kućišta turbokompresora itd.) visokotlačnim, gravitacijskim i niskotlačnim lijevanjem Al-legura (slika 8).

Ferro-Preis d. o. o. iz Čakovca (od 1991. slijednik ljevaonice Čakovec, dio grupe Preis) proizvodi razne odljevke od sivog i nodularnog lijeva. Ta je ljevaonica specifična po proizvodnji cijevi od sivog lijeva centrifugalnim lijevanjem (rastaljeni metal lijeva se u brzo rotirajući kalup, slika 9). Postojeći kapaciteti im omogućavaju proizvodnju oko 15 kt odljevaka godišnje (oko 98 % za izvoz).



Slika 8 – Dijelovi kućišta motora i naplataka kotača za automobile odliveni od Al-Si legura³

Fig. 8 – Parts of engine crankcase and wheel rims for cars cast from Al-Si alloy³

LTH Metalni lijev d. o. o. proizvodi visokotlačnim lijevanjem aluminijske odljevke isključivo za automobilsku industriju (antifrikcijski i kočioni sustavi te kućišta vodnih i vakuumskih pumpi). MIV Varaždin d. d. je ljevaonica za proizvodnju armatura i fazonskih profila iz nodularnog lijeva itd. Danas proizvodi armaturu, oblikovane dijelove i kanalske armature za vodovodne i kanalizacijske sustave, energetiku, procesnu tehniku, brodogradnju itd. U okviru MIV-a Varaždin djeluje i ljevaonica obojenih metala (Al i Cu-legure) Strojarski iz Gornje Bistre.



Slika 9 – Centrifugalno lijevanje cijevi od sivog lijeva u ljevaonici Ferro-Preis d. o. o.⁶

Fig. 9 – Centrifugal casting of grey cast iron pipes at the Ferro-Preis Ltd. foundry⁶

Plamen d. o. o. iz Požege ponajprije proizvodi štednjake, peći i kamine od sivog lijeva. RS Metali d. d. iz Svete Nedjelje je ljevaonica za proizvodnju željeznih lijeva (sivi i nodularni lijev) i obojenih metala. U svojem sastavu ima bivše ljevaonice Bjelovar (proizvodnja kanalske galanterije i odljevaka od sivog i nodularnog lijeva), "Rapid" iz Virovitice (odljevci od sivog i nodularnog lijeva) i "Samo-bormetal" (odljevci od sivog lijeva, obojenih metala, razne bronce i aluminijske legure).

Ljevaonica u okviru Impol-TLM d. o. o. iz Šibenika u talioničkim plinskim (modificirane još od elektrolize) i indukcij-skim pećima lijeva Al-legure serije 3000, 5000 i 8000 za izradu rezervnih dijelova za automobilsku industriju. Ljevaonica Lipovica d. o. o. iz Popovače prvenstveno proizvodi aluminijske lijevane radijatore i druge manje serije odljevaka. Posebno je specijalizirana za proizvodnju aluminijskih tankostijenih radijatora. Ljevaonica obojenih metala Almos d. o. o. iz Kutine proizvodi odljevke iz Al-legura visokotlačnim postupkom lijevanja za niz područja primjene. Ljevaonica za lijevanje lakih metala Saint Industries d. o. o. iz Sl. Broda proizvodi automobilske dijelove iz Al-legura, među kojima je najzastupljenija $AlSi_7Mg_{0,3}$ legura. Ljevaonica Ivalnal d. o. o. iz Šibenika visokotlačnim postupkom lijevanja proizvodi odljevke od Al-legura za automobilsku industriju. Ljevaonica u okviru tvrtke Dalekovod OSO d. o. o. iz V. Gorice proizvodi odljevke ovjesne i spojne opreme za dalekovodne, željezničke i tramvajske mreže iz legura: $AlSi_{12}$, $AlSi_{10}Mg_{0,5}$, $AlMg_1$ itd. Ljevaonica obojenih metala DUNI d. o. o. iz Kumrova proizvodi armature za vodu i plin, odljevke iz bronce i mesinga za termoelektrane, brodogradnju itd. IMPK d. o. o. iz Ivanić Grada primarno lijeva odljevke iz teških obojenih metala (Sn-bronca, Al-bronca, Pb-bronca, crveni lijev itd.). Metal Produkt d. o. o. iz Brezničkog Huma, osim ostalog, bavi se i lijevanjem obojenih metala (Al-legure, mesing, bronce itd.) tlačnim i kokilnim lijevom uz primjenu visokosofisticirane robotske tehnologije. Talionica i ljevaonica CIAL d. o. o. iz Siska lijeva u kokile Al-legure kojih se više od 95 % izvozi.

Tijekom posljednjih 30-ak godina ljevarska je industrija pokazala značajan napredak te tehnološku evoluciju pri oblikovanju metala, uz stalno poboljšanje kvalitete odljevaka. Računalom potpomognuta konstrukcija (CAD), računalom potpomognuto inženjerstvo (CAE), optimizacija konstrukcije i procesa primjenom umjetne inteligencije novi su alati koji doprinose razvoju ljevarstva.

Konfiguracija sustava ulijevanja i kontrola toplinskih procesa može se bazirati na 3D konstrukciji simuliranjem ulijevanja i skrućivanja odljevaka. Ljevaonice su postupno usvajale ISO 9000 standarde osiguranja kvalitete i ISO 14000 standarde zaštite okoliša.²⁷ Struktura proizvodnje odljevaka napravila je iskorake ponajprije u proizvodnji aluminijskih odljevaka i odljevaka od nodularnog lijeva uz primjenu inovativnih tehnologija.

U 2020. godini proizvedeno je 91,685 kt odljevaka od željeznih i neželjeznih legura,³² što je na razini proizvodnje u 1990. godini (92,344 kt). Prema podatcima Hrvatskog udruženja za ljevarstvo (HULJ), doduše nepotpunim (samo 25 ljevaonica je popunilo anketu), tijekom 2023. godine ukupno je proizvedeno 109,9 kt odljevaka (tablica 4),³³ uz broj zaposlenih od 4266. Važni pokazatelji proizvodnje od-

ljevaka jesu i udjeli željeznih (tablica 5) i neželjeznih legura (tablica 6). U 2023. godini udio željeznih ljevova iznosio je 31,87 % (sivi lijev 80,86 %, a nodularni lijev 19,04 %), a neželjeznih 68,11 % (odljevci na bazi Al – 99,66 %).

Tablica 4 – Proizvodnja odljevaka tijekom 2023. godine³³

Table 4 – Production of castings in 2023³³

Vrste ljevova Type of casting	Željezni lijev Ferrous casting	Čelični lijev Steel casting	Neželjezni lijev Non-ferrous casting
Masa/kt Weight/kt	35,054	0,025	74,910

Tablica 5 – Proizvodnja željeznih odljevaka tijekom 2023. godine³³

Table 5 – Production of ferrous castings in 2023³³

Vrste željeznih ljevova Type of ferrous casting	Sivi lijev Gray casting	Nodularni lijev Ductile casting	Ostali ljevovi Other castings
Masa/kt Weight/kt	28,346	6,672	0,035

Tablica 6 – Proizvodnja neželjeznih odljevaka tijekom 2023. godine³³

Table 6 – Production of non-ferrous castings in 2023³³

Vrste neželjeznih ljevova Type of non-ferrous casting	Aluminij Aluminium	Bronca Bronze	Ostali Others
Masa/kt Weight/kt	74,652	0,133	0,125

Udio izvoza odljevaka raste od 1995. godine kad je bio oko 40 % na gotovo 75 % u 2019. godini, što je znatno više nego 1990. godine kad je iznosio svega 25 %. Brzina rasta izvoza veća je od brzine porasta proizvodnje odljevaka, što ukazuje na povećanje konkurentnosti i izveznu orijentiranost ljevaonica. Raste i vrijednost izvoza, što upućuje na rast kvalitete odljevaka s većom složenosti i višim stupnjem obrade.

Danas su ljevaonice u Republici Hrvatskoj uglavnom u stranom vlasništvu. Umjesto nekadašnjih kupolnih peći taljenje uložka provodi se u indukcijskim pećima, a dorađivanje taline (npr. odsumporavanje) provodi se u posebnoj loncu. Proizvodnja je znatno automatizirana, posebno kalupljenje, odnosno izrada kalupa s horizontalnom i vertikalnom diobenom ravninom. Velika se pozornost u ljevarstvu posvećuje i zaštiti okoliša (npr. obrada otpadnih voda, ugrađivanje filtara za pročišćavanje dimnih plinova itd.).

U proizvodnom ciklusu ljevaonice kalupljenje i taljenje metala jesu dvije usporedne i neovisne operacije koje su uz ulijevanje taline jednako važne. Kalupi mogu biti jednokratni (najčešće) i višekratni ili trajni. Jednokratni kalupi najčešće se izrađuju od sintetičkih kalupnih mješavina, najčešće kvarcni pijesak određene granulacije uz bentonit (vrsta gline) kao vezivno sredstvo itd. Jezgre koje se stavljaju u kalupe su od kemijskih vezanih mješavina. Danas su dostupni i u standardnoj primjeni računalni programi za numeričku simulaciju lijevanja i skrućivanja (AutoCAST, CAP/WRAFTS, CastCAE, MAGMASoft, ProCAST/QuickCAST, itd.) da bi se predvidjele greške i optimirao tehnološki proces te izbjegla metoda pokušaja i pogreške.

7. Doprinos Hrvatskog udruženja ljevača, simpozija i radionica razvoju ljevarstva

Još 20. veljače 1953. godine osnovano je Društvo ljevača NR Hrvatske u Zagrebu, od 1995. godine Hrvatsko udruženje za ljevarstvo (HUL). Osnivačkoj skupštini je prisustvovalo 77 delegata koji su zastupali 23 ljevaonice s područja Hrvatske te predstavnici Tehničkog fakulteta, Tehničke i Industrijske škole iz Zagreba.³⁴ Prvotni ciljevi Društva su bili: podići stupanj osuvremenjivanja ljevaonica, ispuniti ili premašiti planiranu proizvodnju odljevaka, bolja stručna povezanost ljevača i razmjena iskustava itd.

Društvo ljevača je povremeno organiziralo savjetovanja i seminare iz ljevarstva, kao npr. *Savjetovanje o ljevačkim pijeskovima* (1954.), na kojem su domaći ljevači prvi put čuli o prednostima sintetskog pijeska za kalupljenje. Kasnije su održavana brojna savjetovanja kao npr.: *Savjetovanje o materijalima za kalupljenje* (1964.), *Simpozij o žilavom lijevu* (1968.) te niz seminara kao: *Pomoćni materijali za ljevarstvo* (1968.), *Klasifikacija i karakteristike ljevova na bazi željeza* (1974.) itd. Inicijator prvih savjetovanja i seminara iz ljevarstva bio je prof. Niko Malešević, dugogodišnji nastavnik današnjeg Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu te inicijator i jedan od osnivača Društva ljevača i časopisa *Ljevarstvo*. U okviru Društva ljevača osnovane su podružnice Društva u Rijeci (1957.), Sl. Požegi (1958.), Splitu (1958.) itd. Do osamostaljenja Hrvatske djelovalo je 11 podružnica.

Treba napomenuti da su se održavala i proizvodna natjecanja ljevača Hrvatske od 1973. godine. Organizator je bila Narodna tehnika Hrvatske, a suorganizator Društvo ljevača. Godine 1975. ustrojena je grupacija "Ljevaonice" pri Privrednoj komori SR Hrvatske. Grupacija je vodila brigu o povezivanju ljevaonica i o organiziranom razvoju ljevarstva.

Također, doprinos razvoju ljevarstva daje i međunarodno savjetovanje ljevača u organizaciji Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod različitim tematskim nazivima (od 1999. godine) i znanstveno-stručnih seminara iz ljevarstva (od 2008. godine). Savjetovanje ljevača je inicirao prof. dr. sc. Faruk Unkić s Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Cjeloviti radovi s međunarodnog savjetovanja ljevača tiskani su do 2006. godine u zbornicima radova, a kasnije se objavljuju na CD-ROM-u. Odabrani radovi sa savjetovanja ljevača su nakon recenzentskog postupka objavljivani u časopisu *Ljevarstvo* dok se tiskao (2013.).

8. Nastavna, znanstvenoistraživačka i stručna aktivnost iz ljevarstva

Problem stručne izobrazbe ljevačkih kadrova svih razina bio je stalan. Prvi predsjednik Društva ljevača Franjo Debeuc, koji je u Trstu pohađao industrijsku školu i stekao zvanje ljevača, u Zagrebu 1949. godine je osnovao prvu školu za stručne ljevače u Hrvatskoj.¹⁸ Postojale su dvije vrste škola za stručno obrazovanje nižih stručnih kadrova (poput ljevač, model-stolar itd.). To su trogodišnja industrijska škola (teorijska nastava iz ljevarstva uz praktični rad u školskoj ljevaonici) i dvogodišnja Škola učenika u privredi. Postojala je i škola za ljevarске tehničare u Zagrebu u okviru Tehničke škole Zagreb za odrasle.²¹ U Tehničkoj školi u Zagrebu je 1961. godine završila prva generacija ljevača-tehničara s 24 polaznika. Polaznici su bili VKV i KV radnici iz ljevaonica. Program je bio 2-godišnji s ukupno 23 predmeta, primarno s područja ljevarstva. Polaznici su bili ili stipendisti ljevaonica ili zaposlenici s 2 – 4 sata skraćanim radnim vremenom.³⁵ U Školskom centru za metale u Sisku je 1970-ih i 1980-ih godina postojala redovita srednja škola za ljevače.

Poslije Drugoga svjetskog rata visokoškolska nastavna aktivnost iz ljevarstva odvijala se u okviru dvaju predmeta: *Mehanička tehnologija* i *Ljevarstvo* na strojarском odsjeku Tehničkog fakulteta, dok je postojao (1956.). Nastava iz ljevarstva nastavila se odvijati i na današnjim tehničkim fakultetima od njihovog osnivanja u Republici Hrvatskoj: Fakultet strojarstva i brodogradnje (FSB) iz Zagreba (1956.), Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) iz Splita (1960.), Tehnički fakultet (TF) iz Rijeke (1960.) i Strojarski fakultet (SF) iz Sl. Broda (1962.). Npr. na današnjem Fakultetu strojarstva i brodogradnje se 1970-ih godina odvijala nastava iz ljevarstva na jednom od smjerova (Ljevarstvo).

Osnivanjem Metalurškog odjela u Sisku (1960.) Tehnološkog fakulteta u Zagrebu od akad. godine 1963./64. odvijala se nastava iz predmeta *Ljevarstvo* na studiju metalurgije. Nastava se nastavlja odvijati i kasnije osnivanjem Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (1978.) sve do danas. Obnavljanjem nastavnog plana i programa studija metalurgije od akad. god. 2000./01. u VIII. semestru uvedena je izborna skupina (modul) *Ljevarstvo*. Od akad. god. 2011./12. uveden je preddiplomski sveučilišni stručni izvanredni studij *Ljevarstvo* u trajanju od pet semestara, koji traje do danas. Na tom je studiju do 1. rujna 2024. godine završne radove obranilo 17 studenata, stekavši naziv stručni/a pristupnik/ca ljevarstva (pristup. ljev.).

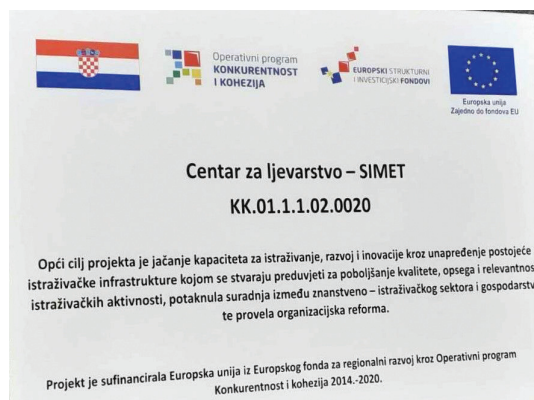
Nažalost, u Hrvatskoj već desetljećima ne postoje srednjoškolski programi za izobrazbu iz ljevarstva (ljevač, model-stolar, procesni metalurg itd.) kako je to bilo nekada u Zagrebu, Sisku itd.

Znanstvenoistraživačka i stručna aktivnost iz ljevarstva odvijala se u okviru Instituta za lake metale (ILAM) u Zagrebu (1948. – 1968.), Institutu za metalurgiju Željezare Sisak (1961. – 1978.), Institutu “Đuro Đaković” Slavonski Brod, Institutu Jugoturbine Karlovac itd. Također pojedini laboratoriji u okviru velikih gospodarskih subjekata (npr. TAL i TLM Šibenik, brodogradilišta itd.) dali su doprinos razvoju ljevarstva praćenjem kvalitete i analize lijevanih proizvoda.

Danas se navedena aktivnost odvija na Metalurškom fakultetu u Sisku (1978. –) te u okviru pojedinih odjela, zavoda, katedri dijela tehničkih fakulteta (FSB, FESB, TF, SF), laboratorija velikih ljevaonica i drugih metalurških i metalopređivačkih gospodarskih subjekata itd. Taj je rad nekad bio financiran putem saveznih i republičkih institucija, a danas od resornog ministarstva, fondova Europske unije kao i iz realnog gospodarstva itd.

U okviru ILAM-a, koji je imao laboratorijsku ljevaonicu, provodila su se istraživanja na obojenim metalima, primarno na lijevanju aluminija i njegovih legura. Na Odjelu za legure i čelik Instituta za metalurgiju u Sisku provodila su se istraživanja vezana s lijevanjem čeličnog i sivog lijeva, aluminija i njegovih legura. Također i veće industrijske ljevaonice analiziraju i kontroliraju lijevane gotove proizvode u svojim laboratorijima.

Od stručnih aktivnosti rađeno je na usvajanju proizvodnje novih gotovih proizvoda, izrađeni su brojni stručni projekti, ekspertize i stručni izvještaji. Za potrebe domaće ljevaoničke industrije može se npr. izdvojiti usvajanje proizvodnje visokolegiranih čeličnih lijevova na bazi silicija za izradu kiseloopornih pumpi (1987.) itd. Od stručnih projekata mogu se izdvojiti: *Proizvodnja brodskih sidara* (2002. – 2003.), *Studija izvodljivosti centra za ljevarstvo* (2002. – 2003.), *Poboljšani postupak lijevanja blokova i trupaca od gnječljivih aluminijskih legura* (2003. – 2007.)



Slika 10 – Centar za ljevarstvo-SIMET na Metalurškom fakultetu u Sisku⁶

Fig. 10 – SIMET Foundry Centre at the Faculty of Metallurgy in Sisak⁶

itd., a od ekspertiza: *Ispitivanje nodularnog lijeva, Metalografska analiza čeličnog lijeva*, a od izvještaja: *Ispitivanje uzoraka košuljica cilindara iz sivog lijeva, Određivanje uzroka greške na uzorku kočionog bubnja od sivog lijeva* itd.

Od 31. siječnja 2019. godine osnovan je Centar za ljevarstvo – SIMET (slika 10) kao nova ustrojbenja jedinica Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na temelju infrastrukturnog projekta financiranog u okviru Europskog fonda za regionalni razvoj: *Centar za ljevarstvo – SIMET* (2019. – 2023.).⁶

Projekt “Centar za ljevarstvo-SIMET” u vrijednosti 5,847 mil. € započeo je 1. veljače 2019. i realiziran je krajem 2023. godine. Nositelj projekta je bio Metalurški fakultet Sisak, a partner Sisačko-moslavačka županija. Ciljevi i aktivnosti projekta su: dizajniranje i razvoj inovativnih materijala s poboljšanim svojstvima, razvoj proizvoda, izrada prototipa i alata s naglaskom na inovacije i optimizaciju procesa i postupaka proizvodnje, cjeloživotno učenje itd. U okviru projekta nabavljena je brojna visokosofisticirana znanstveno istraživačka oprema kapitalne vrijednosti: peći za taljenje i lijevanje metala, optički emisijski spektrometar, dilatometar, oprema za pripremu uzoraka i uzimanje replika, programski paket ProCast, 3D printer itd. Očekuje se da će se time podići razina nastavnog procesa, povećati znanstvenoistraživačka i stručna djelatnost te osigurati bolji uvjeti za transfer znanja i tehnologija prema realnom gospodarskom sektoru.

9. Izdavačka djelatnost iz ljevarstva

Prof. ing. Niko Malešević objavio je (1947.) prvi priručnik: *Materijali za kalupljenje*, u izdanju Nakladnog zavoda Hrvatske u Zagrebu. U prijevodu s ruskog jezika 1948. godine izašla je knjiga iz ljevarstva na hrvatskom jeziku pod naslovom *Kalupljenje* od prof. ing. Aksenova. Približno u isto vrijeme objavljena je knjižica Stjepana Derkosa pod naslovom *Kupolna peć*. To je činilo dotad ukupnu stručnu literaturu iz ljevarstva na našem jeziku.³⁴

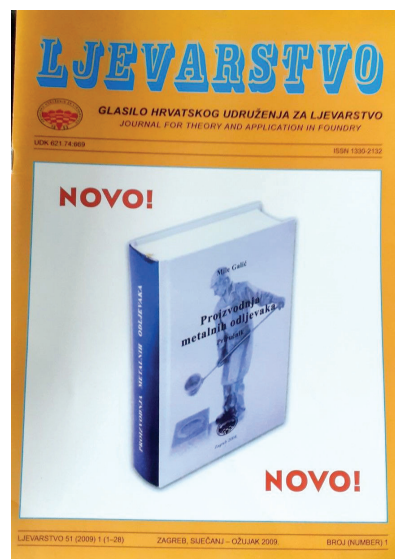
Od izdavačke djelatnosti iz ljevarstva mogu se izdvojiti sljedeći priručnici, knjige i udžbenici:⁶ L. Karbić i dr.: *Priručnik o proizvodnji žilavog lijeva* (1972.), I. Katavić: *Ljevarstvo* (1975.), M. Galić i dr.: *Kalupljenje 1 i 2* (1979.), grupa autora: *Ljevački priručnik* (1984.), M. Novoel, D. Krumes: *Željezni materijali (metalografske osnove i tehnička primjena željeznih ljevova)* (1997.), B. Smoljan: *Toplinska obrada čelika, sivog i nodularnog lijeva* (1999.), M. Galić, Z. Bonačić Mandinić, I. Budić: *Osnove tehnologije kalupljenja – jednokratni kalupi 1-2* (2001.), prijevod s njemačkog priručnika *Pogreške u ljevarstvu* (2003.), te M. Galić: *Proizvodnja metalnih odljevaka* (2008.). Također treba napomenuti da su na internetskim stranicama pojedinih tehničkih fakulteta postavljeni i recenzirani nastavni tekstovi iz ljevarstva.

Razvoju ljevarstva u publicističkom smislu doprinijelo je izdavanje časopisa *Ljevarstvo* (slika 11) od 1954. do 2013., s iznimkom 1959. godine kad zbog financijskih razloga uopće nije tiskan. Časopis *Ljevarstvo* je započelo izdavati Društvo ljevača NR Hrvatske kao svoje glasilo, što je

bilo od velike važnosti za izobrazbu kadrova u ljevarstvu. Potkraj 1954. godine objavljen je jedan broj s 12 stručnih radova s Tehničkog fakulteta i ljevaonica. U časopisu *Ljevarstvo* objavljavani su znanstveni i stručni radovi iz ljevarstva, prikazi iz higijensko-tehničke zaštite, prilozi iz prakse, posjeta ljevaonicama, povijesnih tema iz razvoja ljevarstva te najnovija saznanja i informacije iz ljevarstva iz međunarodne znanstvene i stručne periodike (*La Fonderia Italiana*, *Giesserei* itd.).

U početku (1955. i 1956.) časopis *Ljevarstvo* je objavljivao godišnje 40-ak radova. Vremenom se broj objavljenih radova na godišnjoj razini sve više smanjivao te se zadnjih godina izlaženja sveo najčešće na 2 – 3 rada po broju. Od 1995. godine do prestanka izdanja (2013.) časopis *Ljevarstvo* bilo je glasilo HULJ-a.

Od 1999. godine kad se održava međunarodno savjetovanje ljevača u organizaciji Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu odabrani radovi se, nakon recenzentskog postupka, tiskaju u časopisu *Ljevarstvo* do kraja njegova izdavanja (2013.). Prestanak izlaženja časopisa *Ljevarstva* posljedica je složenih djelovanja više čimbenika uključujući funkcioniranje i/ili nefunkcioniranje HULJ-a, smanjenog financiranja nadležnog ministarstva, nedovoljnog broja dostavljenih radova, gospodarskog stanja ljevaonica itd.



Slika 11 – Faksimili časopisa *Ljevarstvo* 51 (2009) 1⁶

Fig. 11 – Facsimile of the journal *Ljevarstvo* 51 (2009) 1⁶

10. Zaključak

Ljevarstvo je jedna od najstarijih djelatnosti u Hrvatskoj s više od 6000 godina postojanja. To dokazuje i bakrena sjekira odlivena još u bakrenom dobu, koja je nađena u blizini Samobora. Arheološka istraživanja su dokazala da se na području današnje Hrvatske lijevalo u bakrenom i brončanom dobu, za vrijeme Rimskog Carstva, u starom vijeku itd. Pri tome su se lijevali topovi, zvona itd. Prve ljevaonice su na području istočne Slavonije, Dubrovnika i u Rudama

blizu Samobora. Kasnije su se odljevci počeli proizvoditi u Zagrebu i njegovoj okolici, na području Banije, Rijeke, Dalmacije itd. Početkom 19. stoljeća još se više razvija ljevarstvo, a naročito u razdoblju od početka 20. stoljeća. Vlasnici ljevaonica su stranci, a većina ljevaonica je zanat-skog ili obrtničkog karaktera. Ljevači su također stranci koji obučavaju domaće ljude. Ljevaonice su vrlo slabo opremljene uz teške radne uvjete, a proizvodnja je uglavnom bila usitnjena i karakteriziralo ju je tzv. "svaštarenje". Nakon Drugoga svjetskog rata nastavilo se s obnavljanjem prijeratnih i otvaranjem novih ljevaonica. U prvih 15 godina vrlo se slabo investiralo u modernizaciju ljevaonica. Prateći problem je i nedostatak stručne i obučene radne snage. U razdoblju 1959. – 1963. dolazi do prijelaza s obrtničkog na industrijski način proizvodnje odljevaka. Od 1964. do 1970. godine počinje ozbiljniji razvoj ljevaonica, što je dovelo do porasta proizvodnje (prosječna godišnja stopom rasta od 5 %.). Najveća proizvodnja odljevaka bila je 1987. godine kad je proizvedeno 127 kt odljevaka, a početkom 1990-ih godina proizvodnja je smanjena za gotovo 2/3 od one iz 1987. godine. Posljednjih 30-ak godina proizvodnja odljevaka stalno raste, uz sve veći izvoz. Doprinos razvoju ljevarstva su dali i/ili daju HULJ, brojne visokoškolske i znanstvene institucije i veliki gospodarski subjekti iz metalurške i metaloprerađivačke industrije u Hrvatskoj. Današnje ljevaonice uglavnom su u stranom vlasništvu, a prema podatcima HULJ-a tijekom 2023. godine u 25 ljevaonica proizvedeno je 109,9 kt odljevaka, uz broj zaposlenih od 4266.

Popis kratica

List of abbreviations

A	– austenit – austenite
A/F	– austenit/ferit – ausferrite
F	– ferit – ferrite
CAD	– računalom potpomognuta konstrukcija – computer-assisted construction
CAE	– računalom potpomognuto inženjerstvo – computer-assisted engineering
HULJ	– Hrvatsko udruženje za ljevarstvo – Croatian Foundry Association
ILAM	– Institut za lake metale – Institute for Light Metals
IMPK	– Industrija metalnih proizvoda i konstrukcija – Industry of Metallic Products and Constructions
MIV	– Metalska industrija Varaždin – Metallic Industry of Varaždin
P	– perlit – pearlite
TAL	– Tvornica aluminija Lozovac – Lozovac Aluminium Factory
TLM	– Tvornica lakih metala – Factory of Light Metals

Literatura References

1. J. Prodanović, D. Hace, Prilog proučavanju povijesti ljevarstva, *Ljevarstvo* **12** (1-2) (1968) 35–41.
2. F. Unkić, Z. Glavaš, Z. Kivač, Primjena suvremenih informatičkih tehnologija u razvoju i proizvodnji odljevaka, *Ljevarstvo* **46** (4) (2004) 95–101.
3. Z. Glavaš, Osnove lijevanja metala, recenzirani nastavni materijal, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, 2014.
4. M. Galić, Proizvodnja metalnih odljevaka-priručnik, Hrvatsko udruženje za ljevarstvo, Zagreb, 2008.
5. I. Budić, Osnove tehnologije kalupljenja-jednokratni kalupi, I dio, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 2010.
6. M. Gojić, Razvoj metalurgije i proizvodnje čelika u Republici Hrvatskoj, Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sveučilište Sjever, Zagreb-Sisak-Koprivnica, 2024.
7. Hrvatska tehnička enciklopedija 1, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2018.
8. M. Mesler, Kad je Sisak bio Siscia, *Hrvatske novine* **14** (47) (1938) 2 (od 19. studenoga 1938.).
9. R. Menalo, Revelin-arheološka istraživanja, prostorni razvoj i ljevaonica, Dubrovački muzeji-Arheološki muzej, Dubrovnik, 2011.
10. A. Milošević, N. Topić, Ž. Perković, Lokalitet kula Gornji ugao-kasnosrednjovjekovna i novovjekovna ljevaonica u povijesnoj jezgri Dubrovnika, Društvo prijatelja dubrovačke starine, Dubrovnik, 2023.
11. D. Bašić, Dubrovački top Gušter, *Anali Dubrovnik* **42** (2004) 79–100.
12. M. Buratović, Zvona moga škoja: Zvona i duhovna kultura zvona na otoku Hvaru s posebnim osvrtom na rekviziciju 1915. – 1918., Muzej hrvatske baštine, Hvar, 2018.
13. M. Hudec, Senjski topovi, *Senjski zbornik* **28** (2001) 139–152.
14. F. Debeuc, Stara zagrebačka ljevaonica zvona i njeni majstori ljevači, *Ljevarstvo* **16** (2) (1969) 107–142.
15. T. Kujundžić, M. Klafnar, Ž. Veinović: Podzemni istraživački poiongon Rudnika Sv. Barbara, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske* **2021** (1) (2021) 236–248. (<https://hr-cak.srce.hr/279242>), datum pristupa: 30. 11. 2024.
16. Hrvatska tehnička enciklopedija 2, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2022.
17. F. Debeuc, Ljevaonice grada Zagreba i njegove okolice od početka XIX stoljeća do drugog svjetskog rata, *Ljevarstvo* **16** (1) (1969) 26–49.
18. F. Debeuc, Analiza današnjeg stanja ljevarstva u Hrvatskoj, *Ljevarstvo* **21** (2) (1974) 41–46.
19. L. Karbić, *Ljevarstvo SR Hrvatske*, *Ljevarstvo* **25** (1978) 41–49.
20. M. Gojić, Talionica Caprag-ishodište Željezare Sisak, *Kem. Ind.* **70** (7-8) (2021) 411–418, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2021.016>.
21. F. Debeuc, O današnjem stupnju razvitka ljevarstva u Hrvatskoj i o nekim neriješenim pitanjima ljevačkih kadrova, *Ljevarstvo* **15** (1) (1968) 7–19.
22. F. Debeuc, Deset godina rada Društva za unapređivanje ljevarstva u SR Hrvatskoj *Ljevarstvo* **10** (1-2) (1963) 2–10.

23. 40. Obljetnica Saveza ljevača Hrvatske, Ljevarstvo **36** (2) (1994) 47–49.
24. L. Karbić, Ljevarstvo SR Hrvatske, Ljevarstvo **25** (2) (1978) 41–49.
25. Đ. Ščrbak, Primjena računala u ljevaonici, Ljevarstvo **32** (1) (1985) 1–7.
26. J. Kovač, D. Župan, Lijevanje kućišta Pilger-stana za valjaonice bešavnih cijevi, Ljevarstvo **31** (2) (1984) 51–55.
27. F. Unkić, Metal casting production in Croatia, Zbornik referata 43. Livarsko posvetovanje, Društvo livarjev Slovenije, Portorož, 2003.
28. F. Unkić, Stanje i trendovi u ljevarskoj industriji Hrvatske, u T. Filetin (ur.), Materijali i tehnološki razvoj, ATZH, Zagreb, 2002., str. 53–67.
29. M. Galić, Proizvodnja lijevanih proizvoda u Republici Hrvatskoj, Ljevarstvo **35** (2) (1993) 39–41.
30. Izvještaj o proizvodnji lijevanih proizvoda u Hrvatskoj u 2000. godini, Ljevarstvo **43** (1) (2001) 22.
31. S. Hren, Plan rada Hrvatskog udruženja za ljevarstvo za 2011. godinu, Ljevarstvo **53** (1) (2011) 23–25.
32. <https://www.moderncasting.com/issues/-2022> (3. svibnja 2022.)
33. <https://www.crofoundry.simet.hr> (19. rujna 2024.)
34. F. Debeuc, Ljevači i ljevaonice kod nas nekad i danas, Ljevarstvo **19** (2) (1972) 27–45.
35. I. Reljanović, Prvi kadrovi tehničara-ljevača, Ljevarstvo **9** (5-6) (1962) 154–155.

SUMMARY

Historical Development of the Foundry Industry in the Territory of Present-day Croatia

Mirko Gojić^{a,b}

In this work, a review of the historical development of the foundry industry in the territory of present-day Croatia is presented, covering the period from ancient times to the present day. Foundry as a metallurgical activity in this region dates back more than 6,000 years. Archaeological finds provide evidence of the beginnings of foundry work in the Copper Age. During the Vučedol culture, arsenical bronze was cast. Initially, mainly tools, weapons, jewellery, and similar items were produced by casting. From the 19th century until the beginning of the Second World War, numerous foundries were established, especially in the areas around Rijeka, in Slavonia (Slavonski Brod, Požega), Zagreb, Dalmatia (Šibenik, Split), and Sisak. The equipment of these foundries were very basic, skilled professional staff were scarce, and the work was mostly artisanal. The main carriers of foundry production were casters of foreign origin, while engineers were almost entirely absent. After the Second World War, efforts were made to recover and open new foundries.

In 1946, 17 foundries produced about 8 kt of castings. The first 15 years after the war saw very limited investment in modernisation of foundries. In the period from 1959 to 1963, some foundries transitioned from artisanal to industrial modes of production, which led to increased casting output (especially of grey cast iron).

The development and modernisation of foundries accelerated from 1964 to 1970, resulting in an average annual production growth rate of 5 %. Production peaked in the period from 1983 to 1987, when the production of castings ranged from 123 to 127 kt. At the end of the 1980's and early 1990's, casting production declined significantly.

However, over the last thirty years, production has steadily increased. In 2023, 25 foundries produced 109.9 kt of castings (31.87 % ferrous and 68.11 % non-ferrous castings) with a workforce of 4,266 employees. Important contributions to the development of the foundry industry have come from high-school and scientific institutions, and the Croatian Foundry Association, among others.

Keywords

Foundry, iron, copper, aluminium, ferrous castings, non-ferrous castings

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

^b University North, Trg dr. Žarka Dolinara 1,
48 000 Koprivnica, Croatia

Review

Received December 10, 2024

Accepted January 20, 2025