

# Ljevovi na bazi željeza u mehatronici

---

**Petreković, Matko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:446914>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

**LJEVOVI NA BAZI ŽELJEZA U MEHATRONICI**

Završni rad br. 19/MEH/2020

Matko Petreković

Bjelovar, Ožujak 2021.



**Veleučilište u Bjelovaru**

**Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar**

## 1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Petreković Matko**

Datum: 01.10.2020.

Matični broj: 001775

Kolegij: **TEHNIČKI MATERIJALI**

JMBAG: 0314017608

Naslov rada (tema): **Ljevovi na bazi željeza u mehatronici**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., predsjednik
2. dr.sc. Stjepan Golubić, mentor
3. Danijel Radočaj, mag.inž.meh., član

## 2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 19/MEH/2020

U radu je potrebno:

- opisati materijale na bazi željeza
- opisati ljevove na bazi željeza uključujući:
- opisati sastav svake vrste lijeva
- opisati strukturu svake vrste lijeva
- opisati svojstva svake vrste lijeva
- opisati primjenu ljevova u mehatronici.

Zadatak uručen: 01.10.2020.

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**

### *Zahvala*

Zahvaljujem se profesoru Stjepanu Golubiću na mentorstvu i pomoći pri pisanju ovog završnog rada te svim ostalim profesorima na Veleučilištu u Bjelovaru na prenesenom znanju.

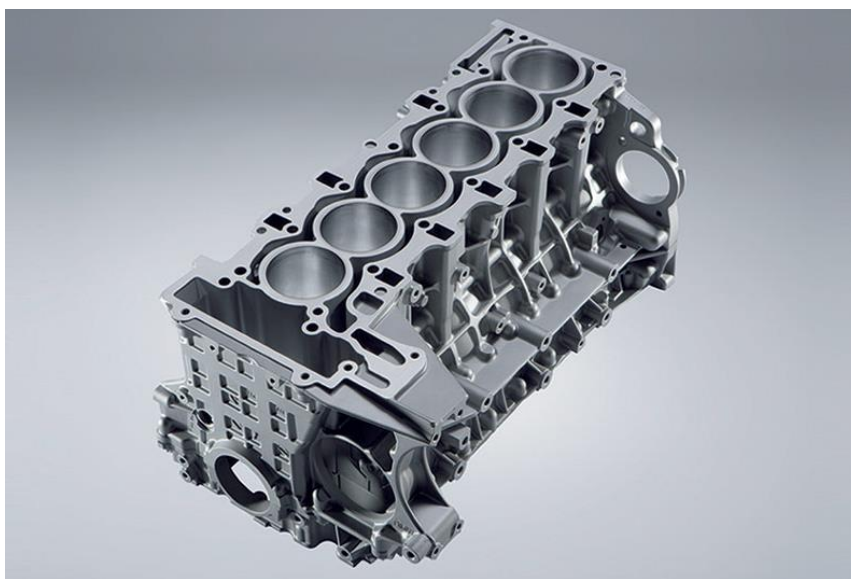
# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ŽELJEZO</b> .....	<b>2</b>
2.1. Svojstva željeza .....	2
2.2. Struktura željeza .....	3
2.3. Dobivanje sirovog željeza .....	4
2.4. Bijelo sirovo željezo .....	7
2.5. Sivo sirovo željezo .....	7
<b>3. LJEVOVI</b> .....	<b>8</b>
3.1. Sivi lijev .....	8
3.1.1. Kemijski sastav .....	8
3.1.2. Struktura sivog lijeva .....	11
3.1.3. Toplinska obrada sivog lijeva .....	13
3.1.4. Collaudov dijagram .....	15
3.1.5. Klasifikacija sivog lijeva .....	16
3.1.6. Svojstva sivog lijeva .....	16
3.2. Nodularni ili žilavi lijev .....	17
3.2.1. Kemijski sastav nodularnog lijeva .....	18
3.2.2. Struktura nodularnog lijeva .....	21
3.2.3. Cijepljenje i metalna osnova nodularnog lijeva .....	22
3.2.4. Toplinska obrada nodularnog lijeva .....	23
3.2.5. Klasifikacija nodularnog lijeva .....	24
3.2.6. Svojstva nodularnog lijeva .....	24
3.3. Kovkasti lijev .....	25
3.3.1. Kemijski sastav kovkastog lijeva .....	25
3.3.2. Crni kovkasti lijev .....	25
3.3.3. Bijeli kovkasti lijev .....	27
3.4. Tvrdi lijev .....	28
3.5. Čelični lijev .....	31
3.5.1. Kemijski sastav .....	32
3.5.2. Struktura i toplinska obrada čeličnog lijeva .....	32
3.5.3. Klasifikacija čeličnog lijeva .....	34
3.5.4. Svojstva čeličnog lijeva .....	35
<b>4. PRIMJENA U MEHATRONICI</b> .....	<b>36</b>
4.1. Sivi lijev .....	37
4.2. Nodularni ili žilavi lijev .....	39
4.3. Kovkasti lijev .....	41
4.3.1. Crni kovkasti lijev .....	41
4.3.2. Bijeli kovkasti lijev .....	42
4.4. Tvrdi lijev .....	43
4.5. Čelični lijev .....	44
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>46</b>

<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>47</b>
<b>7. SAŽETAK.....</b>	<b>49</b>
<b>8. ABSTRACT .....</b>	<b>50</b>

## 1. UVOD

Lijev se dobiva lijevanjem rastaljenog metala u kalupe. Hlađenjem i skrućivanjem metal poprima oblik kalupa te nastaje odljevak. Kalupi mogu biti pješčani (namijenjeni jednokratnoj upotrebi) i metalni ili kokile (namijenjeni višekratnoj upotrebi). Lijevanje ima široku upotrebu u automobilskoj industriji, građevinskoj industriji, željeznici, brodogradnji... Glavna prednost lijevanja je što se mogu postići kompleksni oblici npr. blok motora auta (slika 1.1.).



Slika 1.1. Blok motora [1]

Pošto su široka područja primjene lijevanja, važno je razlikovati i vrste ljevova koji se mogu koristiti. Ljevovi mogu biti na bazi željeza, bakra, aluminijski ili nekog drugog metala. U ovom radu opisani su ljevovi na bazi željeza. Ti ljevovi su sivi ljev, žilavi ili nodularni ljev, kovkasti ili temper ljev, tvrdi ljev i čelični ljev. Opisane su i toplinske obrade ljevova te njihova primjena u mehatronici. S obzirom da su ljevovi na bazi željeza u širokoj upotrebi (bilo to u industriji ili svakodnevnim proizvodima koje koristimo), oni se nalaze i u mnogim mehatroničkim sustavima. Ovisno od sustava do sustava, ljevovi na bazi željeza negdje su u prvom planu veličinom i ulogom, dok ima i obrnutih situacija gdje sudjeluju kao mali nevidljivi dijelovi, ali ipak bez tih malih dijelova sustav ne bi funkcionirao.

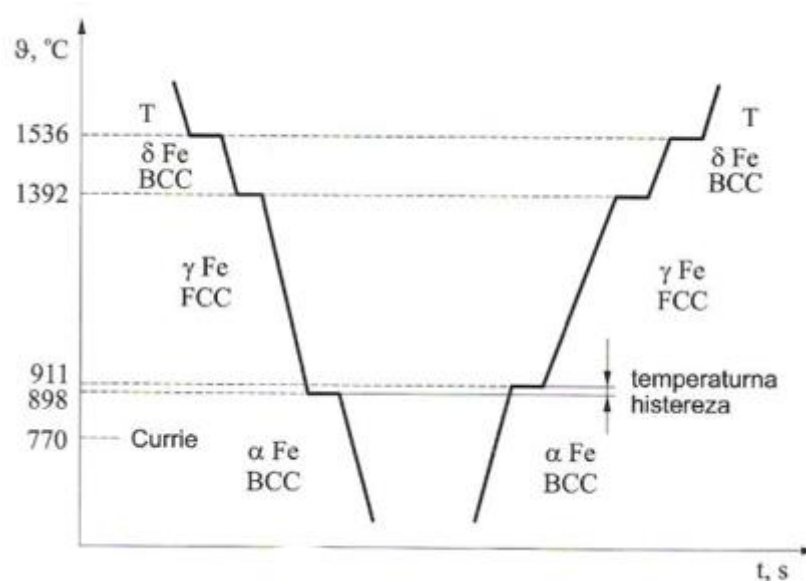
## 2. ŽELJEZO

Željezo (lat. *ferrum*) je metal atomskog broja 26, relativne atomske mase 55.85, gustoće 7874 kg/m<sup>3</sup> i tališta 1536 °C. Od 76 metala, željezo je metal koji se najviše koristi u tehničkoj praksi. Postoje mnogi proizvodi napravljeni od željeza, točnije od njegovih legura. Neki proizvodi možda nisu željezni, ali imaju neku komponentu od željeza. Iako je željezo „sveprisutno“, gotovo nemoguće ga je naći u elementarnom stanju jer reagira s nemetalima: kisik, ugljik, dušik, sumpor... Stoga se pronalazi u mineralima s drugim elementima. Najpoznatiji minerali s najvećim udjelom željeza su magnetit (udio Fe 71.4 %), hematit (udio Fe 70 %), limonit i pirotin (udio Fe 62 %), siderit (udio Fe 48.2 %) i pirit (udio Fe 46.5 %).

### 2.1. Svojstva željeza

Željezo u elementarnom stanju je sivo bijele boje, mekan i veoma kovak metal te srednje čvrstoće. Provodi toplinsku i električnu energiju, ali znatno lošije nego bakar. Ima magnetska i feromagnetička svojstva što znači da može „upamtiti“ magnetsko polje kojem je bio izložen neko vrijeme.

Pojavljuje se u 3 alotropske modifikacije (kristalne rešetke). Te modifikacije su  $\alpha$ -željezo,  $\gamma$ -željezo i  $\delta$ -željezo. Prelazak iz jedne u drugu modifikaciju postiže se mijenjanjem temperature (slika 2.1.).



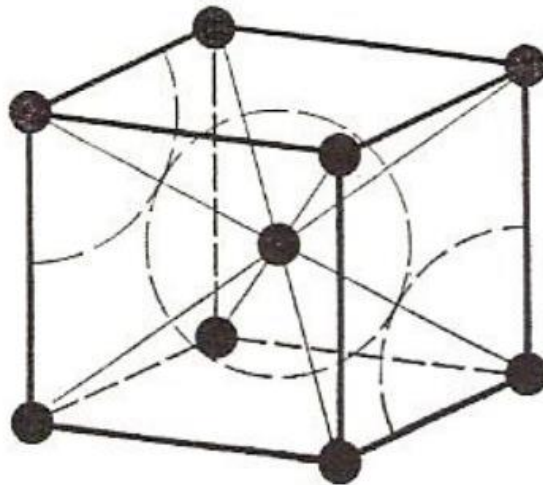
Slika 2.1. Alotropske modifikacije željeza [2]



Kod zagrijavanja željezo do 911 °C ima prostorno centriranu kubnu rešetku (na slici BCC). To je  $\alpha$ -željezo. Karakteristike toga stanja su feromagnetička svojstva (željezo prelaskom 770 °C gubi feromagnetička svojstva) i slabo otapanje ugljika. Daljnjim zagrijavanjem, željezo prelazi u  $\gamma$ -željezo. U tome stanju željezo poprima plošno centriranu kubnu rešetku (na slici FCC). U ovome stanju, željezo je sposobno otopiti mnogo ugljika. Pri 1392 °C željezo prelazi u  $\delta$ -željezo gdje ponovo ima prostorno centriranu kubnu rešetku. Iznad 1536 °C željezo prelazi u talinu. Pri hlađenju i skrućivanju taljenog željeza, željezo prvo prelazi u  $\delta$ -željezo pri 1536 °C, zatim u  $\gamma$ -željezo pri 1392 °C i pri 898 °C u  $\alpha$ -željezo. Primjećuje se da pri prelasku iz  $\alpha$ -željeza u  $\gamma$ -željezo i obrnuto, temperatura nije ista. Ta pojava se naziva temperaturna histereza.

## 2.2. Struktura željeza

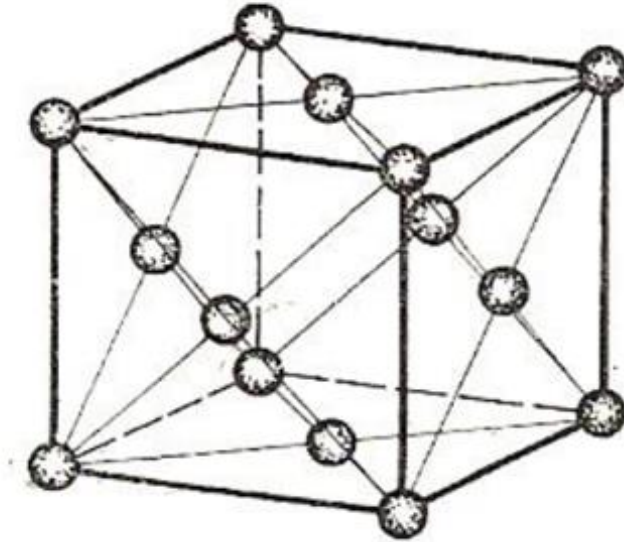
U prethodnom odlomku, spominjale su se alotropske modifikacije željeza. Željezo ima dvije alotropske modifikacije: prostorno centrirana kubna rešetka i plošno centrirana kubna rešetka.



Slika 2.2. Prostorno centrirana kubna rešetka [2]

Na slici 2.2. prikazana je prostorno centrirana kubna rešetka. Na svakom vrhu kocke je po jedan atom željeza. U središtu kocke gdje se sijeku dijagonale iz vrhova, nalazi se još jedan atom željeza. Ukupan broj atoma koji čini rešetku je devet (osam na vrhovima i jedan u središtu). Atomi na vrhovima se međusobno ne dodiruju, samo atom u sredini dodiruje atome koji se nalaze na vrhovima. Važno je napomenuti da atomi na vrhovima pripadaju i susjednim rešetkama, samo atom u središtu pripada u cijelosti jednoj rešetki. Stoga proizlazi da jednoj rešetki pripadaju dva atoma. Ova rešetka može primiti 24 strana atoma, a da se ne izvitoperi.

Polumjeri tih atoma su 0.3 r atoma željeza. Ovu alotropsku modifikaciju kristaliziraju se i neki ostali metali poput kroma, molibdena i vanadija.



Slika 2.3. Plošno centrirana kubna rešetka [2]

Na slici 2.3. je prikazana plošno centrirana kubna rešetka. Na svakom vrhu kocke je po jedan atom. U sjecištu dijagonala svake plohe nalazi se po jedan atom. Ukupan broj atoma koji čine rešetku je 14 (osam na vrhovima i šest na plohama). Atomi na vrhovima se međusobno ne dotiču. Atom u središtu plohe, dotiče po dijagonali atome na vrhovima. U ovoj alotropskoj modifikaciji nijedan atom ne pripada u cijelosti rešetki. Atomi na vrhovima i atomi na plohi dijele se s ostalim rešetkama. Ovoj rešetki ukupno pripadaju četiri atoma i može primiti 13 stranih atoma, a da ne dođe do promjene oblika rešetke. Njihovi polumjeri su 0.4 r atoma željeza. Ovu alotropsku modifikaciju kristaliziraju se i neki ostali metali poput aluminija, bakra, nikla, zlata i srebra.

### 2.3. Dobivanje sirovog željeza

Željezo je u prirodi nemoguće naći u elementarnom stanju. Nalazi se u mineralima skupa s drugim elementima. U mineralima u kojima je postotak željeza visok, eksploatacijom iz rudnika dobiva se željezna ruda. Ta ruda se tali u visokim pećima i dobiva se sirovo željezo. Da bi se proizvelo sirovo željezo, potrebna je željezna ruda. Željezna ruda može biti oksidna, karbonatna i sulfidna (slika 2.4.).



Slika 2.4. Željezna ruda [3]

„Sastav željezne rude je:

- korisni udio- komponente koje sadrže Fe
- pratioci- mangan, fosfor i dr.
- jalovina- sadrži spojeve koji su mehanički vezani za korisni dio (silicijev dioksid, glinica, kalcijev karbonat, magnezijev oksid)“ [4].

Zbog sastava željezne rude potrebni su talionički dodaci koji će na sebe vezati jalovinu, pepeo i ostale nečistoće. Ta smjesa prilikom rada visoke peći zove se troska. Još je potrebno redukcijsko sredstvo koje će oduzeti željeznom oksidu kisik (tako da ostane „samo“ željezo). Najčešće redukcijsko sredstvo je metalurški koks. Koks se dobiva iz kamenog ugljena. Izgaranjem stvara toplinu za taljenje rude, a usput pougljičuje željezo.

U visokoj peći (slika 2.5.) kroz proces redukcije (oduzimanje kisika iz željezne rude) dobiva se željezo. U peć se kroz vrh naizmjenično ubacuje ruda, koks i taljivo. Pravilan dovod zraka je bitan radi ispravnog rada peći i postizanja optimalne temperature.



Slika 2.5. Visoka peć [5]

Visoka peć daje tri proizvoda. Prvi proizvod je grotleni plin koji u sebi sadrži ugljikov monoksid, ugljikov dioksid, dušik i ostale primjese. Drugi proizvod je troska. Troska svoju primjenu pronalazi u građevinskoj industriji (nasipavanje cesta, žbukanje, toplinska izolacija), a može biti i gnojivo. Treći proizvod je sirovo željezo. Sirovo željezo se dijeli na: bijelo sirovo željezo i sivo sirovo željezo. Sirovo željezo sadrži od 2 do 4 % ugljika i 6 do 10 % primjesa fosfora, sumpora i ostalih primjesa. Slika 2.6. prikazuje sirovo željezo.



Slika 2.6. Sirovo željezo [6]

## 2.4. Bijelo sirovo željezo

„Bijelo sirovo željezo:

- ugljik vezan u cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$ ,
- veći sadržaj mangana, a manji silicija,
- brže hlađenje,
- koristi se za preradbu u čelik.“ [4].

Bijelo sirovo željezo je krhko te je zapravo sirovina za proizvodnju čelika, čeličnog i bijelog tvrdog lijeva. 9/10 sveg proizvedenog bijelog sirovog željeza prerađuje se u čelik, a ostatak u ljevove.

## 2.5. Sivo sirovo željezo

„Sivo sirovo željezo:

- ugljik je slobodan u obliku grafita,
- manji sadržaj mangana, a veći silicija,
- sporije hlađenje,
- služi za lijevanje.“ [4].

Iz sivog sirovog željeza dobivaju se sivi ljevovi s listićavim ili kuglastim grafitom. Pretaljuje se u električnim pećima te se zatim lijeva u kalupe.

### 3. LJEVOVI

„Pojam „lijev“ proizlazi iz tehnološkog postupka lijevanja i usko je povezan s pojmom „odljevak“. Taljevina (lijev) se ulijeva u kalupe i poprima konačan oblik čime dobivamo odljevak koji se još eventualno dorađuje odvajanjem čestica: blanjanje, bušenje i brušenje i sl.“ [4].

Lijev se upotrebljava kod odljevaka vrlo složenih oblika ili velikih dimenzija koje je teško ili ekonomski neisplativo oblikovati obradom odvajanjem čestica, kovanjem ili zavarivanjem. Ljevovi su jeftiniji od čelika zbog niže cijene sirovine za njihovu proizvodnju.

U sljedećim odlomcima opisani su:

- sivi lijev,
- nodularni ili žilavi lijev,
- kovkasti ili temper lijev,
- tvrdi lijev i
- čelični lijev.

#### 3.1. Sivi lijev

Sivi lijev je legura željeza i ugljika. Postotak ugljika u leguri iznosi od 2.5 % do 4.5 %. Ugljik se izlučuje u obliku listića grafita koja mu daje sivu boju. Lijev sadrži primjesu silicija, mangana, fosfora i sumpora. Dobiva se taljenjem sivog sirovog željeza i starog lomljenog čelika u kupolnim ili indukcijskim pećima. Sivi lijev spada u sam vrh proizvodnje ljevova zbog jeftine i jednostavne proizvodnje, dobre livljivosti i široke primjene.

Iako sivi lijev ima malu vlačnu čvrstoću, tvrdoću, žilavost, istežljivost i modul elastičnosti, izrazito je otporan na koroziju, dobre je strojne obradivosti, prigušuje vibracije i dobre je tlačne čvrstoće. Stoga svoju primjenu nalazi u izradi postolja, dijelova strojeva, peći, kućišta, blokova motora, cilindara...

##### 3.1.1. Kemijski sastav

Kemijski sastav sivog lijeva nije propisan normama. Najčešći kemijski sastav kreće se [7]:

- od 2.5 do 4.5 % ugljika (C),
- od 0.3 do 1.2 % mangana (Mn),

- od 1.0 do 4.0 % silicija (Si)
- od 0.4 do 1.5 % fosfora (P)
- < 0.1 % sumpora (S).

Kao što je već spomenuto, ti elementi ne čine sivi lijev legiranim. Oni se smatraju primjesama (osim ugljika). Njihova prisutnost je neizbježna prilikom proizvodnje jer svojim kemijskim utjecajem pogoduju strukturi sivog lijeva. U tablici 3.1. je naveden utjecaj primjesa u sivom lijevu.

Tablica 3.1. Najčešći elementi sivog lijeva [8]

Element	Utjecaj na sivi lijev
Silicij (Si)	Pomaže pri grafitizaciji ugljika, bitan je omjer ugljika i silicija
Mangan (Mn)	Cementator, umjesto štetnog željeznog sulfida (FeS), stvara neškodljivi manganov (II) sulfid (MnS)
Fosfor (P)	Smanjuje žilavost, ali pomaže pri grafitizaciji i livljivosti (bolje popunjavanje kalupa)
Sumpor (S)	Cementator, stvara štetan sumporov (IV) oksid (SO <sub>2</sub> ) koji izaziva plinske mjehuriće te željezni (II) sulfid (FeS) koji stvara tvrde uključke. Dolazi iz koksa i sirovine.

Sivi lijev se legira da bi mu se povećala otpornost prema habanju, otpornost prema koroziji ili da bi imao bolja mehanička svojstva poput tvrdoće ili vlačne čvrstoće. U tablici 3.2. su prikazani najčešći legirni elementi i njihov utjecaj na sivi lijev.

Tablica 3.2. Legirni elementi sivog lijeva [8]

Element	Utjecaj na sivi lijev
Nikal (Ni)	Grafitizator, usitnjava perlit, smanjuje unutrašnje naprezanje u odljevku
Krom (Cr)	Stabilizira karbide, povećava tvrdoću i otpornost prema habanju
Bakar (Cu)	Povećava otpornost prema koroziji, pomaže grafitizaciji
Molibden (Mo)	Stabilizira karbide, povećava tvrdoću i vlačnu čvrstoću.
Aluminij (Al)	Pomaže grafitizaciji, ali samo pri određenim postotcima (3 do 5 % i 16 do 19 %), poboljšava mehanička svojstva
Vanadij (V)	Stabilizira karbide, povećava vlačnu čvrstoću i otpornost prema habanju
Titan (Ti)	Grafitizator, povećava vlačnu čvrstoću i otpornost prema habanju

Osim elemenata navedenih u tablici 3.2., sivi lijev se može legirati i sa olovom (Sb), bizmutom (Bi), borom (B) i kositrom (Sn).

Funkcija stupnja zasićenosti  $S_z$  odnosno eutektičnost prikazuje utjecaj kemijskog sastava na mehanička svojstva sivog lijeva. To se određuje prema formuli [8]:

$$S_z = \frac{\% C}{\% C^e} = \frac{\% C}{4.26 - \left(\frac{1}{3}(\% Si + \% P)\right)} \quad (3.1)$$

gdje je  $S_z$  stupanj zasićenja, % C ukupan postotak ugljika, % Si udio silicija i % P udio fosfora. Stoga prema vrijednosti  $S_z$  razlikuju se:

- $S_z < 1$  podeutektičke vrste sivog lijeva,
- $S_z = 1$  eutektičke vrste sivog lijeva,
- $S_z > 1$  nadeutektičke vrste sivog lijeva.



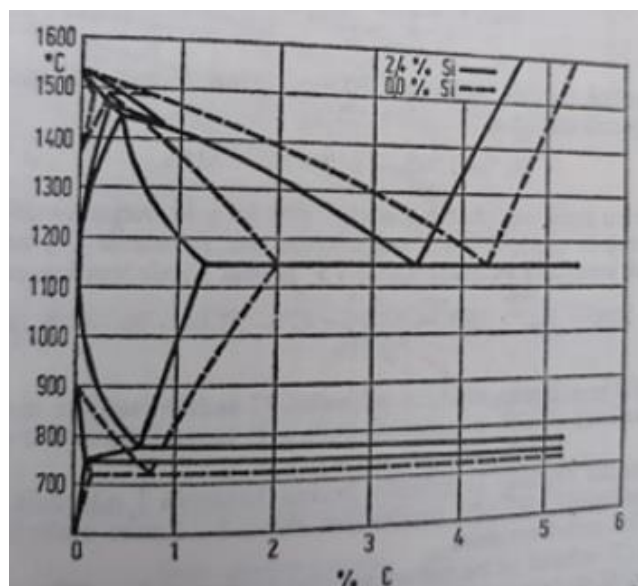
Postoji još jedan način određivanja zasićenosti sivog lijeva, a to je ugljični ekvivalent ili ekvivalent ugljika. Računa se preko formule [8]:

$$CE = \% C + \frac{\% Si}{3} + \frac{\% P}{3} \quad (3.2)$$

gdje je CE ekvivalent ugljika, % C ukupni ugljik u lijevu, % Si ukupni silicij u lijevu i % P ukupni fosfor u lijevu. Prema vrijednosti CE razlikuju se:

- $CE < 4.3$  podeutektički sastav sivog lijeva,
- $CE = 4.3$  eutektički sastav sivog lijeva,
- $CE > 4.3$  nadeutektički sastav sivog lijeva.

Na slici 3.1. prikazan je dijagram stanja gdje se mogu vidjeti dvije eutektičke točke pri različitim vrijednostima ugljika i silicija. Također mogu se vidjeti različite temperature taljenja sivog lijeva u odnosu na koncentraciju ugljika (C) i silicija (Si).



Slika 3.1. Eutektičke točke pri 0.0 % i 2.4 % silicija (Si) [8]

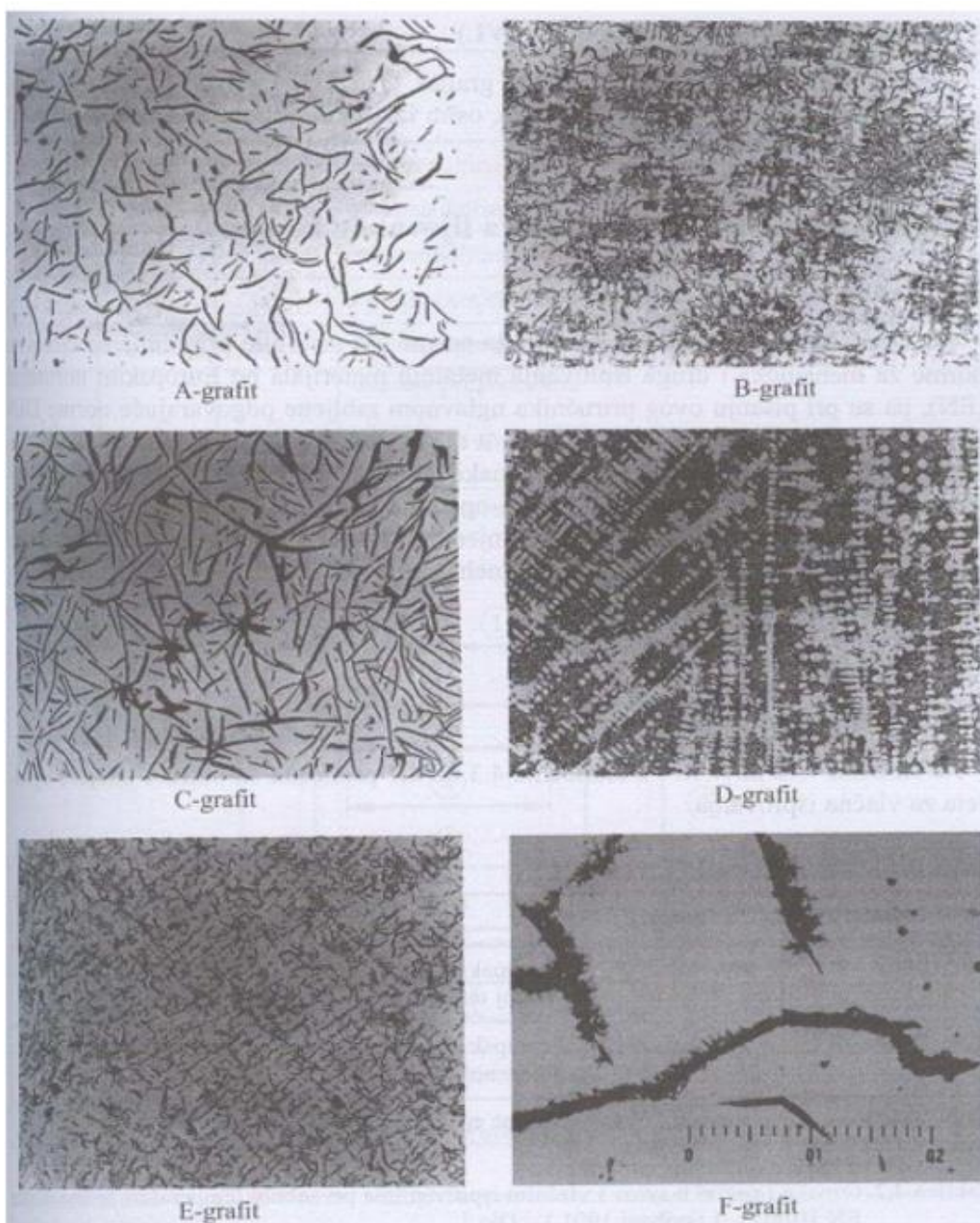
### 3.1.2. Struktura sivog lijeva

Struktura sivog lijeva je dvojna. Sastoji se od listića grafita i željezne osnove. Grafit se izlučuje u 3 osnovna oblika:

- lisnati ili lameralni oblik (sivi lijev),
- kugličasti oblik (nodularni lijev) i
- čvorasti oblik (kovkasti lijev).

Lisnati ili lameralni oblik je najznačajniji oblik te se dijeli na 5 kategorija od A do F prikazano na slici 3.2.:

- tip A karakterizira ravnomjerno raspodjeljen i proizvoljno orijentiran grafit, ujedno i najpoželjniji oblik grafita
- tip B karakterizira grafit koji se izlučuje u obliku rozeta ili gnijezda
- tip C je nadeutetički grafit tj. nastaje već u talini, a posljedica je velike količine ugljika
- tipovi D i E su podeutetički grafiti, nastaje zbog prevelike količine silicija
- tip F nastaje zbog prevelikog udjela fosfora ( $P > 20\%$ ) ili olova ( $Pb > 0.005\%$ ).



Slika 3.2. Listići grafita [9]

Željezna osnova sivog lijeva može biti perlitna, perlitno-feritna i feritna. Što je perlitna faza dulja, vlačna čvrstoća i tvrdoća je veća.

### **3.1.3. Toplinska obrada sivog lijeva**

Oko 95 % odljevaka sivog lijeva ispunjava sve zahtjeve i nije ih potrebno toplinski obrađivati. Ostalih 5 % potrebno je toplinski obraditi . Toplinskom obradom smanjuju se unutarnja naprezanja i poboljšava strojna obradivost. Postupci toplinske obrade su:

- žarenje radi odstranjivanja unutarnjih naprezanja,
- žarenje na visokoj temperaturi,
- meko žarenje,
- kaljenje,
- popuštanje,
- površinsko kaljenje.

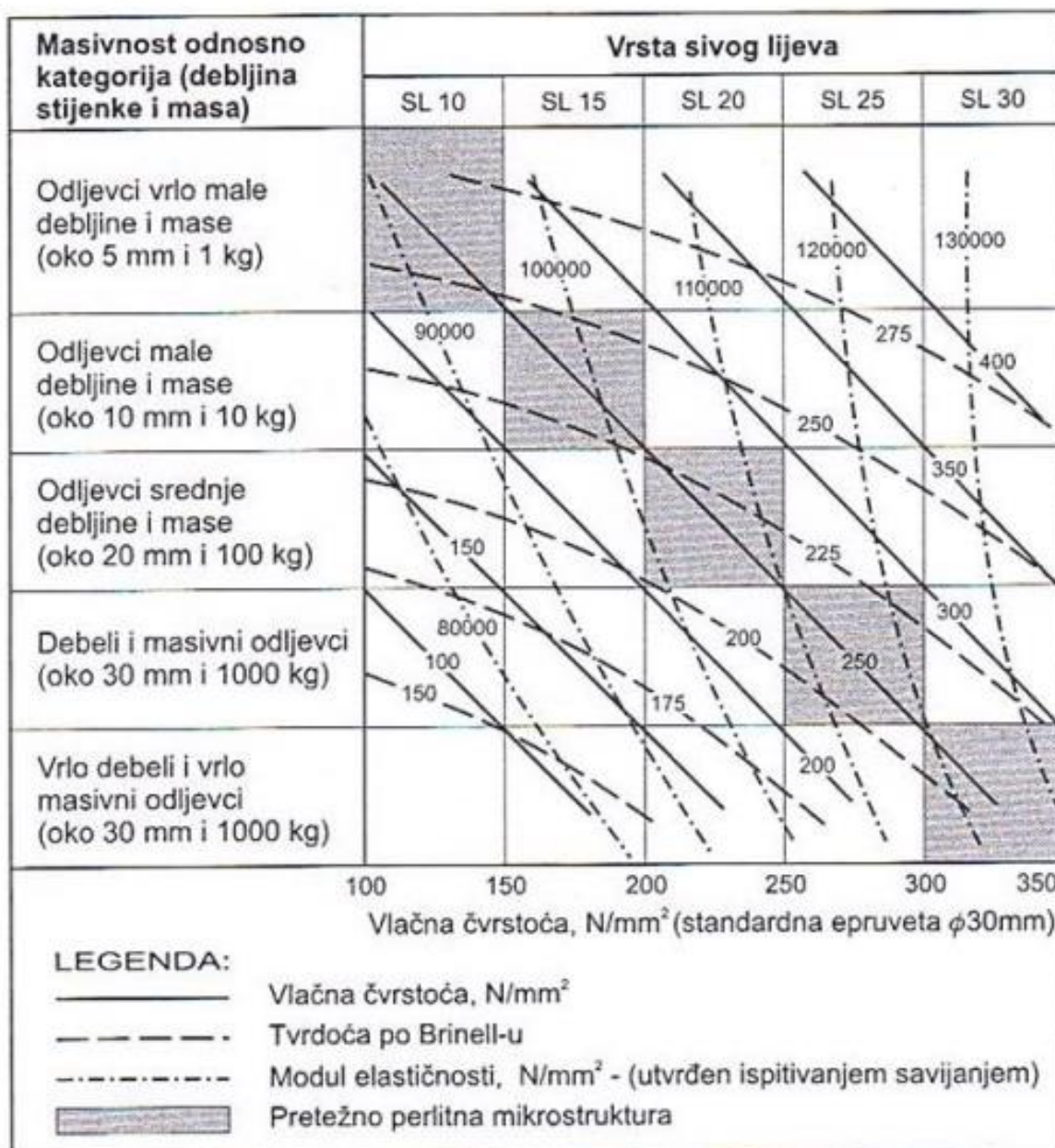
U tablici 3.3. prikazane su temperature i objašnjenja za svaki postupak toplinske obrade sivog lijeva.

Tablica 3.3. Toplinske obrade sivog lijeva [8]

Vrsta toplinske obrade	Objašnjenje
Žarenje radi odstranjivanja unutarnjih naprezanja	Odvija se na temperaturi od 500 do 600 °C što je dovoljno za odstranjivanja unutarnjih naprezanja, a da ne dođe do razlaganja perlita. Važno je da se komad sporo hladi 40 °C/h dok ne dostigne 300 °C. Nakon toga, komad se hladi na zraku.
Žarenje na visokoj temperaturi	Vrši se na temperaturi od 900 do 955 °C radi razlaganja karbida u perlit i grafit. Perlitna struktura dobiva se brzim hlađenjem do 550 °C, a za feritnu strukturu potrebno je sporo hlađenje 10-20 °C/h od 800 do 680 °C.
Meko žarenje	Koristi se za poboljšanje obradivosti razlaganjem perlita u ferit. Ukoliko sadržaj silicija prelazi 1.8 %, zagrijava se na 700 do 760 °C te se sporo hladi do 300 °C brzinom od 40 do 50 °C/h. Ukoliko je sadržaj silicija manji od 1.8 %, zagrijava se na 800 do 900 °C te se vrši sporo hlađenje 10 do 20 °C/h od 800 do 680 °C.
Kaljenje	Odvija se na temperaturi iznad 820 °C . Hladi se brzo na temperaturu od 100 do 200 °C. Uvjet zakaljivosti je da ukupni ugljik i silicij u lijevu moraju biti maji od 4.5 % te da vezani ugljik mora biti veći od 0.5 %.
Popuštanje	Postupak koji se odvija nakon kaljenja radi smanjenja krhkosti i unutarnjih naprezanja. Zagrijava se na 150 do 550 °C ovisno o kemijskom sastavu.
Površinsko kaljenje	Može biti plameno ili indukcijsko. Ne zagrijava se cijeli komad nego samo površinski sloj.

### 3.1.4. Collaudov dijagram

Collaudov dijagram prikazuje povezanost mehaničkih svojstva odljevaka od različitih vrsti sivog lijeva s debljinom stijenke i masom. Što je odljevak većih dimenzija, njegova čvrstoća, tvrdoća i modul elastičnosti su lošijih vrijednosti. Na slici 3.3. prikazan je Collaudov dijagram. Pri izboru vrste sivog lijeva treba se voditi računa o perlitnoj strukturi i vlačnoj čvrstoći (oko 250 N/mm<sup>2</sup>).



Slika 3.3. Collaudov dijagram [7]

### 3.1.5. Klasifikacija sivog lijeva

Sivi lijev se klasificira na temelju vrijednosti vlačne čvrstoće ( $R_m$ ) i vrijednosti savojne čvrstoće ( $R_{ms}$ ) na ispitnom uzorku (šipci) promjera 30 mm. Tablica 3.4. prikazuje klasifikaciju sivog lijeva na temelju europske norme.

Tablica 3.4. Normirane vrste sivog lijeva i njihova mehanička svojstva [7]

Oznaka lijeva prema EN	$R_m$ , N/mm <sup>2</sup> za šipku debljine 30mm	$R_{ms}$ , min N/mm <sup>2</sup>	Raspon oslonca pri savijanju L, mm
EN-HJL 100S	100...150	-	400, $d = 20\text{mm}$
EN-HJL 150S	150...200	310	400, $d = 20\text{mm}$
EN-HJL 200S	200...250	380	400, $d = 20\text{mm}$
EN-HJL 250S	250...290	450	400, $d = 20\text{mm}$
EN-HJL 290S	290...340	470	400, $d = 20\text{mm}$
EN-HJL 340S	340...390	530	600, $d = 30\text{mm}$
EN-HJL 390S	>390	590	600, $d = 30\text{mm}$

### 3.1.6. Svojstva sivog lijeva

Svojstva sivog lijeva mogu biti tehnološka, mehanička i ostala svojstva (svojstva koja se ne mogu svrstati ni u tehnološka ni u mehanička svojstva). Tehnološka svojstva odnose se na postupak proizvodnje i daljnje obrade. Stoga se razlikuju poželjna i nepoželjna svojstva. Mehanička svojstva su temeljna svojstva svakog materijala.

Poželjna tehnološka svojstva [7]:

- vrlo dobra livljivost,
- jednostavnija proizvodnja u odnosu na druge ljevove,
- mogućnost odljeva odljevaka svih masivnosti,
- dobra rezljivost,
- nisko talište.

Nepoželjna tehnološka svojstva [7]:

- linearno skupljanje iznosi 1%,
- slaba zavarljivost zbog visoke koncentracije ugljika i male istezljivosti.

Mehanička svojstva [7]:

- niska vlačna čvrstoća,
- vrlo niska istezljivost,
- vrlo visoka tlačna čvrstoća,

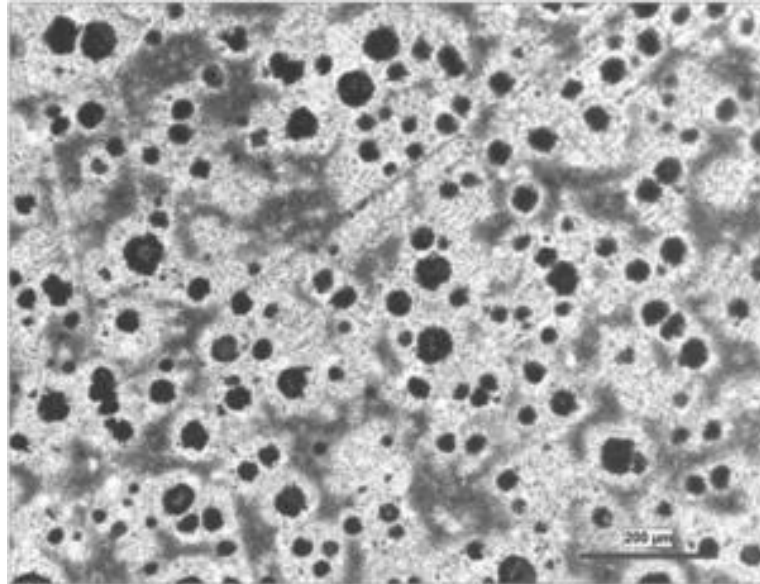
- slaba žilavost,
- promjenjiv modul elastičnosti  $E$  ( $E = 60000 - 155000 \text{ N/mm}^2$ ).

Ostala svojstva [7]:

- antifriksijska svojstva; grafit podmazuje kod nestanka podmazivajućeg sredstva,
- otpornost na atmosferske uvjete,
- porast volumena pri temperaturi višoj od  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- prigušivanje vibracija.

### 3.2. Nodularni ili žilavi lijev

Nodularni ili žilavi lijev je željezni lijev kojeg karakterizira ugljik izlučen u obliku kuglica (slika 3.4.) tj. nodula po kojemu je i dobio ime. Zbog kugličastog grafita lijev ima veoma povoljna kombinacijska svojstva te je nodularni lijev zamijenio sivi, čelični i temper lijev u nekim područjima primjene. Najupečatljivija svojstva nodularnog lijeva su livljivost, strojna obradivost, dobra žilavost, dobra istežljivost i razvlačenje te dobra vlačna čvrstoća.



Slika 3.4. Nodule grafita [10]

Kao što je spomenuto, nodularni lijev istiskuje druge ljevove iz upotrebe te njegova proizvodnja raste. Proizvodi se taljenjem sivog sirovog željeza u elektropecima. Tijekom proizvodnje nodularnog lijeva, dodaje se magnezij koji slitinu deoksidira te se zatim slitina cijepi silicijem koji pomaže nastanku nodula tj. kuglica grafita. Proizvodnja je teža i skuplja nego za druge vrste ljevova.

### 3.2.1. Kemijski sastav nodularnog lijeva

„Kemijski sastav nodularnog lijeva razlikuje se od sastava sivog lijeva po tome što sadrži vrlo male količine magnezija (od 0,04 % do 0,08 %) ili cerija te ostale elemente rijetkih zemalja (La, Pr, Nd), koji se dodaju kako bi se grafit izlučio u obliku kuglica.“ [8]

Najčešći kemijski sastav nodularnog lijeva [7]:

- 3.2 % do 3.8 % ugljika (C),
- 2,4 % do 2,8 % silicija (Si),
- <0.5 % mangana (Mn),
- <0.045 % fosfora (P),
- <0.01 % sumpora (S).

Nabrojani elementi su ujedno i primarni elementi. Sve kemijske elemente koji se mogu naći u nodularnom lijevu mogu se podijeliti u 6 skupina:

- primarni elementi: ugljik (C), silicij (Si), mangan (Mn), sumpor (S), fosfor (P);
- nodulatori: magnezij (Mg), cezij (Ce), lantan (La);
- elementi koji utječu na matricu: bakar (Cu), kositar (Sn);
- legirajući elementi: nikal (Ni), molibden (Mo);
- karbidotvorci: krom (Cr), vanadij (V), bor (B), molibden (Mo), telurij (Te);
- antiglobulatori ili nepoželjni elementi.

U tablici 3.5. su prikazani najčešći elementi u nodularnom lijevu i opisan je njihov utjecaj na lijev.



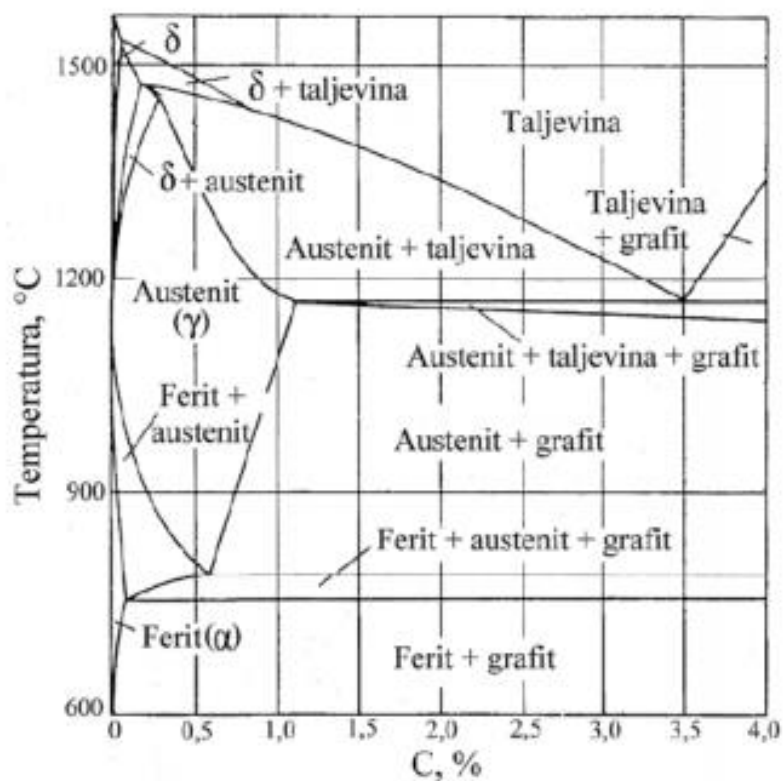
Tablica 3.5. Kemijski elementi u nodularnom lijevu [8]

Element	Utjecaj na nodularni lijev
Ugljik	Element od kojega nastaje grafit, ako je udio manji od 3.6 %, grafit se stvara na stjenkama odljevka. Ako je udio veći od 3.8 %, grafit ispliva na površinu tj. dolazi do floatacije.
Silicij	Pomaže pri izlučivanju grafita, mjenjanjem udjela silicija postiže se povećana vlačna čvrstoća i granica razvlačenja. Previsoka koncentracija smanjuje istezljivost i žilavost te povećava tvrdoću. Optimalni udio silicija iznosi 2 do 2.5%.
Mangan	Element koji stvara perlit i željezni karbid. Karbidi utječu na smanjenje vlačne čvrstoće, istezljivosti i žilavosti. Stoga udio mangana treba iznositi od 0.1 do 0.2 % da bi se izbjeglo stvaranje karbida.
Sumpor	Reagira s magnezijem te daljne kemijske reakcije dovode do pojave troske. Udio sumpora treba biti što niži te iznosi 0.008 do 0.015 %.
Magnezij	Potiče stvaranje nodula, deoksidira i odsumporava talinu. Udio se najčešće kreće od 0.035 do 0.05 %, ovisno o postotku sumpora.
Fosfor	Tijekom skrućivanja pojavljuje se u obliku fosfida na granicama eutektičkih zrna. Uzrokuje krhkost lijeva i negativno utječe na žilavost. Koncentracija fosfora treba biti manja od 0.02 %.
Bakar	Pospješuje stvaranje perlita, povisuje vlačnu čvrstoću, granicu razvlačenja i tvrdoću, ali smanjuje istezljivost i žilavost. Udio mu ne prelazi 0.82 % što je dovoljno za stvaranje perlitne osnove.
Kositar	Stvara perlit 10 puta jače nego bakar. Dodaje se u udjelu od 0.03 % do 0.08 %.
Molibden	Povisuje prokaljivost, vlačnu čvrstoću, granicu razvlačenja i toplinski umor. Smanjuje istezljivost i žilavost lijeva.
Nikal	Poboljšava vlačnu čvrstoću.
Krom	Poboljšava prokaljivost, otpornost na trošenje i tvrdoću. Stvara karbide uz prisustvo mangana.

Eutetički sastav u nodularnom lijevu iznosi  $C_e = 4.3$ .  $C_e$  ili ekvivalent ugljika govori gdje se lijev određenog kemijskog sastava nalazi u odnosu na eutetički sastav. Formula glasi [8]:

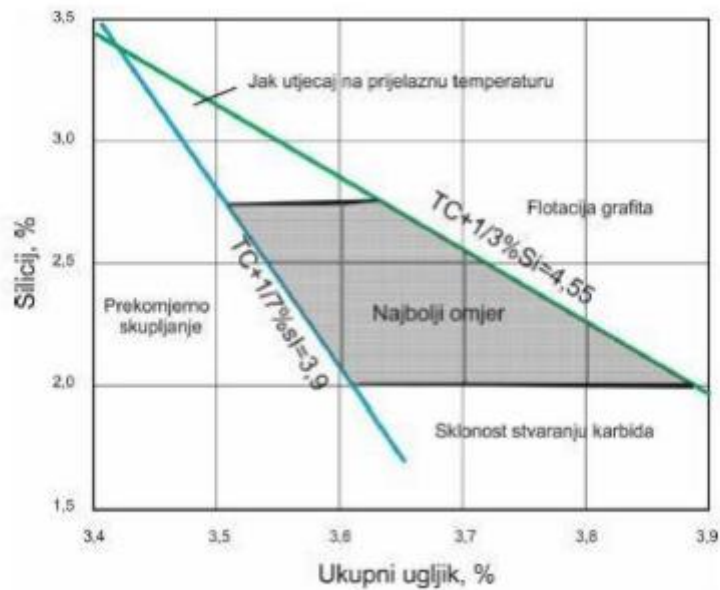
$$C_e = \% C + \frac{\% Si + \% P}{3} \quad (3.3)$$

gdje je % C sadržaj ugljika u postotcima, % Si sadržaj silicija u postotcima i % P sadržaj fosfora u postotcima. Ukoliko je  $C_e > 4.3$  tada je lijev nadeutetički, a ako je  $C_e < 4.3$  tada je lijev podeutetički. Slika 3.5. prikazuje ravnotežni dijagram stanja Fe - C sa 2.5 % Si.



Slika 3.5. Ravnotežni dijagram stanja Fe - C sa 2.5 % Si[11]

Slika 3.6. prikazuje optimalne udjele ugljika i silicija u nodularnom lijevu. Može se primijetiti da se  $C_e$  kreće u granicama od 3.9 do 4.55.

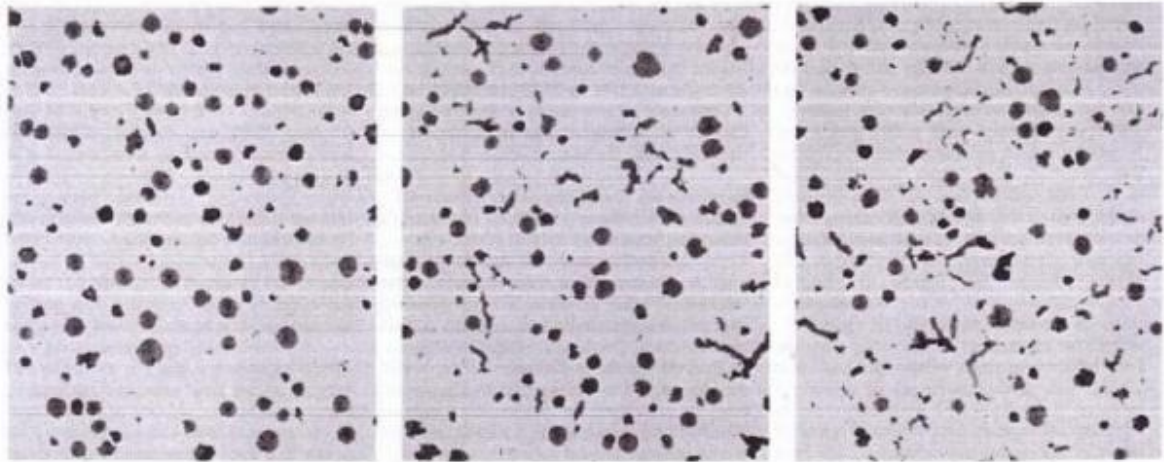


Slika 3.6. Udio ugljika i silicija u nodularnom lijevu [12]

### 3.2.2. Struktura nodularnog lijeva

Nodularni lijev je približno eutetičkog sastava. Eutektik može biti stabilan ili metastabilan, a nastaje prilikom skrućivanja taljevine. Kada je kristalizacija stabilna, nastaje grafit i austenit. Kod metastabilne nastaju cementit i austenit. Međutim, moguć je i nastanak miješane strukture austenita, grafite i cementita.

Mikrostruktura nodularnog lijeva određuje se pod mikroskopom. Uzorak se prvo brusi, polira i nagriža, zatim ide pod mikroskop gdje se vide nakupine grafite. Nakupine grafita su kuglastog oblika. Najpoželjnije i najbolje je da je što veći udio pravilnih oblika u odnosu na nepravilne oblike. Stoga se teži da lijev ima nodularnost iznad 80 % jer što je veći broj pravilnih oblika nodula ili kuglica grafita, bolja su mehanička svojstva lijeva. Na slici 3.7. prikazane su 3 različite nodularnosti mikrostrukture nodularnog lijeva.



Slika 3.7. Različite nodularnosti nodularnog lijeva [12]

Ako je nodularnost slaba tj. udio nepravilnih nodula grafita je veći od 20 %, vlačna čvrstoća i dinamička izdržljivost opadaju, snižava žilavost, ali povećava sposobnost prigušenja vibracija, povećava toplinsku vodljivost i smanjuje električni otpor. Da bi se dobio željeni broj nodula i željena svojstva nodularnog lijeva, provodi se cijepljenje.

### 3.2.3. Cijepljenje i metalna osnova nodularnog lijeva

Cijepljenje je kemijska modifikacija taljevine kojom se kontroliraju struktura i svojstva lijeva putem minimizacije pothlađenja i povećanja aktivnih nukleusa tijekom skrućivanja. Cjepivo se može dodati u maloj količini u talinu nakon ili u vrijeme lijevanja u kalupe kako bi se potaknulo što bolje nastajanje nodula grafita. Cjepivo se može dodati i u lonac prije taljenja, ali učinak će biti puno slabiji. U praksi se kombiniraju obje metode radi što boljeg učinka.

Učinci cijepjenja su:

- nastajanje velikog broja dobro oblikovanih nodula,
- smanjenje pothlađivanja taline prilikom skrućivanja,
- smanjenje nastanka karbida,
- poboljšanje svojstva odljevka.

Cijepljenjem se poboljšava nodularnost, a time i broj nodula koji otežavaju stvaranje karbida i potiču stvaranje ferita. Ferit pozitivno utječe na ujednačenje vlačne čvrstoće, istezljivosti, tvrdoću i obradivost obradom odvajanjem čestica.

Metalna osnova nodularnog lijeva može biti:

- feritna,

- perlitna,
- austenitna,
- feritno - perlitna.

Najčešća metalna osnova je feritno - perlitna te je najčešće u upotrebi zbog velike čvrstoće i dobre otpornosti prema trošenju. Austenitni nodularni lijev koristi se u uvjetima visokih temperatura, otpornosti na koroziju i trošenje. Perlitni nodularni lijev ima višu čvrstoću, ali manju istezljivost dok kod feritnog nodularnog lijeva je obratno.

### 3.2.4. Toplinska obrada nodularnog lijeva

Toplinskom obradom odljevaka nodularnog lijeva uklanjaju se unutarnja naprezanja, poboljšava kvaliteta i poboljšavaju mehanička svojstva. U tablici 3.5. su prikazani postupci toplinske obrade.

Tablica 3.5. Postupci toplinske obrade [8]

Vrsta toplinske obrade	Objašnjenje
Žarenje radi smanjenja zaostalih naprezanja	Odljevak se zagrijava na 550 °C te se drži na toj temperaturi od 2 do 4 sata. Uklanja se 80 do 90 % unutrašnjih naprezanja.
Grafitizacijsko žarenje za smanjenje slobodnog cementita	Iz odljevka se uklanja cementit (Fe <sub>3</sub> C), struktura ostaje feritno-perlitna. Poboljšavaju se plastična svojstva odljevka te obradivost odvajanjem čestica.
Grafitizacijsko žarenje za postizanje feritne strukture	Poboljšava se žilavost i obradivost odvajanjem čestica, ali snižava se vlačna čvrstoća i otpornost na trošenje. Odljevak se zagrijava na 900 °C te se ta temperatura drži 2 sata, zatim se temperatura snižava na 740 °C i na toj temperaturi se drži 2 do 4 sata.
Normalizacija	Postupak kojim se postiže otpornost na trošenje te se granica razvlačenja povisuje za 40%.
Poboljšavanje nodularnog lijeva	Postiže se visoka tvrdoća, visoka čvrstoća, povišena žilavost, veća granica razvlačenja i veća otpornost na trošenja.
Površinsko kaljenje	Provodi se na temperaturi od 950 do 110 °C. Može biti plinsko ili indukcijsko. Postiže se tvrda površina, otpornost na trošenje i žilava jezgra.

### 3.2.5. Klasifikacija nodularnog lijeva

Nodularni lijev se klasificira prema vlačnoj čvrstoći ( $R_m$ ), konvencionalnoj granici razvlačenja i istezljivosti ( $A$ ). U tablici 3.6. prikazane su neke vrste nodularnog lijeva po europskoj normi. Osim prethodno navedenih svojstva, na slici su prikazana i tvrdoća po Brinellu te mikrostruktura.

Tablica 3.6. Vrste nodularnog lijeva i njegova mehanička svojstva [7]

Oznaka lijeva prema EN	$R_m$ min N/mm <sup>2</sup>	$R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$A_5$ min %	KU pri +20 °C, J	HB	Mikrostruktura osnove
EN-GJS-370-17SRT	370	230	17	13	<180	ferit
EN-GJS-400-12S	400	250	12	-	<200	ferit
EN-GJS-500-7S	500	320	7	-	170...240	ferit + perlit
EN-GJS-600-3S	600	370	3	-	190...270	perlit + ferit
EN-GJS-700-2S	700	420	2	-	230...300	perlit
EN-GJS-800-2S	800	480	2	-	250...350	perlit ili kaljeno

### 3.2.6. Svojstva nodularnog lijeva

Svojstva nodularnog lijeva [7]:

- visoka dinamična izdržljivost,
- visoka vlačna čvrstoća,
- dobra žilavost,
- visok modul elastičnosti,
- bolja sposobnost prigušenja vibracija u usporedbi sa sivim lijevom,
- dobra obradivost odvajanjem čestica,
- zavarljiv i
- otpornost na trošenje, koroziju i oksidaciju u usporedbi sa sivim lijevom.

### **3.3. Kovkasti lijev**

Kovkasti lijev je legura željeza i ugljika koja u sirovom odljevnom obliku ima bijeli prijelom. Po sastavu se nalazi između sivog i čeličnog lijeva. Toplinskom obradom kovkastog lijeva postiže se raspadanje cementita i izlučivanje ugljika te tako nastaje crni kovkasti lijev. Bijeli kovkasti lijev nastaje razugljičavanjem lijeva toplinskom obradom.

Sirovina koja se koristi u proizvodnji kovkastog lijeva je bijelo sirovo željezo. Karakteristika bijelog sirovog željeza je odlična livljivost pa se mogu odliti komplicirani odljevci, ali ti odljevci su veoma krhki zbog visokog udjela cementita. Iz toga razloga, toplinska obrada je obavezna za nastajanje kovkastog lijeva.

#### **3.3.1. Kemijski sastav kovkastog lijeva**

Kemijski sastav odljevaka bijelog lijeva razlikuje se ovisno o tome je li odljevak namijenjen za bijeli ili crni kovkasti lijev.

Kemijski sastav odljevaka za crni kovkasti lijev [7]:

- 2.8 - 3.4 % ugljika (C),
- 0.5 - 0.8 % silicija (Si),
- 0.2 - 0.4 % mangana (Mn),
- < 0.1 % fosfora (P),
- 0.1 – 0.29 % sumpora (S).

Kemijski sastav odljevaka za bijeli kovkasti lijev [7]:

- 2.0 – 2.8 % ugljika (C),
- 1.4 - 1.8 % silicija (Si),
- 0.2 - 0.5 % mangana (Mn),
- < 0.1 % fosfora (P),
- < 0.15 % sumpora (S).

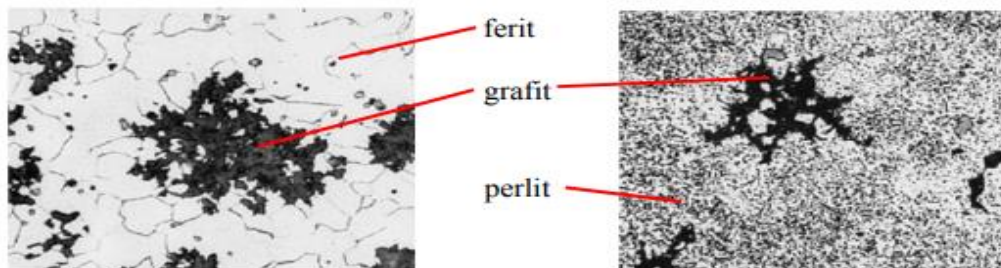
Sirovina za crni kovkasti lijev je skuplja od sirovine za bijeli kovkasti lijev.

#### **3.3.2. Crni kovkasti lijev**

Crni kovkasti lijev nastaje žarenjem bijelog tvrdog lijeva. Prilikom žarenja ugljik se izlučuje u nakupine grafita u obliku čvoriča.

Struktura crnog kovkastog lijeva može biti feritna i perlitna. Feritna struktura se dobiva sporijim prelaskom područja pretvorbe (s 800 na 700 °C) te se preostali ugljik taloži na već

postojeće nakupine grafita. Perlitna struktura dobiva se brzim prelaskom područja pretvorbe te se ugljik ne stigne vezati na nakupine grafita. Prednost perlitne strukture nad feritnom je viša tvrdoća, čvrstoća i viša otpornost prema trošenju. Na slici 3.8 prikazana je struktura feritnog (lijeva slika) i perlitnog (desna slika) crnog kovkastog lijeva.



Slika 3.8. Struktura crnog kovkastog lijeva [13]

Svojstva crnog kovkastog lijeva [7]:

- dobro se lemi, ali teško zavaruje zbog visokog udjela ugljika,
- ukoliko je perlitne strukture, može se zakaliti te tako povećati tvrdoću i otpornost na trošenje,
- bolja obradivost odvajanjem čestica od bijelog kovkastog lijeva.

Sistematizacija crnog kovkastog lijeva i njegova mehanička svojstva prikazana su u tablici 3.7.



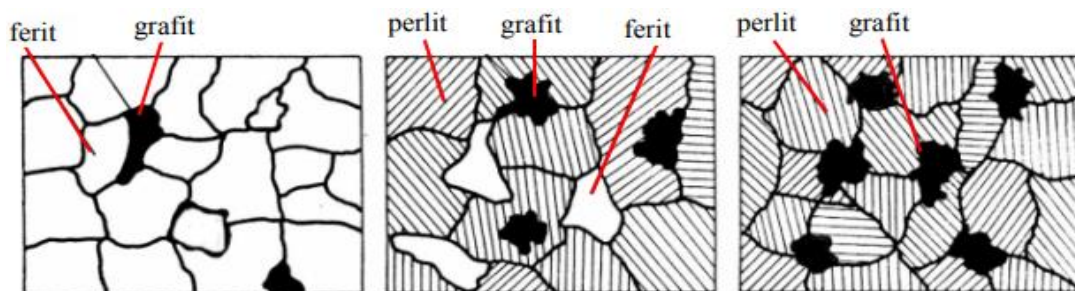
Tablica 3.7. Sistematizacija i mehanička svojstva crnog kovkastog lijeva [7]

Oznaka lijeva		R <sub>m</sub> min N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> min, N/mm <sup>2</sup>	A <sub>5</sub> , min %	HB	Mikrostruktura
EN	Stara HRN					
EN-GJMB-300-6S	CTEL 30-06	300	-	6	<170	ferit + grafit
EN-GJMB-350-10S	CTEL 35-10	350	200	12	<150	ferit + grafit
EN-GJMB-450-6S	PTEL 45-06	450	300	7	160...200	perlit + ferit + grafit
EN-GJMB-550-4S	PTEL 55-04	550	360	5	180...250	perlit + (ferit) + grafit
EN-GJMB-650-2S	PTEL 65-02	650	430	3	210...250	perlit + grafit
EN-GJMB-700-2S	PTEL70-02	700	550	2	240...270	perlit + grafit

### 3.3.3. Bijeli kovkasti lijev

Bijeli kovkasti lijev nastaje žarenjem u slabo oksidirajućoj plinskoj atmosferi pri temperaturi od 1070 °C ili granulatu pri temperaturi od 980 °C. Proces se odvija 40 do 80 sati pri kojem se ugljik iz površinskih slojeva veže s kisikom iz okoline. Na kraju ugljik izlazi iz peći u obliku CO<sub>2</sub>. Za proces žarenja je važan omjer CO i CO<sub>2</sub> da bi se izbjegla oksidacija željeza.

Ugljik se može odstraniti od 4 do 12 mm debljine. Jedino odljevke koji su tanji od 5 mm je moguće razugljčiti preko cijelog presjeka. Kod debljih odljevaka ispod sloja od 5 mm se i dalje nalazi ugljik koji tvori perlitnu osnovu. Mehanička svojstva ovise o debljini stijenke i o mikrostrukturi koja nije ujednačena po cijelome presjeku. Slika 3.9. prikazuje strukturu bijelog kovkastog lijeva, lijevo je prikaz razugljčene metalne osnove tj. feritne metalne osnove (vanjski sloj odljevka), u sredini je prikaz feritno perlitne osnove (sloj koji je djelomično razugljčen, nalazi se između vanjskog sloja i jezgre), a desno je prikaz perlitne osnove (jezgra u kojoj nije došlo do procesa razugljčenja pri žarenju).



Slika 3.9. Prikaz strukture bijelog kovkastog lijeva [13]

Sistematizacija bijelog kovkastog lijeva i njegova mehanička svojstva prikazana su u tablici 3.8. Važno je napomenuti da mehanička svojstva ovise o dimenzijama odljevka te da se istezljivost povećava što je stijenka tanja.

Tablica 3.8. Sistematizacija i mehanička svojstva bijelog kovkastog lijeva [7]

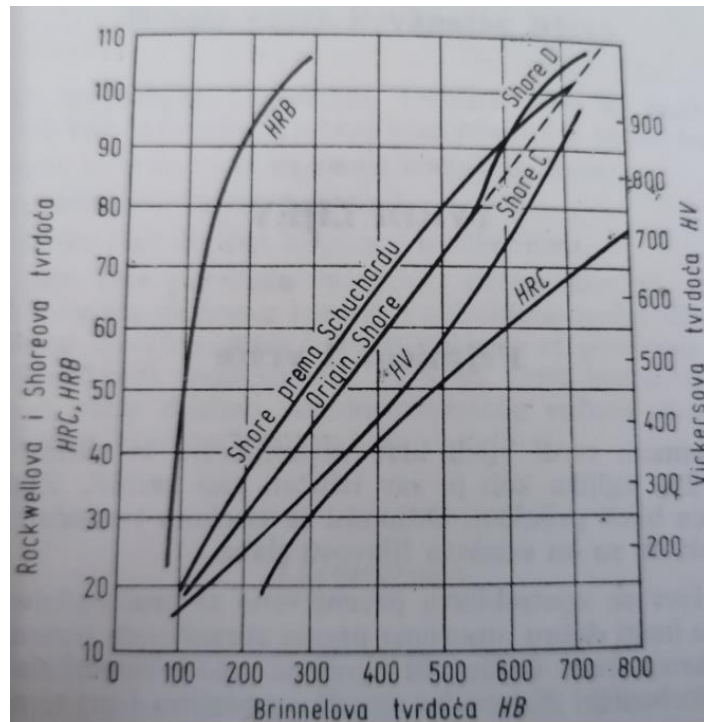
Oznake lijeva		$R_m$ , min N/mm <sup>2</sup> *	$R_{p0,2}$ min, N/mm <sup>2</sup> *	$A_5$ , min %*	HB, max	Mikrostruktura jezgre debljih odljevaka
EN	stara HRN					
EN-GJMW-350-4S	BTEL 35-04	340...360*	-	3...6*	220	zrnati perlit + granit
EN-GJMW-380-12S	BTEL 38-12	320...400	170...210*	8...15	200	
EN-GJMW-400-5S	BTEL 40-05	360...420	200...230	3...10	220	
EN-GJMW-450-7S	BTEL 45-07	400...480	230...280	5...12	200	

\*Vrijednosti  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ , i  $A_5$  ovise o dimenzijama ispitnog tijela; Istezljivost je to viša što je tanja stijenka

### 3.4. Tvrdi lijev

Tvrdi lijev je slitina željeza s najmanje 2 % ugljika koji se izlučuje u obliku karbida tj. cementita. Stoga tvrdi lijev ima visoku tvrdoću i čvrstoću na tlak, ali ima i slabu žilavost. Karakteristika za tvrdi lijev je da ima bijeli prijelom.

Tvrdi lijev je jako otporan na abrazivno trošenje. Svoju otpornost može zahvaliti tvrdoći, kemijskom sastavu i mikrostrukturi. Tvrdoća se može odrediti na više načina. Na slici 3.10. prikazane su različite mjerne jedinice i metode utvrđivanja tvrdoće kao što su tvrdoća po Rockwellu, tvrdoća po Vickersu i tvrdoća po Brinellu.



Slika 3.10. Tvrdoća tvrdog lijeva mjenjenih različitim metodama [7]

Postoji nekoliko vrsta tvrdog lijeva koji su nastali radi poboljšanja nekih svojstava. Stoga se razlikuju:

- perlitni tvrdi lijev,
- martenzitni Ni-Cr tvrdi lijev i
- visokolegirani tvrdi lijev.

Perlitni tvrdi lijev je nelegirani ili niskolegirani lijev s visokim udjelom cementita u perlitnoj strukturi. Ima slabu otpornost prema dinamičnim i udarnim opterećenjima, ali je otporan prema abrazivnom trošenju stoga se koristi pri drobljenju minerala manje tvrdoće  $HV < 300$ . Iznos tvrdoće perlitnog tvrdog lijeva je 350 HV. Toplinski se ne obrađuje. Kemijski sastav perlitnog tvrdog lijeva [8]:

- 2.5 do 3.6 % ugljika (C),
- 0.5 do 1.5 % silicija (Si),
- 0.4 do 1.0 % mangana (Mn),
- 0.0 do 2.0 % kroma (Cr).

Mogući su još tragovi vanadija (V), bora (B) i niobija (Nb).

Martenzitni Ni-Cr tvrdi lijev je slitina tvrdog lijeva, nikla i kroma. Mikrostruktura je austenitna u kombinaciji sa cementitom. Velika prednost ove slitine je umjerena otpornost prema udarnim

opterećenjima u kombinaciji s velikom otpornošću prema trošenju. Tvrdća mu iznosi 450 HV, ali s toplinskom obradom može se postići minimalna tvrdća od 520 HV. Kemijski sastav je sljedeći [8]:

- 2.6 do 2.9 % ugljika (C),
- 0.2 do 0.8 % silicija (Si),
- 0.3 do 0.7 % mangana (Mn),
- 1.4 do 2.4 % kroma (Cr),
- 3.3 do 5.0 % nikla (Ni),
- 0.0 do 0.5 % molibdena (Mo).

Visokolegirani tvrdi ljev je ljev u kojem legirani element krom (Cr) sudjeluje s minimalno 8 % udjela i bitno utječe na karakteristike ljeva. Najznačajniji visokolegirani tvrdi ljev je krom-karbidni tvrdi ljev. Krom sudjeluje od 8 % do 28 % udjela te tvori krom - karbidnu strukturu te sadrži perlit ili austenit, ovisno o toplinskoj obradi i udjelu kroma. Svojstva ovog ljeva su velika otpornost prema trošenju i otpornost prema većim udarnim opterećenjima. Tvrdća bez toplinske obrade iznosi minimalno 450 HV, a s toplinskom obradom vrijednost raste iznad 600 HV. U tablici 3.9. prikazani su udjeli kemijskih elemenata u krom-karbidnom tvrdom ljevu ovisno o vrsti ljeva prema DIN 1695 normi.

Tablica 3.9. Krom-karbidni tvrdi lijev [8]

Br.	Vrsta prema DIN 1695		%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo
1	G-X 300 CrNiSi 9 5 2	min	2.5	1.5	0.3	8.0	4.5	0.0
		max	3.5	2.2	0.7	10.0	6.5	0.5
2	G-X 300 CrMo 15 3	min	2.3	0.2	0.5	14.0	1.0	
		max	3.6	0.8	1.0	17.0	0.7	3.0
3	G-X 300 CrMoNi 15 2 1	min	2.3	0.2	0.5	14.0		1.8
		max	3.6	0.8	1.0	17.0	1.2	2.2
4	G-X 260 CrMoNi 20 2 1	min	2.3	0.2	0.5	18.0		1.4
		max	2.9	0.8	1.0	22.0	1.2	2.2
5	G-X 260 Cr 27	min	2.3	0.5	0.5	24.0		
		max	2.9	1.5	1.0	28.0	1.2	1.0
6	G-X 300 CrMo 27 1	min	3.0	0.2	0.5	23.0		1.0
		max	3.5	1.0	1.0	28.0	1.2	2.0

### 3.5. Čelični lijev

Čelični lijev je vrsta čelika koji služi za dobivanje odljevaka. Razlika čeličnog lijeva i ostalih čelika je da se čelični lijev obrađuje obradom odvajanjem čestica, a ne prolazi toplo ili hladno oblikovanje kao čelik. Čelični lijev se dijeli na nelegirane i legirane čelične ljevove.

Čelični lijev je skuplji od kovkastog, sivog ili nodularnog lijeva. Cijena izrade je visoka zbog visokih zahtjeva za čistoćom, visoke temperature tališta i toplinske obrade. Iz tih razloga, čelični lijev se upotrebljava ako je potrebna visoka čvrstoća koju drugi ljevovi ne mogu ispuniti, ako je dimenzija i masa proizvoda jako velika te ako je potrebna veća otpornost na trošenje, a odljevak se ne može izraditi na drugi način.

### 3.5.1. Kemijski sastav

Nelegirani čelični ljev je legura željeza i ugljika. Kao što mu i ime govori, nelegirani čelični ljev se ne legira s ostalim legirnim elementima. Ima najširu primjenu u industriji te se još naziva i čelični ljev za opću upotrebu. Kemijski sastav nelegiranog čeličnog lijeva iznosi [8]:

- 0.2 do 2.0 % ugljika (C),
- 0.3 do 0.5 % silicija (Si),
- 0.4 do 0.7 % mangana (Mn),
- do 0.05 % fosfora (P),
- do 0.05 % sumpora (S).

Legirani čelični ljev je ljev koji se legira s elementima koji će poboljšati neka svojstva. Neki od legirnih elemenata su nikal (Ni), krom (Cr), molibden (Mo), mangan (Mn) i bakar (Cu). Kemijski sastav varira s obzirom na vrstu legure i područje primjene. Stoga se razlikuju vatrootporni čelični ljev, čelični ljev otporan prema habanju, nehrđajući čelični ljev i čelični ljev otporan prema koroziji.

### 3.5.2. Struktura i toplinska obrada čeličnog lijeva

Nakon hlađenja, odljevci čeličnog lijeva imaju feritno-perlitnu strukturu koju prikazuje slika 3.11. Ferit (na slici označen slovom F) je bijele boje i ispleten je sa perlitom (na slici je označen slovom P) koji je crne boje. Takva struktura uzrokuje nisku istežljivost i žilavost te se naziva Widmannstattenova mikrostruktura.

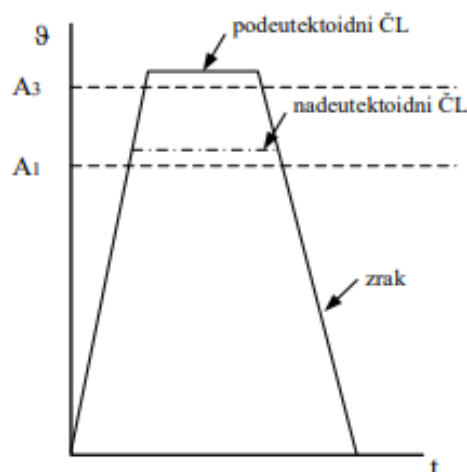


Slika 3.11. Mikrostruktura čeličnog lijeva [7]

Toplinsku obradu je nužan proces radi otklanjanja zaostalih naprezanja i radi uklanjanja Widmannstattenove mikrostrukture. Najčešći postupci toplinske obrade kod čeličnog lijeva su:

- normalizacija,
- žarenje za smanjenje ostalih naprezanja,
- poboljšavanje,
- gašenje,
- potpuno žarenje i
- sferoidizacija.

Normalizacija je postupak kojim se Widmannstattenova mikrostruktura zamjeni sitnijom feritno-perlitnom strukturom. Na slici 3.12 je prikazan opći dijagram toplinske obrade normalizacije za čelični ljev. Temperatura se podiže u ovisnosti na vrstu čeličnog lijeva, a hlađenje se odvija na mirnom zraku.



Slika 3.12. Opći dijagram toplinske obrade normalizacijom [14]

Žarenje za smanjenje ostalih naprezanja je postupak koji slijedi nakon normalizacije ili zavarivanja. Odljevak se grije na temperaturu od 600 °C te se lagano hladi. Na taj način se uklanjaju zaostala naprezanja u odljevku.

Poboljšavanje je postupak kojim se dobiva bolja žilavost i visoka vlačna čvrstoća. Sastoji se od kaljenja i visokotemperaturnog popuštanja. Provodi se kod legiranog čeličnog lijeva.

Gašenje je postupak u kojem se odljevak čeličnog lijeva pri visokoj temperaturi ubrzano hladi te se sprječava nastanak krupnijih nakupina karbida i postiže se korozijska postojanost.

Potpuno žarenje se odvija na vatrootpornom čeličnom lijevu radi postizanja otpornosti prema radu na temperaturama do 1100 °C.

Sferoidizacija je postupak kojim se postiže bolja obradivost odvajanjem čestica pretvaranjem karbida u kugličaste oblike.

### 3.5.3. Klasifikacija čeličnog lijeva

Nelegirani i niskolegirani čelični ljevovi imaju klasifikaciju prema vrijednosti vlačne čvrstoće ( $R_m$ ) uz ostala mehanička svojstva. Legirane vrste čeličnog lijeva nemaju klasifikaciju kao nelegirani čelični ljev. Umjesto toga, postoje samo preporuke proizvođača. U tablici 3.10. prikazane su oznake čeličnog lijeva prema europskoj normi te njegova mehanička svojstva.

Tablica 3.10. Klasifikacija i mehanička svojstva čeličnog lijeva [2]

Oznaka lijeva prema			R <sub>m</sub> , MPa	R <sub>p0,2</sub> , MPa	A <sub>5</sub> min, %	Z min, %	KU min, J	R <sub>e</sub> / R <sub>m</sub>	% C	Kritična debljina stijenke, mm
EN	Stara									
	HRN	DIN								
GS185N	ČL0300	GS-38	370	185	25	35	-	0.5	< 0.25	13.5
GS185KRN	ČL0301	GS-38.3					35			
GS225N	ČL0400	GS-45	440	225	22	30	-	0.5	≈ 0.25	18.5
GSS225JRN	ČL0401	GS-4.3					28			
GS255N	ČL0500	GS-52	510	255	18	25	-	0.5	≈ 0.30	27
GS255JRN	ČL0501	GS-52.3					21			
GS295N	ČL0600	GS-60	590	295	15	-	-	0.5	≈ 0.40	39
GS295JRN	ČL0601	GS-60.3				14				
GS345J0N	ČL0602	GS-62	610	345	15	-	-	0.55	≈ 0.40	-
GS345J2N	ČL0603	GS-62.3					14			
GS410N	ČL0700	GS-70	690	410	12	-	-	0.6	≈ 0.50	-



#### **3.5.4. Svojstva čeličnog lijeva**

Svojstva čeličnog lijeva daleko su bolja od svojstava ostalih ljevova. Tako primjerice legirani čelični lijev ima veću čvrstoću, višu granicu razvlačenja i bolju istezljivost od sivog i kovkastog lijeva. Zbog dobre žilavosti upotrebljava se kod udarnih opterećenja. Legiranjem s kromom (Cr), dobiva se čelični lijev otporan na trošenje. Odlično podnosi mehanička opterećenja.

Iako su mu svojstva bolja nego kod drugih ljevova, slabo je zastupljen zbog visokih troškova proizvodnje (talište na 1500 °C, zahtjev za visokom čistoćom i kemijskim sastavom lijeva). Odljevci čeličnog lijeva u velikoj su mjeri velikih dimenzija i masa.

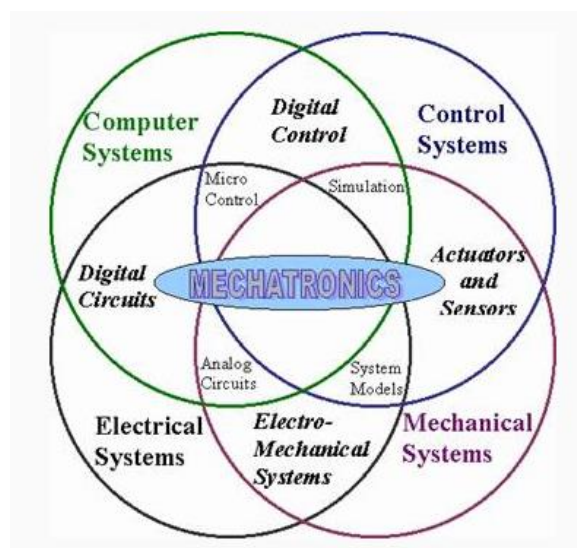
## 4. PRIMJENA U MEHATRONICI

„Mehatronika je inženjerska znanost, zasnovana na klasičnim disciplinama proizvodnje strojarstva, električnog inženjeringa i elektronike, uključujući i informatičku tehnologiju“ [15]. Drugim riječima, mehatronika povezuje strojarstvo, informatiku i elektrotehniku. U prethodnim odlomcima opisane su vrste ljevova, a u ovom odlomku navedeni su primjeri upotrebe ljevova u mehatronici.

„Važno je napomenuti osobine mehatroničkih sustava i proizvoda:

- funkcionalno međudjelovanje između mehaničkih, elektroničkih i informatičkih tehnologija,
- prostorno povezivanje podsustava u jednu jedinicu; inteligencija vezana uz kontrolne funkcije mehatroničkog sustava,
- prilagodljivost, pogodnost uz koju je moguće mehatroničke proizvode prilagoditi promjenjivim zadacima i situacijama,
- multifunkcionalnost koja se odnosi na funkcije mikroprocesora određene kompjuterskim programom,
- nevidljive funkcije koje obavlja mikroelektronika, teško vidljive i razumljive za potrošače i
- tehnološka međuovisnost, usko povezana sa dostupnim proizvodnim tehnologijama.“ [15].

Stoga se može zaključiti da ljevovi sami po sebi ne spadaju u mehatroniku, ali u kombinaciji s elektronikom i informatičkim sustavima postaju dio mehatronike. Slika 4.1 prikazuje isprepletenost područja mehatronike.



Slika 4.1. Područje mehatronike [15]

Ljevovi koji imaju najveću upotrebu u mehatronici su sivi, nodularni i čelični lijev. Razlog tomu je što se ta tri lijeva zastupljenija od ostalih ljevova na bazi željeza, drugim riječima više se proizvode te se koriste u većem broju proizvoda.

#### 4.1. Sivi lijev

„Primjena sivog lijeva je raširena za odljevke svih masivnosti kao što su:

- postolja alatnih strojeva,
- kućišta motora i reduktora,
- košuljice cilindara, stapovi i prstenovi stapova,
- klizni ležajevi,
- radijatorski članci,
- bubnjevi kočnica, papuče vagonских kočnica,
- kalupi za staklo,
- dijelovi poljoprivrednih strojeva...“ [7].

Gotovo u svakoj navedenoj primjeni sivog lijeva, može postati dio mehatroničkog sustava.

Jedan od svakodnevnih primjera korištenja sivog lijeva u mehatronici su kočnice u automobilu. Bubanj kočnice je odljevak sivog lijeva. Koči se nožno tj. aktivira se mehanički vozačevim pritiskom pedale u automobilu, ali razvojem tehnologije kočnica se može aktivirati i bez ljudskog pritiska pedale. Da bi se kočnica kočila, potreban je hidraulički i električni sistem. ABS je jedan od tih sustava. Senzori okretaja kotača prate brzinu okretaja kotača i ne dozvoljavaju da pri kočenju dođe do zaustavljanja kotača i proklizivanja. Senzori šalju podatke u računalo koje zatim regulira silu kočenja. Kod novih automobila, kočnice se mogu aktivirati i putem kamere koje mogu prepoznati pješaka ispred automobila ili prelazak u suprotni trak te se tako mogu spasiti ljudski životi. Tu se vidi da bubanj kočnice je obični odljevak sivog lijeva iz područja strojarstva, uz upotrebu senzora iz područja elektronike i obradu podataka na računala iz područja informatike, postaje dio jednog mehatroničkog sustava. Na slici 4.1. prikazan je bubanj kočnice.



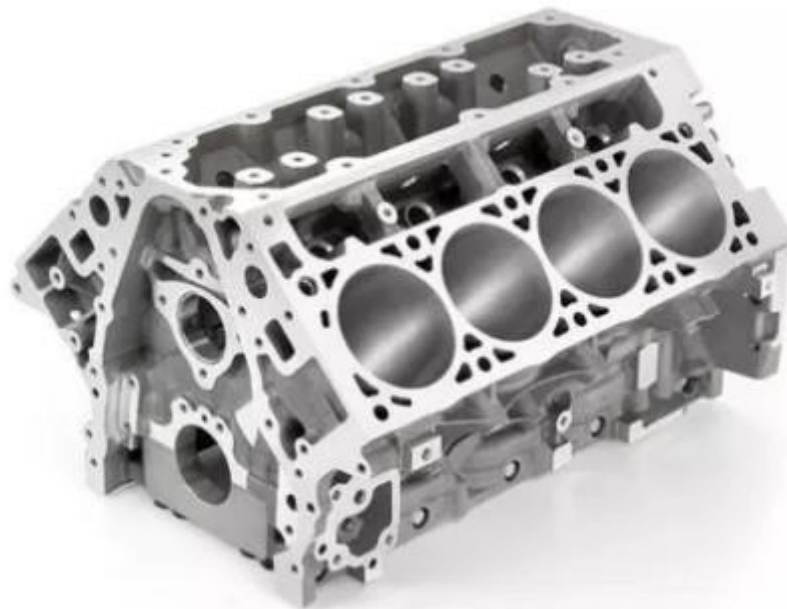
Slika 4.1. Bubanj kočnice [16]

Za primjer upotrebe sivog lijeva u mehatronici mogu se uzeti alatni strojevi kao što su CNC tokarilice i CNC glodalice. Postolja alatnih strojeva su odljevci sivoga lijeva. Na slici 4.2 prikazana je CNC tokarilica. Kao što je spomenuto, postolje je od sivog lijeva. U „utrobi“ tokarilice nalazi se glava na kojoj se pričvršćuje neki komad koji je potrebno obraditi te „revolver“ na kojem se nalaze razni noževi kojim se oblikuje komad. Da bi se komad obradio, potrebno je napisati program po kojoj će brzini tokarilica okretati komad te pomicati nož po XYZ osi. Na ovome se primjeru također vidi veza između mehatronike i lijeva. Postolje od sivog lijeva čini CNC tokarilicu stabilnom i prigušuje vibracije, zatim programski kod omogućuje računalu upravljanje elektromotorima glave i „revolvera“ koji omogućuju obradu nekog komada.



Slika 4.2 CNC tokarilica [17]

Blokovi motora s unutarnjim izgaranjem također su odljevci sivoga lijeva. Moderniji motori u automobilima, poljoprivrednim strojevima ili putničkim vozilima, osim osnovne konfiguracije, na sebi imaju i veliki broj senzora spojenih na računalo. Senzori mogu javljati kvarove na motoru poput prevelikog ili premalog dotoka smjese u klipove što rezultira slabijom snagom motora ili da položaj radilice nije na „pravom“ mjestu... Također senzori javljaju i obrtaje motora, pomažu upravljanju dotoka smjese u klipove, pomažu u kontroli temperature da ne dođe do zagrijavanja... Ukratko blok motora je osnova svakog motora, senzori na bloku motora daju informacije računalu koje upravlja procesima i omogućuje siguran i dulji životni vijek motora. Opet se može vidjeti „suradnja“ između lijeva i elektroničkih sustava koji skupa daju mehatronički sustav. Na slici 4.3 je prikazani blok motora.



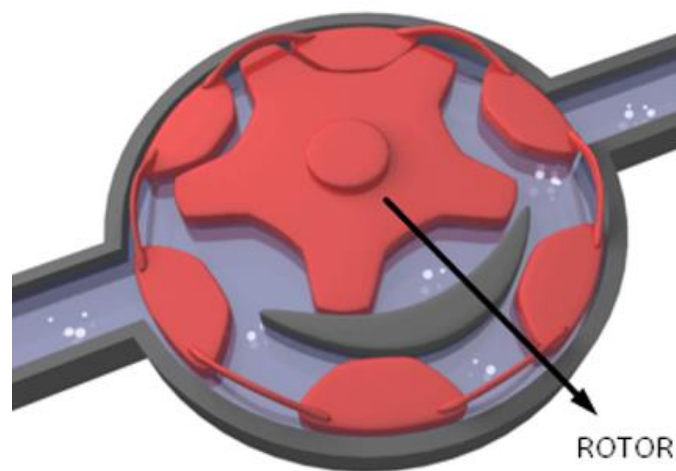
Slika 4.3 Blok motora [18]

## 4.2. Nodularni ili žilavi lijev

„Nodularni lijev se primjenjuje u proizvodnji:

- koljenastih i bregastih osovina motora,
- košuljica cilindara motora i kompresora,
- stapajica,
- zupčanika,
- poklopcima kliznih ležaja,
- rotorima pumpi...“ [13]

Za primjer mehatroničkog sustava, može se uzeti punionica pića. Da bi neko piće završilo u ambalaži, potrebno je to piće transportirati iz proizvodnog pogona u neki skladišni dio tj. spremnik te iz spremnika transportirati tekućinu u ambalažu. Cijeli sustav proizvodnje, transporta i punjenja pića upravljan je PLC uređajima. Tekućina se transportira cijevima te je za to potrebna pumpa. Pumpa je upravljana PLC uređajem te ju to čini dijelom mehatoničkog sustava. Iako pumpa sama po sebi nije nodularni lijev, ona ima rotor koji je izrađen od nodularnog lijeva. Na slici 4.4. prikazan je rotor pumpe te se vidi da je to dio koji se okreće te je u doticaju s tekućinom i drugim dijelovima pumpe. Stoga treba biti otporan na trošenje, koroziju i oksidaciju.



Slika 4.4. Skica rotora pumpe [19]

Primjer korištenja nodularnog lijeva u mehatronici su košuljice cilindra motora. Košuljice cilindra služe za postizanje manjeg trenja koje pridonosi manjoj potrošnji ulja i smanjenoj količini izgorjenog plina. Košuljica je samo jedan mali dio cilindra, ali ako se uspoređi s odlomkom 4.1 o sivom lijevu i primjerom bloka motora i ako se sagleda malo šira slika, vidi se da košuljica čini mehatonički sustav. Ipak se u cilindru odvija izgaranje i energija oslobođena tim izgaranjem pokreće cijeli taj sustav. Na slici 4.5. prikazana je košuljica cilindra.



Slika 4.5 Košuljica cilindra [20]

### 4.3. Kovkasti lijev

#### 4.3.1. Crni kovkasti lijev

„Crni kovkasti lijev primjenjuje se za odljevke male mase kompliciranih oblika, kao što su bubnjevi kočnica vozila, držači kočionih čeljusti, vilice i držači vilica u vozilima i strojevima, cijevne spojnice, dijelovi poljoprivrednih strojeva, dijelovi šivaćih, pisaćih, tiskarskih strojeva, dijelovi vaga, dijelovi tkalačkih stanova, ventili i zasuni i brodogradnji, ventili za plin i vodu...“. [13]

Cijevne sponice su odljevci crnog kovkastog lijeva malih masa i kompliciranih oblika. Upotrebljavaju se pri spajanju dviju ili više cijevi, ventila ili pumpi. Mogu se upotrebljavati za vodovodne i plinske instalacije te instalacijama centralnih grijanja. Njihova poveznica s mehatronikom je doista mala, ali je ipak ima. Naprimjer, pumpa je upravljana PLC uređajem i voda se transportira od točke A do točke B. Cijevi i cijevne spojnice omogućuju transport te vode. Ne vidi se direktna poveznica između crnog kovkastog lijeva i mehatronike, ali ta veza ipak postoji s malo šireg gledišta, protokom vode i obavljenog zadatka. Na slici 4.6. su prikazane cijevne spojnice.



Slika 4.6. Cijevne spojnice [21]

### 4.3.2. Bijeli kovkasti lijev

„Bijeli temper lijev primjenjuje se za ručni alat (okasti ključevi), cijevne spojnice, lance i dr. jer se može cementirati i pocinčavati.“ [13]

Okasti ključevi su odljevci bijelog temper lijeva (slika 4.7.). Trenutno okaste ključeve koriste samo ljudi, ali u budućnosti razvojem humanoidnih robota vjerojatno će i oni koristiti ručni alat pri obavljanju poslova koji ugrožavaju ljudski život kao što su radovi na visini. Slika 4.8. prikazuje humanoidnog robota pri obavljanju građevinskih radova.



Slika 4.7. Okasti ključevi [22]



Slika 4.8. Humanoidni robot [23]



#### 4.4. Tvrđi lijev

„Tvrđi lijev primjenjuje se za odljevke jednostavnijeg oblika koji trebaju biti tvrđi i otporni na abrazijsko trošenje. Primjeri primjene su:

- valjci u metalnoj, papirnoj ili pekarskoj industriji,
- kotači i papuče kočnica tračnih vozila,
- dijelovi drobilica za kamen, ugljen i sl.,
- žigovi i alati za izvlačenje žice,
- matrice za briketiranje ugljena, cigle i keramike,
- oklopi bubnjeva u industriji cementa,
- kugle u bubnjevima za drobljenje ugljena, cementa i sl.“ [13]

Tvrđi lijev je otporan na abrazijsko trošenje te stoga svoju primjenu pronalazi u industrijama koje se bave rudarstvom i granuliranjem ruda; npr. u proizvodnji cementa koristi se kuglični mlin.

U moderniziranim postrojenjima za proizvodnju cementa, pogoni su automatizirani i upravljani PLC uređajima. Pokretnim trakama dobavlja se materijal iz skladištnih kapaciteta ili direktno iz transportnih kamiona do kugličnog mlina te se proizvod dalje transportira pokretnim trakama na daljnju obradu. U bubnju kugličnog mlina (prikazan je na slici 4.3) nalaze se metalne kuglice koje mogu biti od čelika, lijevanog željeza ili nekog drugog metala.



Slika 4.3. Bubanj kugličnog mlina [24]

Okretanjem bubnja, metalne kuglice drobe materijal. Zbog velikog abrazivnog trošenja, stijenke i pregrade bubnja obložene su pločama od tvrdog lijeva. Na slici 4.4 prikazana je pregradna ploča od tvrdog lijeva.



Slika 4.4. Pregradna ploča od tvrdog lijeva [25]

U ovom primjeru se vidi da tvrdi ljev činí dio mehatroničkog sustava.

#### 4.5. Čelični ljev

„Primjeri primjene čeličnog lijeva su odljevci velikih dimenzija i mase koji su mehanički opterećeni, kao što su:

- dijelovi preša (stolovi i okviri),
- kućišta ventila, kućišta diferencijala kamiona,
- veliki zupčanici i veći lančanici,
- rotori toplinskih strojeva (radna temperatura < 400 °C)
- križne glave.“ [13]

Na slici 4.5 je prikazan ventil s elektropogonom. Kućište ventila je odljevak čeličnog lijeva tako da ventil može izdržati velika opterećenja. S obzirom da se ventil otvara i zatvara s elektromotorom, elektromotor se može upravljati pomoću PLC uređaja. Primjena ovakvog ventila u mehatronici bi bila u velikim pogonima gdje je u proizvodnji potrebno regulirati dotok neke određene količine tekućine pod visokim tlakom.



Slika 4.5. Ventil s elektropogonom [26]

## 5. ZAKLJUČAK

Željezo je metal koji se najčešće koristi u tehničkoj praksi i to kao legura s nekim drugim elementima. To je slučaj i u ljevovima na bazi željeza. U svim ljevovima na bazi željeza, željezo je većinski element, a nakon njega slijede ugljik, silicij, fosfor, nikal, krom te drugi spomenuti elementi u prethodnim odlomcima. Ljevovi na bazi željeza razlikuju se po udjelu ugljika i njegovom obliku izlučivanja u lijevu. Oblik izlučenog grafita utječe i na mehanička i tehnološka svojstva ljevova. Zbog raznolikih svojstava ljevova na bazi željeza, oni imaju široku primjenu kako u svakodnevnim stvarima, tako i u industriji. Strojevi, ventili, pumpe i drugi predmeti koji su izrađeni od željeznih ljevova, u prošlosti su bili upravljani samo čovjekovom intervencijom. Danas, razvojem tehnologije, njima upravljaju računala i PLC uređaji za što je zaslužna mehatronika koja povezuje strojarstvo, elektroniku i informatiku. Za očekivati je da će u budućnosti rasti broj primjera upotrebe željeznih ljevova u mehatronici.

## 6. LITERATURA

- [1] <http://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/blok-motora>
- [2] Golubić S., Bilješke i predavanja s predmeta „Tehnički materijali“. Bjelovar: Veleučilište u Bjelovaru; 2020.
- [3] <https://hr.sodiummedia.com/3928530-mineral-magnetite-formula-composition-properties-deposits>
- [4] [http://ss-tehnicka-ri.skole.hr/dokumenti?dm\\_document\\_id=247&dm\\_dnl=1](http://ss-tehnicka-ri.skole.hr/dokumenti?dm_document_id=247&dm_dnl=1)
- [5] <https://feelsteel.ba/proizvodna-postrojenja/>
- [6] <https://www.exportersindia.com/sail-asansol/pig-iron-2484686.htm>
- [7] Filetin T., Kovačiček F., Indof J., Svojstva i primjena materijala, FSB, Zagreb, 2007.
- [8] Grupa autora, Ljevački priručnik, Zagreb, 1985.
- [9] Ivetić N., Završni rad, završni rad, FSB, Zagreb, 2010. Dostupno na: [http://repozitorij.fsb.hr/993/1/06\\_07\\_2010\\_Završni\\_rad\\_Ivetic\\_.doc.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/993/1/06_07_2010_Završni_rad_Ivetic_.doc.pdf)
- [10] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Ductile\\_Iron.png](https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Ductile_Iron.png)
- [11] Bedeniković Z., Mikrostrukturne greške u debeloslijevnim odljevcima od nodularnog lijeva, završni rad, FSB, Zagreb, 2016. Dostupno na: [http://repozitorij.fsb.hr/6491/1/Bedenikovi%C4%87\\_2016\\_zavr%C5%A1ni\\_preddiplomski.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/6491/1/Bedenikovi%C4%87_2016_zavr%C5%A1ni_preddiplomski.pdf)
- [12] Godinić J., Proizvodnja i karakterizacija nodularnog lijeva kvalitete HRN EN GJS 400-15, završni rad, Sveučilište sjever, Varaždin, 2018. Dostupno na: <https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin%3A1903/datastream/PDF/view>
- [13] Gabrić I., Šitić S., Materijali I, Sveučilište u Splitu, Split, 2012. Dostupno na: [https://bib.irb.hr/datoteka/665498.MATERIJALI\\_1\\_skripta\\_listopad\\_2013.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/665498.MATERIJALI_1_skripta_listopad_2013.pdf)
- [14] Golubić S., Tehnički materijali: I. dio metalni materijali, Veleučilište u Bjelovaru, Bjelovar, 2019. Dostupno na: <https://repozitorij.vub.hr/islandora/object/vtsbj%3A488>
- [15] <https://www.tsrh.hr/meha/mehatronika/>
- [16] <https://www.silux.hr/proizvodi/ovjes-i-pogon/kocioni-sustavi/kocioni-bubnjevi>
- [17] <https://www.haascnc.com/hr/machines/lathes/st/models/standard/st-20-v.html>
- [18] <https://www.prelistaj.com/najbitniji-dijelovi-motora-automobila/>

[19]

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrauli%C4%8Dka\\_pumpa#/media/Datoteka:Internal\\_gear\\_pump.gif](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrauli%C4%8Dka_pumpa#/media/Datoteka:Internal_gear_pump.gif)

[20] <https://autoline24.ba/-/prodaja/kosuljice-cilindra/za-bagera/DOOSAN---18090510444601057300>

[21] <http://www.malleableiron-pipefittings.com/sale-9934021-malleable-cast-iron-pipe-fitting-malleable-fittings-tee-malleable-iron-cross.html>

[22] <https://www.njuskalo.hr/rucni-alati/viljuskasto-okasti-kljucevi-6-32mm-oglas-28354304>

[23] <https://www.designboom.com/technology/humanoid-construction-robot-hrp-5p-japan-aist-10-02-2018/>

[24] <https://hr.puntomarinero.com/ball-mill-principle-of-operation/>

[25] <https://www.globalpiyasa.com/en/product-detail/partition-plate-g-x-40-crmov-5-1-korfez-dokum-san-ve-tic-a-s/52551>

[26] <http://www.novamat.hr/home/prodaja/regulacijski-ventili-sa-elektro-pogonom/>

## 7. SAŽETAK

**Naslov:** Ljevovi na bazi željeza u mehatronici

U završnom radu Ljevovi na bazi željeza u mehatronici prikazane su općenite informacije o željezu i dobivanju sirovog željeza. Nakon toga opisani su kemijski sastavi, strukture, toplinske obrade i svojstva sivog, nodularnog, kovkastog, tvrdog i čeličnog lijeva te njihove opće primjene s primjerom primjene u mehatronici.

**Ključne riječi:** željezo, lijevano željezo, ljevovi na bazi željeza, sivi lijev, nodularni lijev, kovkasti lijev, tvrdi lijev, čelični lijev, mehatronika.

## 8. ABSTRACT

**Naslov:** Iron-based castings in mechatronics

In the final paper, Iron - based castings in mechatronics, general information on iron and pig iron production is presented. The chemical compositions, structures, heat treatments and properties of gray, ductile, malleable, hard and steel castings and their general applications are described with an example of application in mechatronics.

**Keywords:** iron, cast iron, iron-based castings, gray cast iron, ductile iron, malleable cast iron, hard cast iron, steel cast iron, mechatronics.



## IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>OŽUJAK 2021</u>	MATKO PETREKVIĆ	Matko Peteković

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

MATKO PETREKOVIĆ

*ime i prezime studenta/ice*

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 0ŽUJAK 2021

Matko Petreković

*potpis studenta/ice*