Svojstva željeznih ljevova

Domić, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:642546

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

STROJARSKI ODJEL

PROIZVODNO STROJARSTVO

DINO DOMIĆ

SVOJSTVA ŽELJEZNIH LJEVOVA

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Predavač:

Tihana Kostadin, mag.ing.stroj.

KARLOVAC, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: STROJARSTVO

Usmjerenje: PROIZVODNO STROJARSTVO ; Karlovac, 2015-01-19

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **DINO DOMIĆ** Matični broj: 0110609015

Naslov: **SVOJSTVA ŽELJEZNIH LJEVOVA**

Opis zadatka:

U završnom radu nakon kratkog uvoda, potrebno je u teorijskom dijelu rada obraditi željezne ljevove i njihova svojstva.
Nakon postavke zadatka, u eksperimentalnom dijelu opisati svojstva nodularnog lijeva i napraviti ispitivanje mehaničkih svojstava nodularnog lijeva, kao i analizu rezultata. Na kraju napisati odgovarajući zaključak. Eksperimentalni dio rada odraditi u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu.
Završni rad urediti prema Pravilniku o završnim i diplomskim radovima na Veleučilištu u Karlovcu.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
2015-01-19	2015- 04-14	2015-04-29

Mentor: Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Tihana Kostadin, mag.ing.stroj.

IZJAVA:

Izjavljujem da sam ja – student Dino Domić, OIB:44093989661, matični broj: 0110609015, upisan u VI. semestar akademske godine 2013./2014., radio ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentorice Tihane Kostadin, mag.ing.stroj., i kod eksperimentalnog dijela u laboratoriju Ane Fudurić, bacc.ing.mech., kojima se ovim putem zahvaljujem.

Dino Domić

_____

SAŽETAK

U općem (teorijskom) dijelu opisano je općenito o željeznim ljevovima. Napravljena je podjela ljevova s obzirom na kemijski sastav, strukturu, način proizvodnje i svojstva.

Upravo zbog različitih svojstava, ljevovi se dijele na: čelični, bijeli tvrdi, sivi, nodularni i temper lijev. Svaka vrsta ljevova kratko je opisana uz primjere predočene slikama, te je obrađena mikrostruktura svakog lijeva. S obzirom da je naglasak ovog završnog rada na nodularnom lijevu, u eksperimentalnom dijelu detaljno je opisan nodularni lijev. Vršila su se ispitivanja vlačne čvrstoće i udarnog rada loma (žilavosti). Opisana je kidalica Otto Wolpert Werke i Charpyev bat.

Eksperimentalni dio ovog rada odrađen je u Laboratoriju za materijale i toplinsku obradu Veleučilišta u Karlovcu i opisuje tijek vlačnog pokusa na pet ispitnih uzoraka nodularnog lijeva i pet ispitnih uzoraka za ispitivanje žilavosti na Charpyevu batu.

Nakon odrađenog eksperimentalnog dijela napravljena je analiza rezultata, te je donesen zaključak na temelju dobivenih rezultata.

SUMMARY

In the general (theoretical) section of this paper I have described the basics of iron casts. I have differentiated the casts on the basis of chemical composition, structure, the production method and the properties of the cast itself.

Do to the aforementioned properties of the the casts we have generally categorized them to steal, hard white, grey, nodular and malleable. All of the above mentioned casts in the text have been briefly described with their respective pictures attached, along with the microstructure of every cast. Do to the fact that the main focus of this paper is on the nodular cast, the experimental part is in great detail focused on it and its properties. I have ran experiments on the tensile strength and the bending rupture (toughness) of the cast. In the text you shall also find the description of Otto Wolpert Werke shredder and Charpy's mallet.

The experiments themselves have been executed in the Laboratory for materials and heat treatment Veleučilišta u Karlovcu. Throughout the notes and description of the experiment you will find that there were two experiments conducted on ten samples. All ten of these samples were of a nodular cast and have been put through the tensile test and through the toughness test on the Charpy´s mallet.

After the set amount of experiments have been conducted and finished, the analysis has been completed and the conclusion made.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA 7
POPIS TABLICA 9
POPIS OZNAKA 10
POPIS PRILOGA 12
1. UVOD 13
1.1. OPĆENITO O ŽELJEZNIM LJEVOVIMA 13
2. ČELIČNI LIJEV (ČL) 16
2.1. OPĆENITO O ČELIČNOM LIJEVU 16
2.2. SVOJSTVA ČELIČNIH LIJEVOVA 19
2.2.1. MEHANIČKA SVOJSTVA 19
2.2.2. FIZIKALNA SVOJSTVA 21
2.3. PRIMJERI PRIMJENE ČELIČNIH LJEVOVA 23
3. BIJELI TVRDI LIJEV (BTL) 25
4. SIVI LIJEV (SL) 27
5. NODULARNI (ŽILAVI) LIJEV 29
6. TEMPER (KOVKASTI) LIJEV 31
7. POSTAVKA ZADATKA 33
8. EKSPERIMENTALNI DIO 34
8.1. SVOJSTVA NODULARNOG LIJEVA 34
8.2. ISPITNI UZORAK 37
8.3. STATIČKI VLAČNI POKUS 39
8.3.1. REZULTATI ISPITIVANJA VLAČNE ČVRSTOĆE 44
8.4. ISPITIVANJE UDARNOG RADA LOMA (ŽILAVOSTI) 50
8.4.1. REZULTATI ISPITIVANJA 55
9. ANALIZA REZULTATA 56
10. ZAKLJUČAK 57
LITERATURA 58
PRILOZI 59

POPIS SLIKA

Slika 1. Fe-C dijagram stanja [2] 14
Slika 2. Klasifikacija grafita u željeznim ljevovima prema HRN EN ISO 945:2002 [8] 14
Slika 3. Normalizacijsko žarenje [4] 16
Slika 4. Widmannstättenova mikrostruktura čeličnog lijeva [4] 17
Slika 5. Shematski prikaz promjene vlačne čvrstoće s porastom % C u Fe-Fe3C legurama[3] 19
Slika 6. Toplinska vodljivost niskougljičnog nelegiranog čeličnog lijeva [3] 21
Slika 7. Toplinska vodljivost nelegiranih čeličnih ljevova pri 20 °C ovisno o sadržaju ugljika [3] 22
Slika 8. *Ovisnost svojstava na abrazijsko trošenje o tvrdoći čeličnih ljevova[3]* 22
Slika 9. *Čelični lijev nakon 12 sati toplinske obrade[5]* 23
Slika 10. Čelični lijev za strojogradnju [5] 24
Slika 11. Mikrostruktura bijelog tvrdog lijeva [1] 25
Slika 12. Mikrostruktura sivog lijeva [6] 27
Slika 13. Primjena sivog lijeva[6] 28
Slika 14. Mikrostruktura nodularnog lijeva [7] 29
Slika 15. Mikrostruktura crnog temper lijeva [1] 31
Slika 16. Mirkostruktura bijelog temper lijeva [1] 32
Slika 17. Normirane veličine grafitnih nodula u nodularnom lijevu [8] 34
Slika 18. Mikrostruktura nodularnog lijeva [7] 35
Slika 19. Mikrostruktura feritnog nodularnog lijeva [7] 35
Slika 20. Mikrostruktura perlitnog nodularnog lijeva [7] 36
Slika 21. Y-proba 37
Slika 22. Epruvete za ispitivanje vlačne čvrstoće 37
Slika 23. Okrugle epruvete s navojnim glavama [8] 38
Slika 24. Kidalica Otto Wolpert Werke 39
Slika 25. Gornja i donja čeljust kidalice 40
Slika 26. Učvršćena probna epruveta 41
Slika 27. Epruveta nakon opterećenja 42
Slika 28. Polomljene epruvete 43
Slika 29. Dijagram kidanja za epruvetu 1 44
Slika 30. Dijagram kidanja za epruvetu 2 45
Slika 31. Dijagram kidanja za epruvetu 3 46
Slika 32. Dijagram kidanja za epruvetu 4 47
Slika 33. Dijagram kidanja za epruvetu 5 48
Slika 34. Charpyev bat 50
Slika 35. Oblik i dimenzija epruvete za ispitivanje udarne radnje loma [9] .. **Error! Bookmark not defined.**
Slika 36. Utjecaj temperature ispitivanja na udarni rad loma za različite materijale [1] 51
Slika 37. Eruveta s "V" utorom 52
Slika 38. Epruvete za ispitivanje udarnog rada loma 52
Slika 39. Namještanje epruvete 53

Slika 40. Namještena epruveta 53
Slika 41. Charpyev bat prije ispitivanja 54
Slika 42. Očitanje rezultata 54
Slika 43. Epruvete nakon pucanja 55
Slika 44. Greška u materijalu 56

POPIS TABLICA

Tablica 1. Ekvivalent ugljika za pojedine vrste ljevova 13
Tablica 2. Zajamčena svojstva nelegiranih i niskolegiranih vrsta čeličnog lijeva 18
Tablica 3. Izbor iz privremenih domaćih normi za legirane čelične ljevove 20
Tablica 4. Kemijski sastav bijelog tvrdog lijeva 25
Tablica 5. Kemijski sastav sivog lijeva 27
Tablica 6. Kemijski sastav nodularnog lijeva 29
Tablica 7. Kemijski sastav crnog i bijelog temper lijeva 31
Tablica 8. Standardne dimenzije vlačne epruvete 38
Tablica 9. Utvrđeni parametri za epruvete od nodularnog lijeva NL 700-2 i rezultati ispitivanja 49
Tablica 10. Rezultati ispitivanja udarnog rada loma 55

POPIS OZNAKA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	ZNAČENJE
CE	%	ekvivalent ugljika
$R_{p0,2}$	N/mm^2	konvencionalne granica razvlačenja
HRN	-	hrvatska norma
HV	-	tvrdoća po Vickersu
d_0	mm	početni promjer epruvete
d_1	-	metrički navoj
h	mm	visina glave epruvete
L_0	mm	početna mjerna duljina epruvete
L_c	mm	ispitna duljina epruvete
L_t	mm	ukupna duljina epruvete
R_m	N/mm^2	vlačna čvrstoća
R_e	N/mm^2	granica razvlačenja
A	%	Istezanje
Z	%	kontrakcija
l_{uk}	mm	ukupna duljina epruvete nakon opterećenja
Δl	mm	apsolutno produljenje
F_e	N	elastična sila
F_m	N	maksimalna sila
S_0	mm^2	početni poprečni presjek
G	N	težina(bata)
h_1	m	visina podizanja bata

h_2	m	visina bata pri uzlazu
E_p	J	potencijalna energija
KV	J	udarni rad loma(epruvete sa V zarezom)
ρ	kg/m^3	gustoća
λ	W/mK	toplinska vodljivost
T	°C	temperatura
t	s	vrijeme
E	N/mm^2	modul elastičnosti

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće 60
Prilog 2. Rezultati ispitivanja udarnog rada loma 61

1. UVOD

1.1. OPĆENITO O ŽELJEZNIM LJEVOVIMA

Pojam "lijev" poznat je iz tehnoloških postupaka lijevanja i usko je povezan s pojmom "odljevak". Odljevci odnosno ljevovi primjenjuju se kada nije tehnički moguće oblikovati na drugačiji način, kao na primjer kovanjem, obradom odvajanjem čestica iz poluproizvoda kao što su šipke, cijevi, ploče i slično. [1]

Lijevom smatramo svaku metalnu leguru koja nakon ulijevanja u kalup i kristalizacije nije bila podvrgnuta niti toplom niti hladnom oblikovanju deformiranjem. [3]

Ljevove možemo podijeliti s obzirom na mehanička i kemijska svojstva. Mehanička svojstva kao što štu dobra istezljivost i žilavost karakteristika su čeličnog, temper i nodularnog lijeva, dok svojstvo kao što je krhkost, karakteristika je sivog i bijelog tvrdog lijeva. Kod kemijskog sastava ljevova važan je maseni udio ugljika. U skupinu ljevova s niskim masenim udjelom ugljika do 0.5% ugljika spada čelični lijev, dok u skupinu s visokim masenim udjelom ugljika od 2.2% do 4.5% spada temper, bijeli tvrdi, sivi i nodularni lijev. [1]

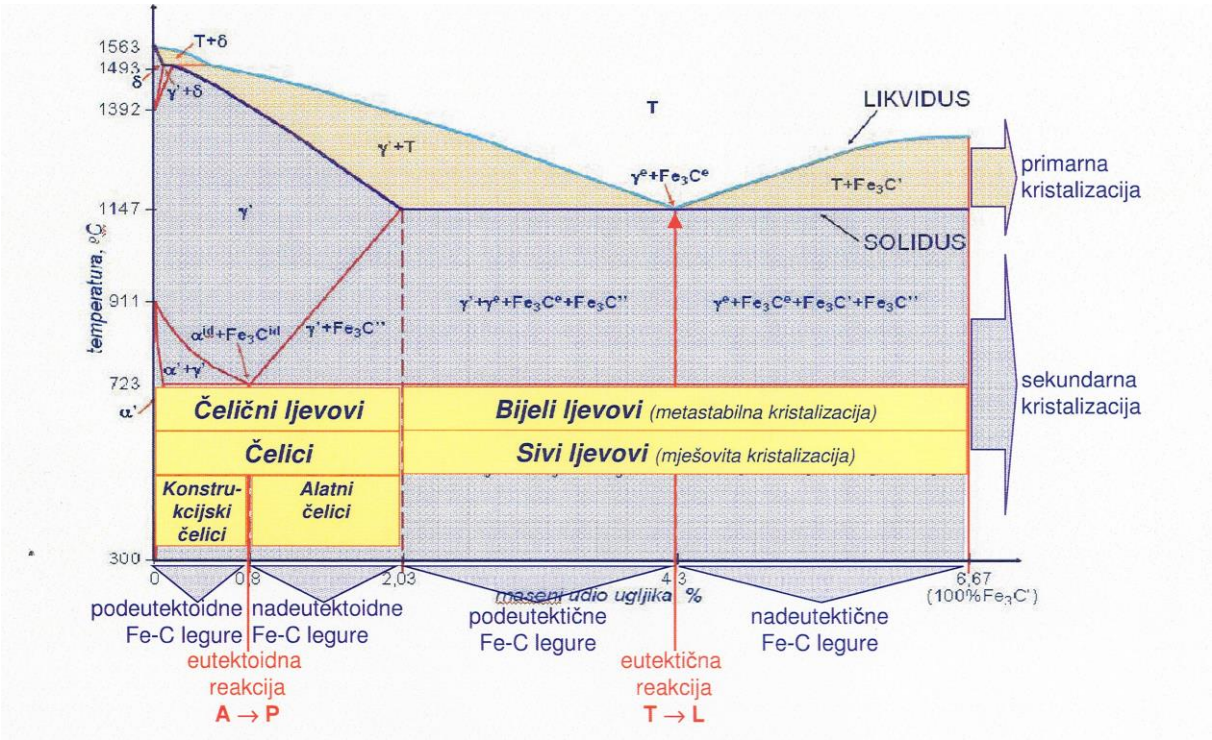
Tablica 1. prikazuje vrijednosti ekvivalenta ugljika za pojedine vrste ljevova. Ekvivalent ugljika izračunava se prema izrazu (1.1) koji nam govori gdje se lijev određenog kemijskog sastava nalazi u odnosu prema eutektičkom sastavu u Fe-C dijagramu.

$$\mathrm{CE} = \%\mathrm{C} + \frac{\%Si}{3} + \frac{\%P}{3} \tag{1.1}$$

Tablica 1. Ekvivalent ugljika za pojedine vrste ljevova

ŽELJEZNI LIJEV	IZNOS %
Temper lijev	2,4...3,0
Bijeli lijev	3,0...3,8
Sivi lijev	3,5...4,5
Nodularni lijev	4,5...5,1

Iz slike 1. zaključuje se da su temper i bijeli lijev podeutektičkog sastava, sivi lijev eutektičkog sastava, a nodularni lijev nadeutektičkog sastava.

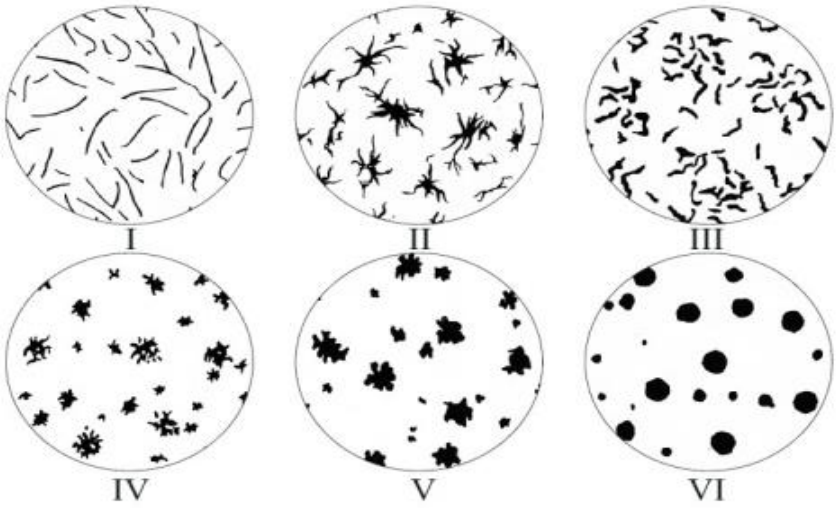


Slika 1. Fe-C dijagram stanja [2]

Kod metastabilne kristalizacije grafit se izlučuje u obliku cementita, a kod stabilne kristalizacije grafit se izlučuje u obliku grafita.

Prema obliku grafita ljevove dijelimo na:

- sivi lijev – ima lističasti ili lamelarni grafit(I),
- nodularni (žilavi) lijev – ima kuglasti grafit(VI),
- temper lijev – ima čvorasti grafit(V).



Slika 2. Klasifikacija grafita u željeznim ljevovima prema HRN EN ISO 945:2002 [8]

Slika 2. prikazuje normom HRN EN ISO 945:2002 propisanu klasifikaciju oblika grafita. Ista norma propisuje normirane veličine grafitnih nodula. [8]

Osim tri osnovna oblika grafita u praksi postoji i posebni oblik listićavog grafita – tzv. vermikularan grafit, gdje se radi o volumenski izoliranim nakupinama grafita.

U željezne ljevove spadaju:

- čelični lijev,
- bijeli tvrdi lijev,
- sivi lijev,
- nodularni lijev,
- temper lijev.

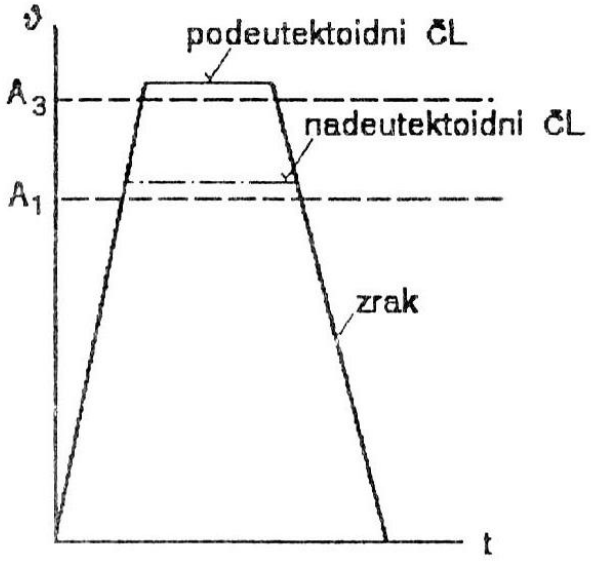
U nastavku će biti opisana glavna svojstva prethodno navedenih ljevova, dok će nodularni lijev biti detaljno opisan i ispitati će se mehanička svojstva na probnim epruvetama.

2. ČELIČNI LIJEV (ČL)

2.1. OPĆENITO O ČELIČNOM LIJEVU

Čeličnim lijevom naziva se Fe-C legura s manje od 2% ugljika. Čelični lijev je zapravo lijevani čelik koji se podvrgava samo obradi odvajanjem čestica. U današnje vrijeme čelični lijev pročišćava se u elektrolučnim ili indukcijskim pećima.

Kako bi se dobila mikrostruktura slična čeličnoj, lijev se najčešće podvrgava toplinskoj obradi normalizacije pri čemu dolazi do usitnjavanja lijevane mikrostrukture i izjednačavanja veličine zrna. Čelični lijev ima grubu lijevanu Widmannstättenovu feritno-perlitnu mikrostrukturu i daje nisku istezljivost i žilavost.



Slika 3. Normalizacijsko žarenje [4]

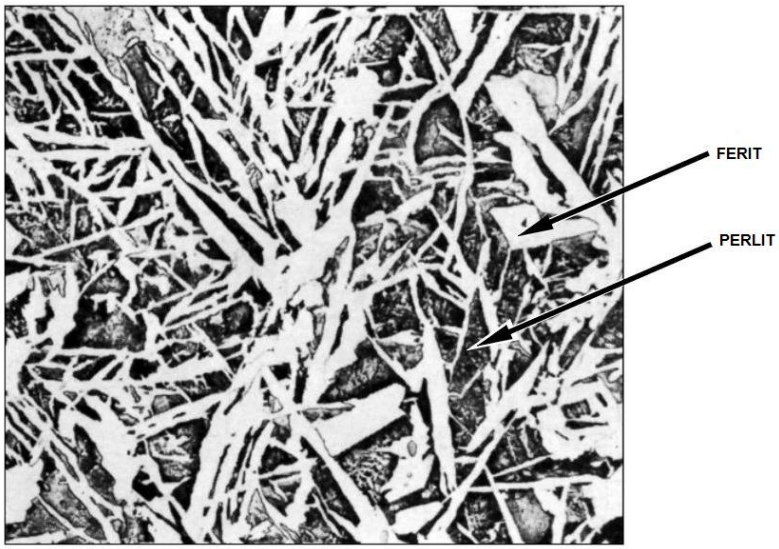
Slika 3. prikazuje postupak normalizacije koja se sastoji od austenitiziranja i hlađenja na mirnom zraku i na taj način uklanja se gruboigličasta Widmannstättenova mikrostruktura i postiže se sitnije feritno-perlitno zrno.

Slika 4. prikazuje Widmannstättenovu mikrostrukturu čeličnog lijeva koja se sastoji od ferita i perlita. Ferit je bijele boje, a perlit crne boje.

Vrlo je važno da li je čelični odljevak namijenjen konačnoj upotrebi bez daljnjeg oblikovanja deformiranjem ili je namijenjen daljnjem oblikovanju deformiranjem. Ako je čelični odljevak namijenjen konačnoj upotrebi bez oblikovanja deformiranjem, na primjer za dijelove strojeva, on će sadržavati najviše 0.5% ugljika. Ako je čelični odljevak napravljen na takav način da će biti namijenjen daljnjem

oblikovanju deformiranjem, što znači da je odliven u željezni kalup u obliku ingota, koji će se valjanjem ili kovanjem preoblikovati u šipke i profile, on treba sadržavati onoliko ugljika koliko ga se želi u proizvedenom čeličnom poluproizvodu .

Prije pedesetak godina smatralo se da kod nelegiranog čeličnog lijeva vlačna čvrstoća nije smjela prijeći 550 N/mm^2, dok se danas smatra da se nelegirani odljevci toplinskom obradom poboljšavanja smiju dovesti i na razinu čvrstoće od 1200 N/mm^2 , a pritom žilavost ne postaje nedopušteno niska.



Slika 4. Widmannstättenova mikrostruktura čeličnog lijeva [4]

Tablica 2. prikazuje vrste nelegiranog i niskolegiranog čeličnog lijeva koji se klasificira na temelju vrijednosti vlačne čvrstoće i ostalih mehaničkih svojstava, dok kemijski sastav nije zajamčen. [1]

Tablica 2. Zajamčena svojstva nelegiranih i niskolegiranih vrsta čeličnog lijeva

OZNAKA LIJEVA PREMA		R_m N/mm^2	$R_{p0.2}$ N/mm^2	A Min,%	Z Min,%	KU Min,J	R_e/R_m	% C	Krit.deblj. stijenke,mm
EN	stara HRN								
GS185N GS185KRN	ČL0300 ČL0301	370	185	25	35	- 35	0.5	<0.25	13.5
GS225N GS225JRN	ČL0400 ČL0401	440	225	22	30	- 28	0.5	~0.25	18.5
GS255N GS225JRN	ČL0500 ČL0501	510	255	18	25	- 21	0.5	~0.30	27
GS295N GS295JRN	ČL0600 ČL0601	590	295	15	-	- 14	0.5	~0.40	39
GS345J0N GS345J2N	ČL0602 ČL0603	610	345	15	-	- 14	0.55	~0.40	
GS410N	ČL0700	690	410	12	-	-	0.6	~0.50	

2.2. SVOJSTVA ČELIČNIH LIJEVOVA

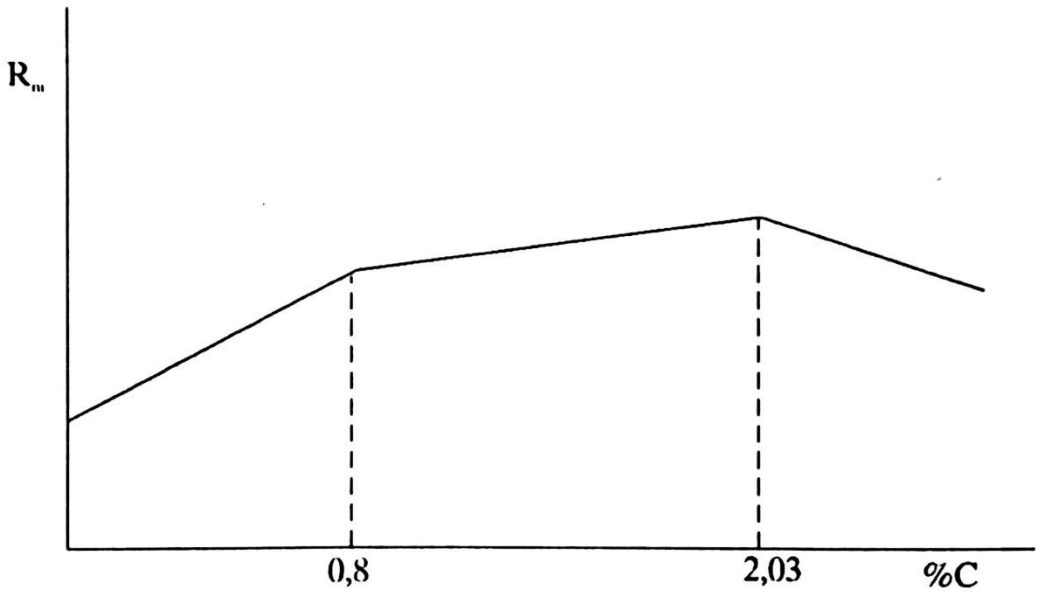
2.2.1. MEHANIČKA SVOJSTVA

Od mehaničkih svojstava čeličnih ljevova promatra se:

- modul elastičnosti,
- vlačna čvrstoća (R_m) i konvencionalna granica razvlačenja ($R_{p0.2}$)
- vremenska čvrstoća,
- dinamička izdržljivost,
- žilavost.

Modul elastičnosti čeličnih ljevova ne ovisi o njihovu sastavu i pri temperaturi od 20 °C iznosi oko 210 000 N/mm^2. Porastom temperature modul elastičnosti smanjuje se linearno i iznosi kod 500 °C oko 165 000 N/mm^2.

Vlačna čvrstoća (R_m) i konvencionalna granica razvlačenja ($R_{p0.2}$) dostižu svoje optimalne vrijednosti tek nakon odgovarajuće toplinske obrade. Velika odstupanja od propisanih vrijednosti čvrstoće i granice razvlačenja treba pripisati nejednoličnoj veličini kristalnih zrna, nejednoličnoj orijentaciji zrna te nastajanju Widmannstättenove strukture. Na mehanička svojstva najviše utječe sadržaj ugljika, što je prikazano na slici 5.



Slika 5. Shematski prikaz promjene vlačne čvrstoće s porastom % C u Fe-Fe3C legurama[3]

Vremenska čvrstoća do izražaja dolazi za vrijeme dugotrajnog vlačnog naprezanja pri povišenim temperaturama. Prije loma uslijed dugotrajnog naprezanja

nastupa tzv. puzanje, odnosno trajna deformacija razvlačenja. Prema istraživanjima čelični lijev će se povoljnije ponašati pri povišenim temperaturama nego kod čelika jednakog sastava zahvaljujući upravo grubljem i neorijentiranom kristalnom zrnu.

Dinamička izdržljivost odgovarajućeg čelika povoljnija je nego dinamička izdržljivost čeličnog lijeva.

Žilavost čeličnih ljevova snižava se s porastom udjela ugljika što je glavni razlog ograničenja udjela ugljika u odljevcima.

Padom temperature snižava se žilavost čeličnih odljevaka i zato čelične odljevke s BCC-rešetkom ne treba primjenjivati pri temperaturama nižim od oko -20 °C. Nasuprot tome, čeličnim odljevcima s FCC-rešetkom (npr. austenitnim čeličnim ljevovima ČL4571 i ČL4572 iz tablice 3.) ne ograničava se uporaba pri temperaturama ispod 20°C.

Tablica 3. prikazuje izbor iz privremenih domaćih normi za legirane čelične ljevove. Uporabu čeličnih lijevova treba svesti samo na najnužniju mjeru, odnosno samo na slučajeve kada nelegirani čelični lijev nikako nemože zadovoljiti zahtjevima. Legirani čeliči lijev će potpuno zadovoljiti zahtjevima tek kad je bio potpuno pravilno metalurški obrađen, potpuno pravilno lijevan, prikladno toplinski obrađen, te vrlo brižljivo kontroliran zbog visoke vjerojatnosti pogrešaka pri provođenju osjetljivih proizvodnih operacija. [3]

Tablica 3. Izbor iz privremenih domaćih normi za legirane čelične ljevove

oznaka prema DIN 17006 (VdEH – oznaka)	oznaka čeličnog lijeva prema HRN	R_m, N/mm^2	$R_{p0.2}$,N/mm^2 Min	A_5, % Min	namjena
GS-42 CrMo4	ČL4732 ČL3134	880 780	665 390	9 7	za poboljšanje, za poboljšanje otporan na trošenje
GS-15 CrMo 5	ČL7431	530	450	20	za rad pri povišenim temperaturama
G-X 10 CrNi 18 G-X 5 CrNiNb 18 9 G-X 20 Cr 14	ČL4571 ČL4572 ČL4171	440 440 590	175 175 440	20 20 12	korozijski postojani
G-X 35 CrNiSi 25 12	ČL4577	440	-	10	vatrootporni
G-X 120 Mn 12	ČL3160	830	390	42	gašen- otporan na trošenje

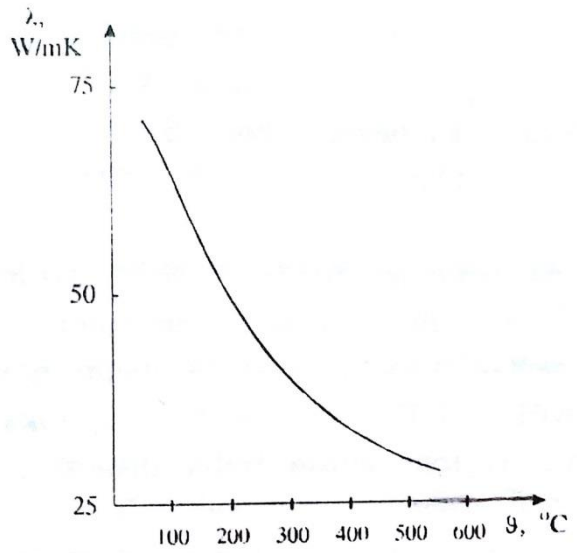
2.2.2. FIZIKALNA SVOJSTVA

Od fizikalnih svojstava čeličnih ljevova promatra se:

- gustoća,
- toplinska vodljivost,
- otpornost na trošenje.

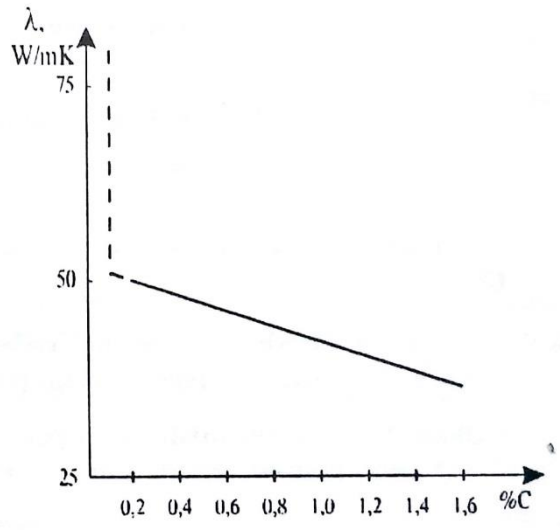
Nelegirani čelični lijev ima gustoću od oko 7850 kg/mm^3, dok gustoća legiranih čeličnih ljevova ovisi o vrsti i udjelu legirajućih dodataka.

Toplinska vodljivost nelegiranih čeličnih ljevova ovisi o temperaturi i udjelu ugljika, što je prikazano na slikama 6. i 7.



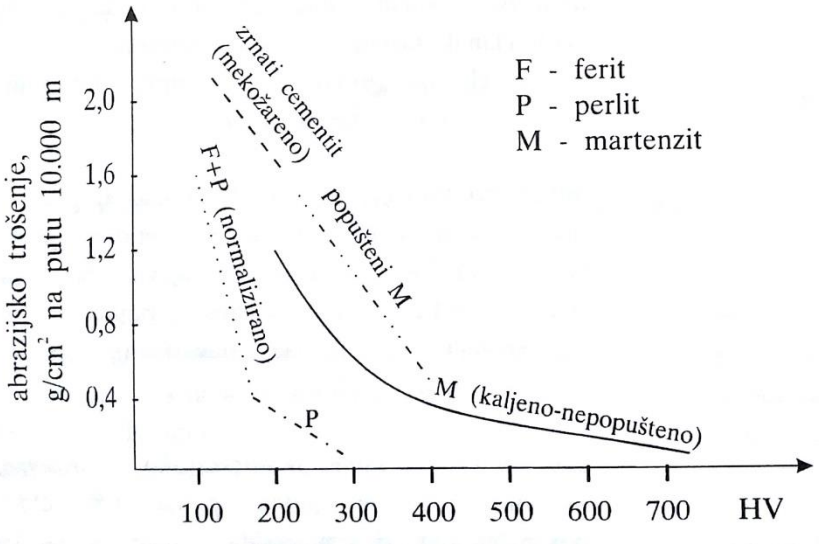
Slika 6. Toplinska vodljivost niskougljičnog nelegiranog čeličnog lijeva [3]

Fizikalna svojstva kao što su električna vodljivost, toplinsko rastezanje, specifični toplinski kapacitet, kemijska svojstva kao što su postojanost na elektrokemijsku i kemijsku koroziju, usporediva su s odgovarajućim svojstvima čelika.



Slika 7. Toplinska vodljivost nelegiranih čeličnih ljevova pri 20 °C ovisno o sadržaju ugljika [3]

Glavni oblici trošenja su abrazijsko, adhezijsko, kombinirano adhezijsko-abrazijsko, kotrljajuće, erozijsko i kavitacijsko trošenje. Otpornost na trošenje ovisi o visini tvrdoće i moglo bi se ocijeniti pravilnim samo ako se radi o trošenju abrazijom, ali s obzirom da istodobno djeluje nekoliko mehanizama trošenja, može se utvrditi da će tvrdoća biti samo nužan, ali nikako i dovoljan uvjet otpornosti na trošenje, što je prikazano slikom 8.



Slika 8. *Ovisnost svojstava na abrazijsko trošenje o tvrdoći čeličnih ljevova[3]*

2.3. PRIMJERI PRIMJENE ČELIČNIH LJEVOVA

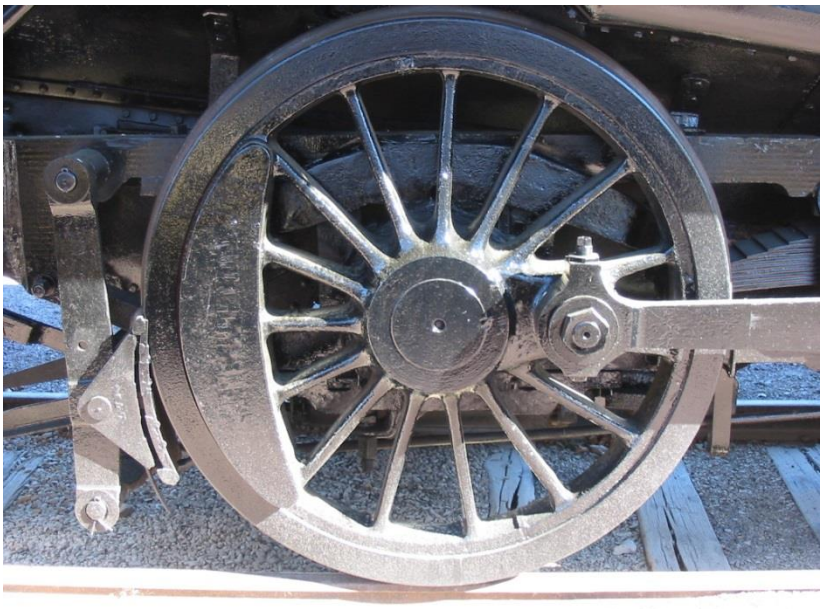
" Upotrijebiti ga samo tamo, gdje se ne bi zadovoljila svojstva sivog ili nodularnog lijeva, te gdje bi oblikovanje nekim drugim postupkom bilo neekonomično ili čak nemoguće", opće je načelo kojim se treba nositi u primjeni čeličnog lijeva. [3]

Nekoliko tipičnih primjena čeličnih ljevova su:

- dijelovi preša,
- kućišta diferencijala kamiona i autobusa,
- rotori toplinskih strojeva
- veliki zupčanici s grubo odlivenim zubima,
- bubnjevi automobilskih kočnica,
- dijelovi lokomotiva, vagona i tramvaja. [3]



Slika 9. *Čelični lijev nakon 12 sati toplinske obrade[5]*



Slika 10. Čelični lijev za strojogradnju [5]

Slika 9. prikazuje čelični lijev nakon 12 sati toplinske obrade na temperaturi od 1200 °C, dok slika 10. prikazuje dio kotača lokomotive koji je izrađen iz čeličnog lijeva.

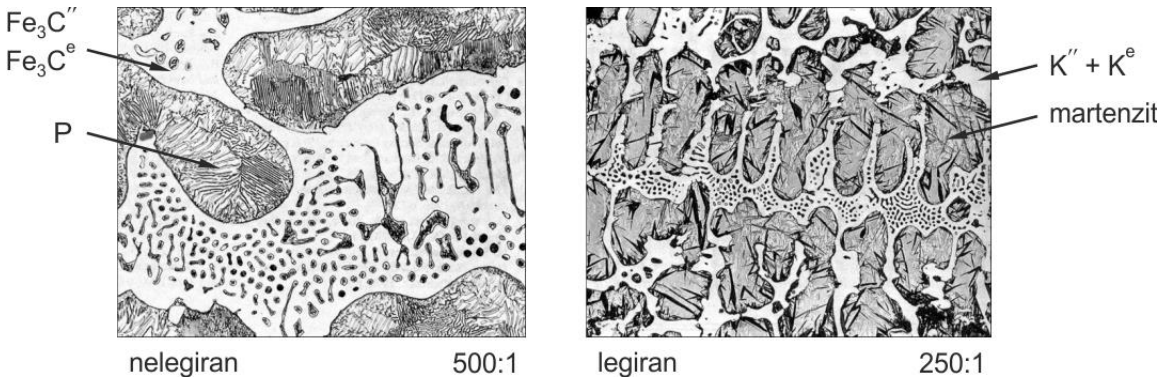
3. BIJELI TVRDI LIJEV (BTL)

Bijeli tvrdi lijev dobiven je forsiranjem metastabilne kristalizacije u metalnoj kokili ili u mokrom pješčanom kalupu. Kemijski sastav taljevine prikazan je u tablici 4.

Tablica 4. Kemijski sastav bijelog tvrdog lijeva

KEMIJSKI ELEMENT	POSTOTAK %
ugljik	2,5…3,5
silicij	<0,6
mangan	**3,0…4,0**
fosfor	<0,9
sumpor	<0,25

Iz tablice 4. može se zaključiti kako bijeli tvrdi lijev ima povišeni udio mangana koji kao cementator pospješuje stvaranje karbida, sprječava stvaranje grafita, a ograničen je maseni udio silicija kao grafitizatora.



Slika 11. Mikrostruktura bijelog tvrdog lijeva [1]

Slika 11. prikazuje mikrostrukturu bijelog tvrdog lijeva, pa po presjeku razlikujemo potpuno metastabilno kristaliziranu mikrostrukturu po cijelom presjeku P+$Fe_3C^{"}$+ Fe_3C^{e} i mješovito kristaliziranu mikrostrukturu kod koje su samo površinski slojevi do određene dubine metastabilno kristalizirali, dok je sredina stabilno ili mješovito kristalizirala.[1]

Svojstva bijelog tvrdog lijeva su:

- tvrdoća viša od 400 HV,
- visoka otpornost na abrazijsko trošenje zahvaljujući prisutnosti Fe_3C,
- slaba duktilnost,
- neobradljivost odvajanjem čestica.

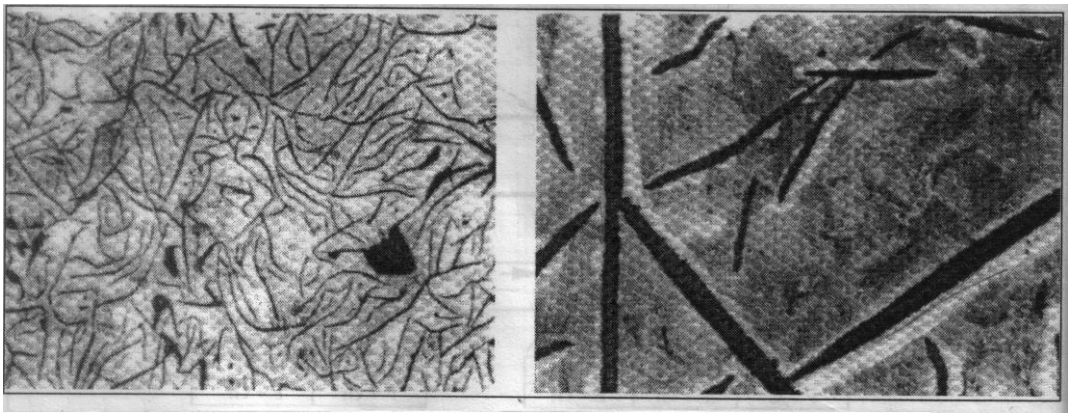
Bijeli tvrdi lijev ima i nekoliko posebnih vrsta kao što su perlitni tvrdi lijev, tvrdi lijev za valjke i krom-karbidni tvrdi lijev.

Primjena bijelog tvrdog lijeva:

- valjci u metalnoj, papirnoj ili pekarskoj industriji,
- kotači i papuče kočnica tračnih vozila,
- dijelovi drobilica za kamen, ugljen,
- žigovi i alati za izvlačenje žice,
- oklopi bubnjeva u industriji cementa.

4. SIVI LIJEV (SL)

Sivi lijev je legura željeza i ugljika s dodatkom silicija, mangana i fosfora.[1] Veći dio ugljika izdvaja se u obliku listića (lamela) grafita, prikazano na slici 12.



Slika 12. Mikrostruktura sivog lijeva [6]

Tablica 5. Kemijski sastav sivog lijeva

KEMIJSKI ELEMENT	POSTOTAK %
ugljik	2,5…4,5
mangan	0,3…1,2
silicij	**1…4**
fosfor	0,4…1,5
sumpor	< 0,1

Kemijski sastav sivog lijeva prikazan je u tablici 5. Sivi lijev prethodno navedenog sastava nije legiran, a Si, Mn, P i S smatraju se primjesama.

Svojstva sivog lijeva su:

- tehnološka svojstva,
- mehanička svojstva.

Karakteristična tehnološka svojstva su: mogu se lijevati odljevci svih masivnosti, jednostavnija i jeftinija proizvodnja od drugih odljevaka, dobra rezljivost i slaba zavarljivost radi male istezljivosti i visokog postotka ugljika.

Mehanička svojstva sivog lijeva su relativno niska vlačna čvrstoća, visoka tlačna čvrstoća i slaba žilavost.

Primjena sivog lijeva:

- postolja alatnih strojeva,
- kućišta motora i reduktora,
- košuljice cilindara,
- klizni ležajevi,
- radijatorski članci,
- kalupi za staklo.



Slika 13. Primjena sivog lijeva[6]

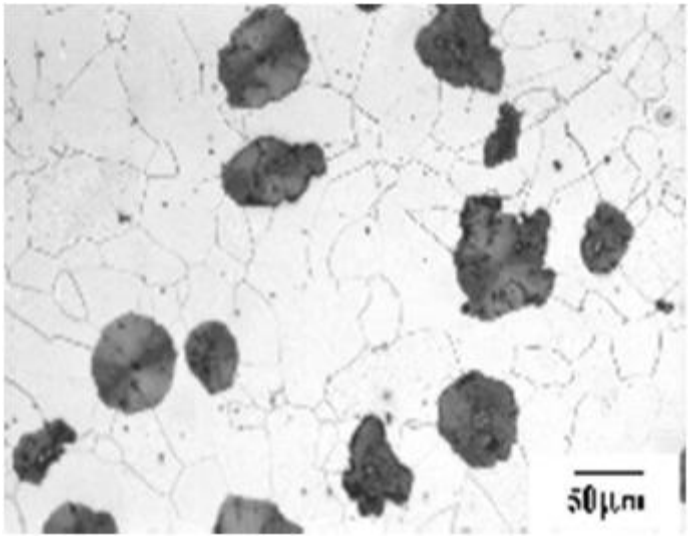
Slika 13. prikazuje proizvode od sivog lijeva kao što su ploče od klavira, tava, reljef i stara peć.

5. NODULARNI (ŽILAVI) LIJEV

Većina normi prihvatila je definiciju:

''Nodularni lijev je ljevačka pseudobinarna legura željeza i ugljika, koji se pretežnim dijelom izlučio u obliku kuglastoga grafita.'' [3]

Nodularni lijev je vrsta lijevanog željeza s kuglastim grafitom, prikazano na slici 14.



Slika 14. Mikrostruktura nodularnog lijeva [7]

Mikrostruktura željezne osnove je potpuno feritna, feritno – perlitna, perlitna i austenitna.

Kemijski sastav nodularnog lijeva prikazan je u tablici 6.

Tablica 6. Kemijski sastav nodularnog lijeva

KEMIJSKI ELEMENT	POSTOTAK %
ugljik	3,2…3,8
silicij	2,4…2,8
mangan	< 0,5
fosfor	< 0,045
sumpor	< 0,01

Svojstav nodularnog lijeva:

- visoka dinamička izdržljivost,
- visoki modul elastičnosti,
- dobra obradivost odvajanjem čestica,
- može se zavarivati,
- dobra ležišna svojstva.

Primjena nodularnog lijeva:

- koljenaste i bregaste osovine motora,
- košuljice cilindara motora i kompresora,
- stapajice,
- zupčanici,
- poklopci kliznih ležaja,
- rotori pumpa.

6. TEMPER (KOVKASTI) LIJEV

Kovkasti lijev ili temper lijev je vrsta lijevanog željeza, a to je takva legura željeza i ugljika koja u sirovom odljevenom obliku ima bijeli prijelom.

Ovisno o atmosferi u kojoj se provodi žarenje dobiva se:

- crni temper lijev,
- bijeli temper lijev.

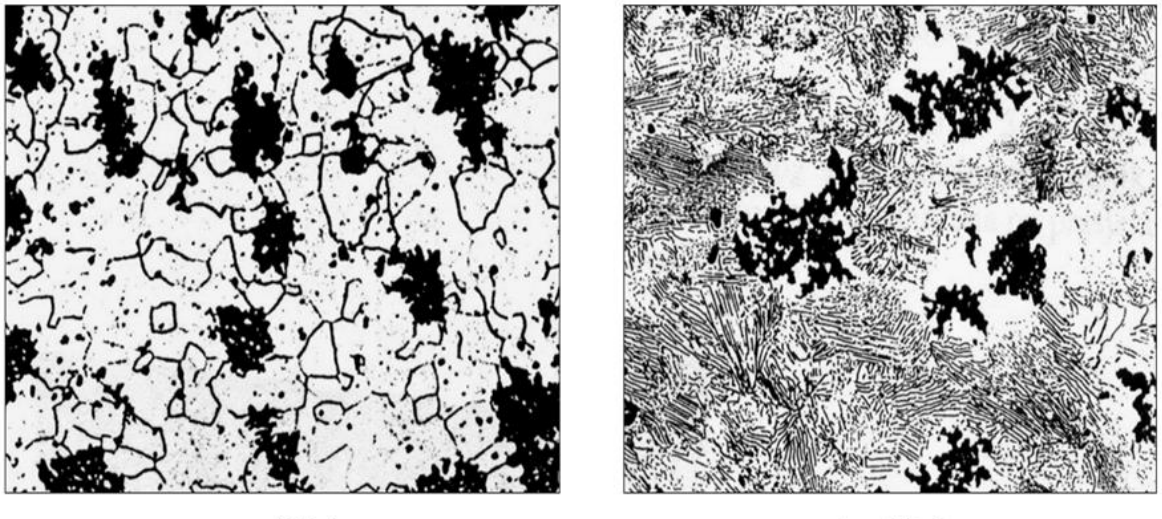
Tablica 7. prikazuje kemijski sastav crnog i bijelog temper lijeva.

Sirovina za bijeli temper lijev je jeftinija nego za crni.

Tablica 7. Kemijski sastav crnog i bijelog temper lijeva

	POSTOTAK %				
VRSTA LIJEVA	UGLJIK	SILICIJ	MANGAN	FOFOR	SUMPOR
Crni temper lijev	2,8…3,4	0,5…0,8	0,2…0,4	< 0,1	0,1…0,29
Bijeli temper lijev	2,0…2,8	1,4…1,8	0,2…0,5	< 0,1	< 0,15

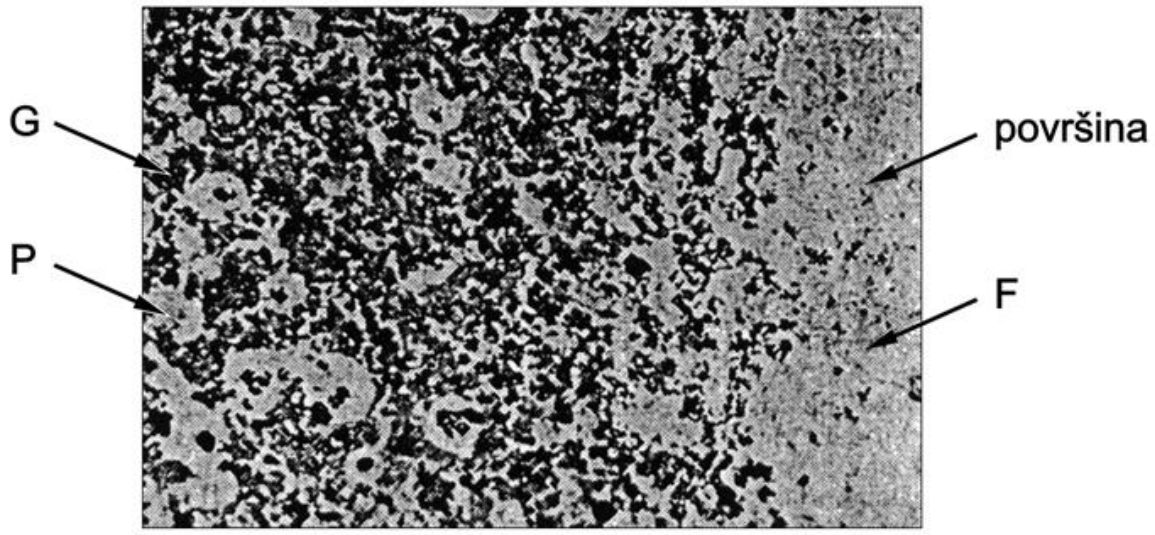
Slika 15. prikazuje mikrostrukturu crnog temper lijeva, koja nam govori da ova vrsta lijeva ima višu čvrstoću, tvrdoću i otpornost na trošenje.



Slika 15. Mikrostruktura crnog temper lijeva [1]

Crni temper lijev primjenjuje se za odljevke kompliciranih oblika, kao što su bubnjevi kočnica vozila, vilica i držači vilica vozila, tiskarski strojevi, dijelovi vaga, ventili u brodogradnji.

Kod bijelog temper lijeva mikrostruktura nije ujednačena po presjeku, pa mehanička svojstva ovise o debljini stijenke, posebno kod debljih odljevaka. Na slici 16. prikazana je mikrostruktura bijelog temper lijeva kod kojeg nije ujednačena mikrostruktura.



Slika 16. Mirkostruktura bijelog temper lijeva [1]

7. POSTAVKA ZADATKA

Nakon teorijskog dijela u kojem su opisana osnovna svojstva željeznih ljevova, u eksperimentalnom dijelu detaljnije je opisan nodularni lijev nakon čega se provodi ispitivanje mehaničkih svojstava nodularnog lijeva NL 700.

Napravit će se ispitivanje vlačne čvrstoće i ispitivanje udarnog rada loma, te će se dobiveni rezultati usporediti sa očekivanim. Ispitivanje će se vršiti na epruvetama iz nodularnog lijeva NL 700 koje su izrađene od prethodno odlivenih Y-proba. Ispitivanja će se vršiti u Laboratoriju za materijale i toplinsku obradu Veleučilišta u Karlovcu.

8. EKSPERIMENTALNI DIO

8.1. SVOJSTVA NODULARNOG LIJEVA

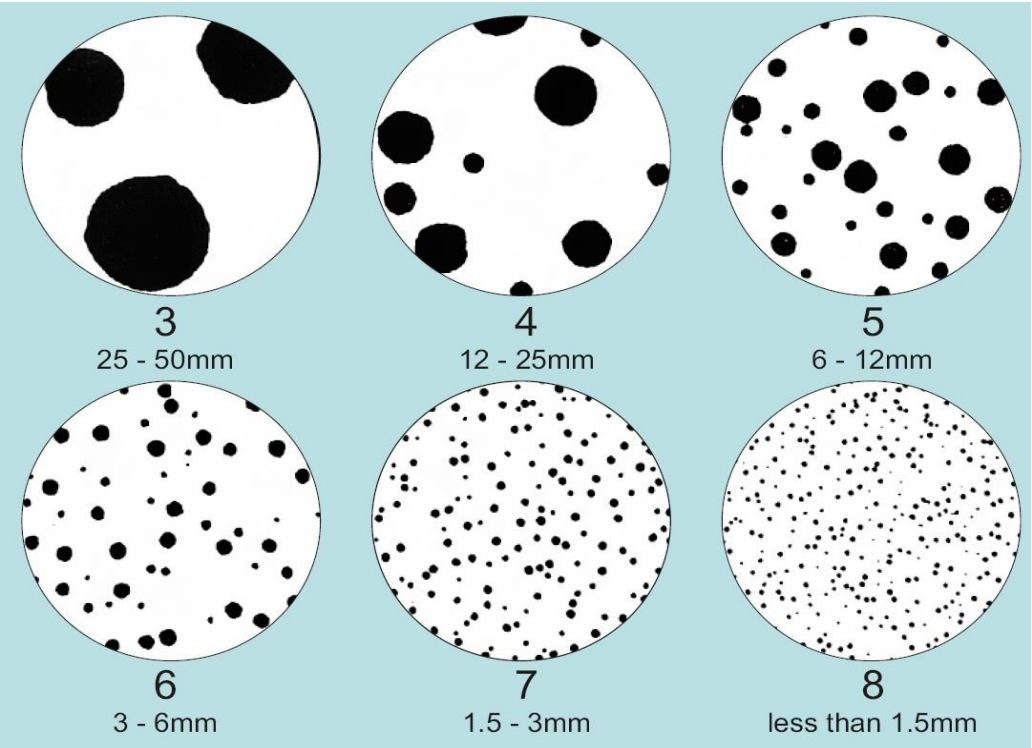
Svojstva nodularnog lijeva nalaze se između svojstava čeličnog i sivog lijeva, s time da se nodularni lijev može oblikovati toplo i hladno. Uvjeti za postizanje kvalitetnog nodularnog lijeva su:

- odsutnost Ti, Al, Pb, Sb, Sn,As;
- niski % S;
- niski % Si;
- niski % Mn;
- niski % P.

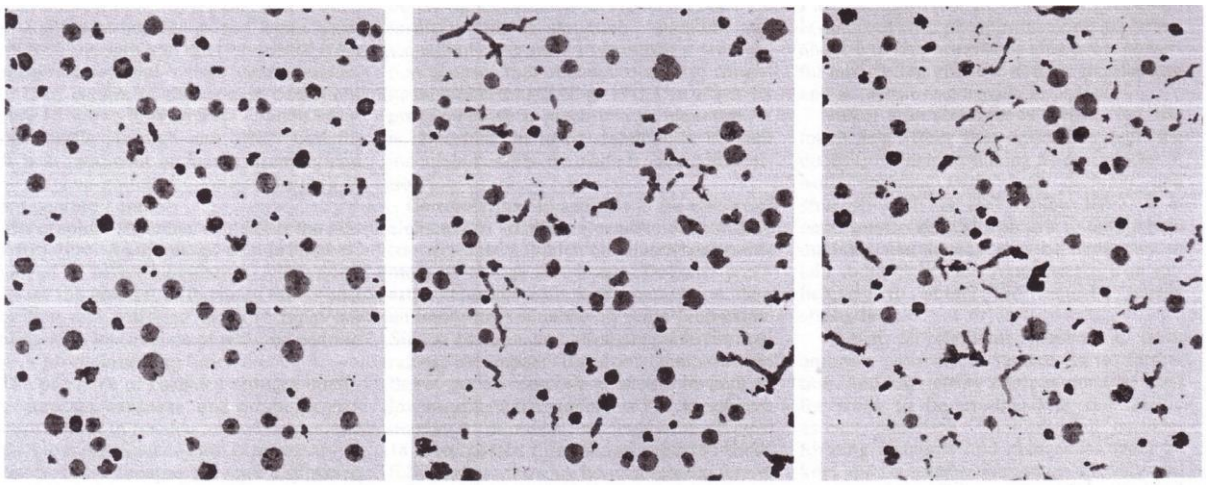
Prema strukturi nodularne lijevove dijelimo na:

- feritni;
- feritno-perlitni odnosno perlitno-feritni;
- perlitni;
- austenitni.

Slika 17. prikazuje pojedine veličine grafitnih nodula.

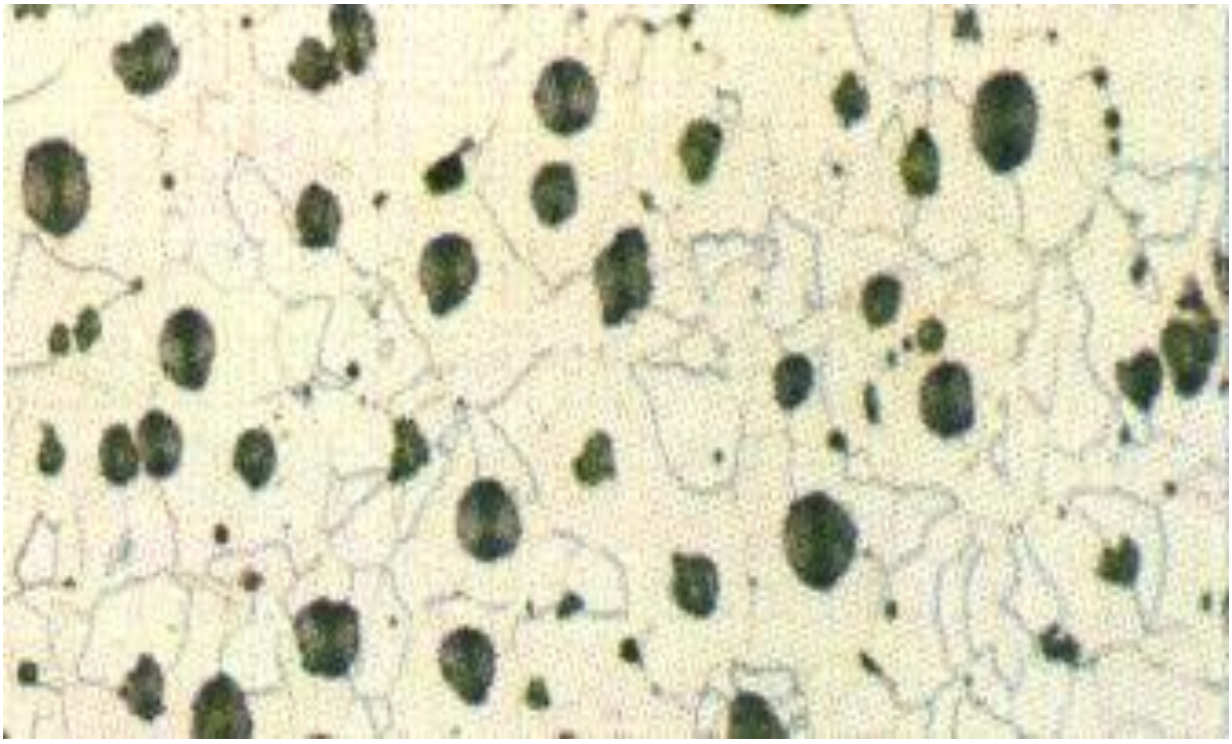


Slika 17. Normirane veličine grafitnih nodula u nodularnom lijevu [8]



Slika 18. Mikrostruktura nodularnog lijeva [7]

Ako nam je potrebna maksimalna moguća žilavost, teži se feritnoj matrici odljevaka od nodularnog lijeva. Mikrostruktura nodularnog lijeva s različitom nodularnosti prikazana je na slici 18., mikrostruktura feritnog nodularnog lijeva prikazana je slikom 19.



Slika 19. Mikrostruktura feritnog nodularnog lijeva [7]

Mikrostruktura perlitnog nodularnog lijeva prikazana je na slici 20.



Slika 20. Mikrostruktura perlitnog nodularnog lijeva [7]

Pretežno perlitna struktura postiže se sadržajem ugljika i silicija. Ako se zahtjeva potpuno perlitna struktura, to se može postići toplinskom obradom ili legiranjem. Mangan je prikladan za stabilizaciju perlita, pa je npr. za potpuno perlitnu strukturu potreban je sadržaj oko 1,5% Mn. [3]

Ako se legira kromom ili niklom može se postići austenitna struktura nodularnog lijeva. Najveći broj austenitnih lijevova sadrži krom, pa te kvalitete nodularnog lijeva obično sadrže malo karbida. Kako je osnovna metalna masa austenitna, ovi se materijali razmjerno lako strojno obrađuju. [3]

8.2. ISPITNI UZORAK

Ispitivanje se vršilo na epruvetama od nodularnog lijeva NL 700 koja je prikazana na slici 2.2., dok slika 21. prikazuje Y-probu od koju su se prethodno navedene epruvete radile.

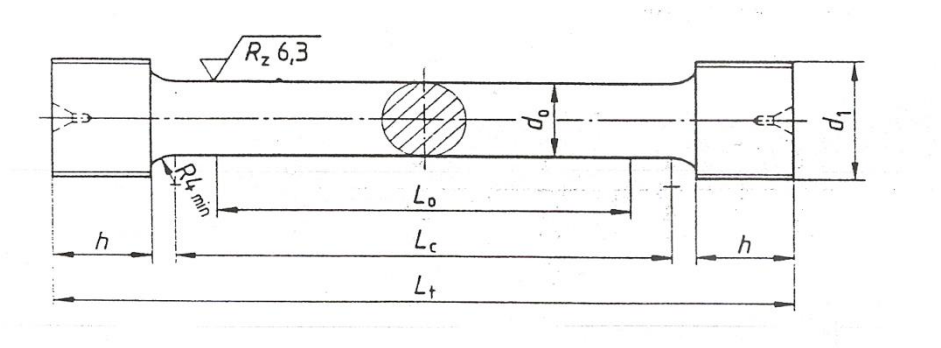


Slika 21. Y-proba



Slika 22. Epruvete za ispitivanje vlačne čvrstoće

Epruvete prikazane slikom 22. napravljene su prema standardu DIN 50 125 koji je namijenjen za izradu okruglih epruveta s navojnim glavama (slika 23).



Slika 23. Okrugle epruvete s navojnim glavama [8]

- d_0 - Promjer epruvete, mm
- d_1 – Metrički navoj - ISO
- h – Visina glave epruvete, mm
- L_0 – Početna mjerna duljina epruvete ($L_0 = 5\ d_0$), mm
- L_c – Ispitna duljina epruvete ($L_c \geq L_0 + d_0$), mm
- L_t – Ukupna duljina epruvete, mm

Iz tablice 8. za standardne dimenzije vlačne epruvete oblika B s promjerom epruvete d_0 = 14 mm i početnom mjernom duljinom epruvete L_0 = 70 mm mogu se očitati i podaci kao što su:

- metrički navoj d_1 je M20;
- visina glave epruvete h iznosi minimalno 17 mm;
- ispitna duljina epruvete L_c iznosi najmanje 84 mm;
- ukupna duljina epruvete L_t iznosi najmanje 125 mm.

Tablica 8. Standardne dimenzije vlačne epruvete

d_0	L_0	d_1	h min.	L_c min.	L_t min.
4	20	M6	6	24	40
5	25	M8	7	30	50
6	30	M10	8	36	60
8	40	M12	10	48	75
10	50	M16	12	60	90
12	60	M18	15	72	110
14	70	M20	17	84	125
16	80	M24	20	96	145
18	90	M27	22	108	160
20	100	M30	24	120	175
25	125	M33	30	150	220

8.3. STATIČKI VLAČNI POKUS

Statički vlačni pokus odrađen je u Laboratoriju za materijale i toplinsku obradu Veleučilišta u Karlovcu. Statički vlačni pokus izvodi se na kidalici (slika 24.). Mjerno područje je do 600 kN. Statičkim vlačnim ispitivanjem na kidalici mogu se dobiti rezultati ispitivanja kao što su vlačna čvrstoća (R_m), granica razvlačenja materijala (R_e), istezljivost (A), kontrakcija (Z). Ispitivanje se provodilo na 5 epruveta.



Slika 24. Kidalica Otto Wolpert Werke

Kidalica se sastoji od gornje i donje čeljusti kako je prikazano na slici 25., pa je prije samog ispitivanja potrebno krajeve epruvete na mjestima navojne glave učvrstiti prvo za gornju, a onda za donju čeljust kidalice.



Slika 25. Gornja i donja čeljust kidalice

Nakon što je epruveta dobro učvršćena na krajevima (slika 26.), opterećuje se vlačnom silom do njenog pucanja. Vlačna čvrstoća je osnovno mehaničko svojstvo materijala, uz granicu razvlačenja, na osnovu kojeg se materijali vrednuju prema njihovoj mehaničkoj otpornosti na naprezanje. Vlačna čvrstoća predstavlja omjer maksimalne postignute sile pri vlačnom ispitivanju na kidalici i površine početnog presjeka ispitnog uzorka ili epruvete.



Slika 26. Učvršćena probna epruveta

Djelovanjem naprezanja (u ovom slučaju na vlak) u materijalu dolazi do određenih deformacija, tako se i pri statičkom vlačnom pokusu epruveta produlji. Zbog produljenja se tijekom ispitivanja uz vrijednosti sile prate i duljina epruveta nakon opterećenja. Također dolazi do suženje presjeka, odnosno kontrakcije.



Slika 27. Epruveta nakon opterećenja

Za vrijeme ispitivanja očitavaju se sile F_e i F_m i mjeri se produljenje epruvete nakon loma, te se na temelju tih parametara crtaju dijagrami sila – produljenje, koji se

nazivaju i dijagramima kidanja. Na temelju očitanih parametara koriste se slijedeće formule:

- $S_0 = \frac{d_0^2 \pi}{4}$, početni poprečni presjek;
- $\Delta l = l_{uk} - l_0$, apsolutno produljenje;
- $R_e = \frac{F_e}{S_0}$, granica razvlačenja;
- $R_m = \frac{F_m}{S_0}$, vlaćna čvrstoća;
- $A = \frac{l_{uk} - l_0}{l_0} \cdot 100\%$, istezanje.



Slika 28. Polomljene epruvete

Slika 28. prikazuje epruvete nakon loma.

8.3.1. REZULTATI ISPITIVANJA VLAČNE ČVRSTOĆE

Za **prvu** epruvetu su očitani i izmjereni slijedeći rezultati:

F_e= 96 000 N

F_m= 112 500 N

l_{uk}= 74 mm

Pomoću prethodno očitanih rezultata izračunati su ostali parametri, te je nacrtan dijagram F/Δl:

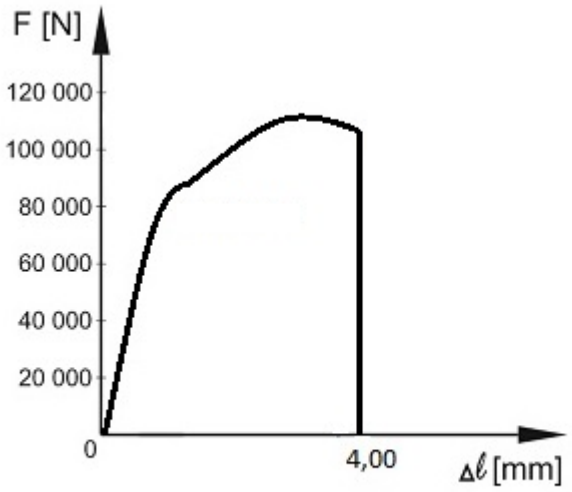
$S_0 = \frac{d_0^2\pi}{4} = \frac{14^2\pi}{4} = 153{,}86\ mm^2$

$\Delta l = 74 - 70 = 4\ mm$

$R_e = \frac{96000}{153{,}86} = 623\ N/mm^2$

$R_m = \frac{112500}{153{,}86} = 731\ N/mm^2$

$A = \frac{74-70}{70} \cdot 100\% = 5{,}7\ \%$



Slika 29. Dijagram kidanja za epruvetu 1

Za **drugu** epruvetu su očitani i izmjereni slijedeći rezultati:

F_e= 69 000 N

F_m= 83 000 N

l_{uk}= 71,4 mm

Pomoću prethodno očitanih rezultata izračunati su ostali parametri, te je nacrtan dijagram F/Δl:

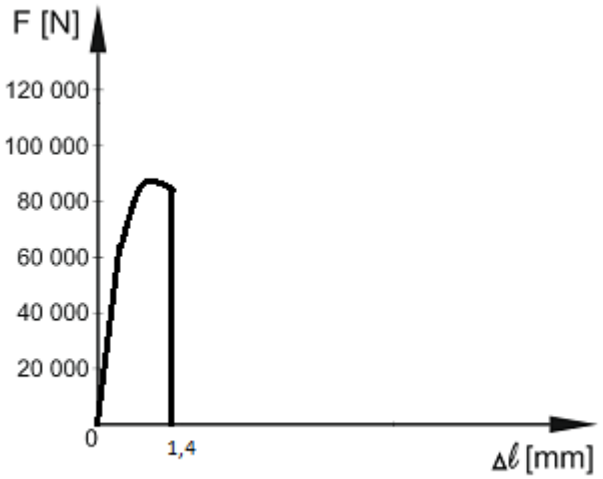
$$S_0 = \frac{d_0^2\pi}{4} = \frac{14^2\pi}{4} = 153{,}86\ mm^2$$

$$\Delta l = 71{,}4 - 70 = 1{,}4\ mm$$

$$R_e = \frac{69000}{153{,}86} = 448\ N/mm^2$$

$$R_m = \frac{83000}{153{,}86} = 539\ N/mm^2$$

$$A = \frac{71{,}4 - 70}{70} \cdot 100\% = 2\ \%$$



Slika 30. Dijagram kidanja za epruvetu 2

Za **treću** epruvetu su očitani i izmjereni slijedeći rezultati:

F_e= 69 000 N

F_m= 101 500 N

l_{uk}= 73 mm

Pomoću prethodno očitanih rezultata izračunati su ostali parametri, te je nacrtan dijagram F/Δl:

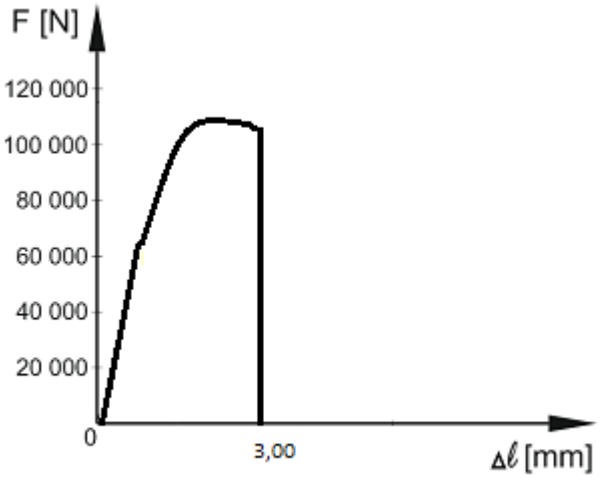
$$S_0 = \frac{d_0^2\pi}{4} = \frac{14^2\pi}{4} = 153{,}86\ mm^2$$

$$\Delta l = 73 - 70 = 3\ mm$$

$$R_e = \frac{69000}{153{,}86} = 448\ N/mm^2$$

$$R_m = \frac{101500}{153{,}86} = 659\ N/mm^2$$

$$A = \frac{73 - 70}{70} \cdot 100\% = 4{,}2\ \%$$



Slika 31. Dijagram kidanja za epruvetu 3

Za **četvrtu** epruvetu su očitani i izmjereni slijedeći rezultati:

F_e= 85 000 N

F_m= 113 000 N

l_{uk}= 74,5 mm

Pomoću prethodno očitanih rezultata izračunati su ostali parametri, te je nacrtan dijagram F/Δl:

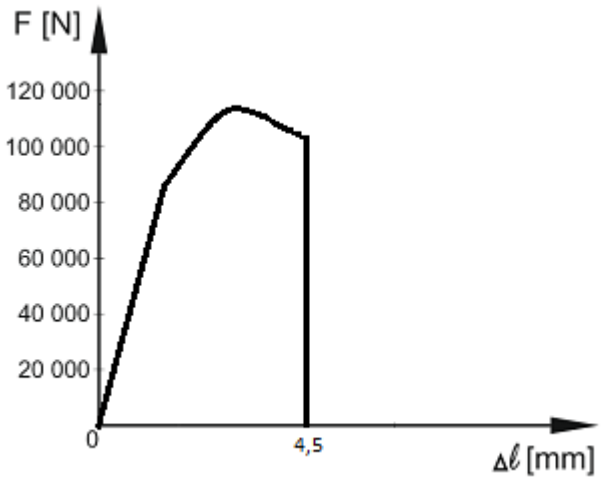
$$S_0 = \frac{d_0^2\pi}{4} = \frac{14^2\pi}{4} = 153{,}86\ mm^2$$

$$\Delta l = 74{,}5 - 70 = 4{,}5\ mm$$

$$R_e = \frac{85000}{153{,}86} = 552\ N/mm^2$$

$$R_m = \frac{11300}{153{,}86} = 734\ N/mm^2$$

$$A = \frac{73 - 70}{70} \cdot 100\% = 6{,}4\ \%$$



Slika 32. Dijagram kidanja za epruvetu 4

Za **petu** epruvetu su očitani i izmjereni slijedeći rezultati:

F_e= 69 000 N

F_m= 107 500 N

l_{uk}= 73 mm

Pomoću prethodno očitanih rezultata izračunati su ostali parametri, te je nacrtan dijagram F/Δl:

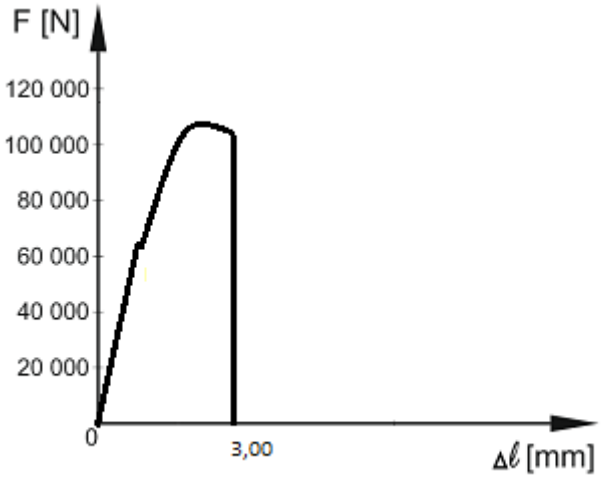
$$S_0 = \frac{d_0^2\pi}{4} = \frac{14^2\pi}{4} = 153{,}86\ mm^2$$

$$\Delta l = 73 - 70 = 3\ mm$$

$$R_e = \frac{69000}{153{,}86} = 448\ N/mm^2$$

$$R_m = \frac{10500}{153{,}86} = 668\ N/mm^2$$

$$A = \frac{73 - 70}{70} \cdot 100\% = 4{,}2\ \%$$



Slika 33. Dijagram kidanja za epruvetu 5

U tablici 9. prikazani su zahtjevani parametri za epruvete od nodularnog lijeva NL 700-2 i utvrđeni rezultatima ispitivanja za epruvete od norudlarnog lijeva NL 700-2.

Tablica 9. Utvrđeni parametri za epruvete od nodularnog lijeva NL 700-2 i rezultati ispitivanja

EPRUVETA	ZAHTJEVANO	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5
PROMJER EPRUVETE, d_0 (mm)	-	Ø14	Ø14	Ø14	Ø14	Ø14
S_0 (mm^2)	-	153,86	153,86	153,86	153,86	153,86
SILA TEČENJA, F_e (N)	-	96 000	69 000	69 000	85 000	69 000
MAKSIMALNA SILA, F_m(N)	-	112 500	83 000	101 500	113 000	107 500
GRANICA RAZVLAČENJA, R_e (N/mm^2)	420 min.	623	448	448	552	448
VLAČNA ČVRSTOĆA, R_m (N/mm^2)	700 min.	731	539	659	734	698
L_0 (mm)	-	70	70	70	70	70
L_1 (mm)	-	74	71,4	73	74,5	73
ΔL (mm)	-	4	1,4	3	4,5	3
ISTEZANJE, A_5 (%)	2 min.	5,7	2	4,2	6,4	4,2

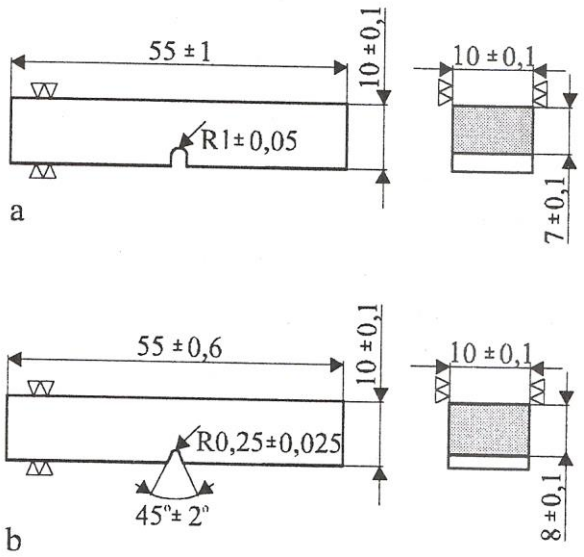
8.4. ISPITIVANJE UDARNOG RADA LOMA (ŽILAVOSTI)

Određivanje udarnog rada loma ispitnog uzorka spada među najstarija mehanička ispitivanja materijala i služi za određivanje njegove otpornosti prema krhkome lomu. Rezultati ispitivanja vrlo su uporabljivi za namjenu materijala u eksploatacijskim uvjetima.[1] Ovakva se ispitivanja izvode na ispitnim uzorcima (epruvetama) na Charpyevom uređaju ili batu, prikazano na slici 34.



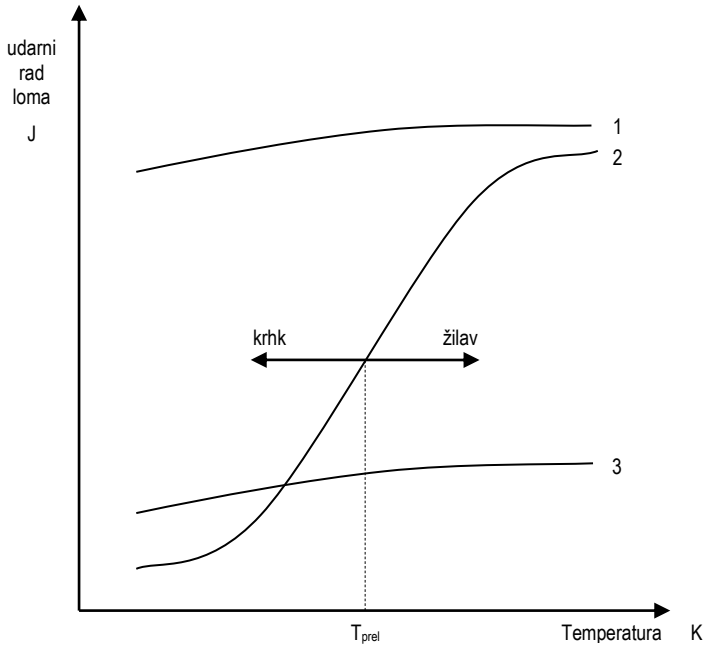
Slika 34. Charpyev bat

Udarni rad loma metalnih materijala određuje se na standardiziranim uzorcima kvadratnog ili pravokutnog poprečnog presjeka s urezanim zarezom “V” ili “U” oblika (slika 35.), a označava se K(U) ili K(V). [8]



Slika 35. Oblik i dimenzija epruvete za ispitivanje udarnog rada loma [9]

Obzirom da kod velikog broja konstrukcijskih čelika ispitna temperatura bitno utječe na udarni rad loma, ispitivanje se često provodi pri sniženim temperaturama. Utjecaj temperature ispitivanja na iznos udarne radnje loma prikazano je slikom 36.

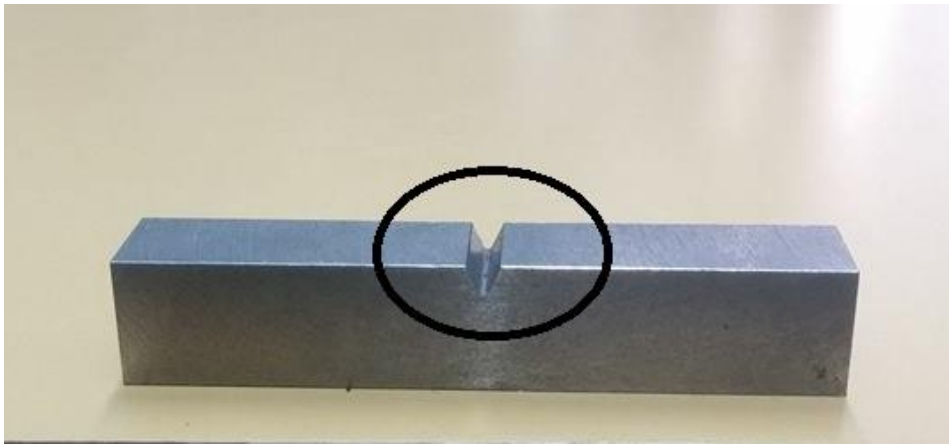


Slika 36. Utjecaj temperature ispitivanja na udarni rad loma za različite materijale [1]

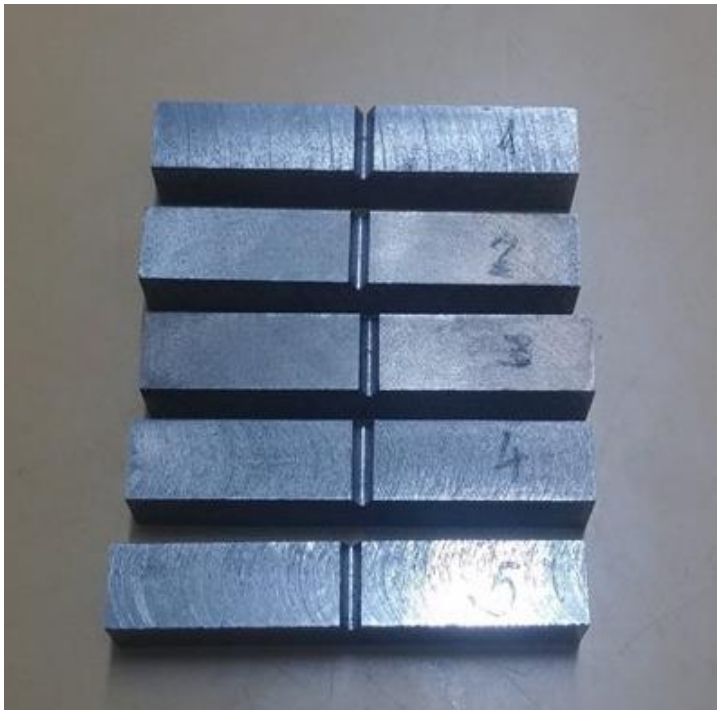
Dijagram prikazan slikom 36., prikazuje različite krivulje temeprature za pojedine materijale. Tako krivulja (1) prikazuje legure metala s FCC rešetkom, krivulja (2) prikazuje legure metala s BCC rešetkom, dok krivulja (3) prikazuje visokočvrste materijale. Također na dijagramu je prikazana i prijelazna temperatura (T_{prel}) na kojoj materijal prelazi iz žilavog u krhko stanje.

U ekperimentalnom dijelu rađeno je pet ispitivanja, a proces ispitivanja kao i rezultati biti će prikazani u nastavku.

Slika 37. prikazuje epruvetu s "V" utorom koja je korištena za ispitivanje udarnog rada loma, dok slika 38. prikazuje 5 epruveta napravljenih od NL 700-2 koje su korištene za ispitivanje.



Slika 37. Eruveta s "V" utorom



Slika 38. Epruvete za ispitivanje udarnog rada loma



Slika 39. Namještanje epruvete



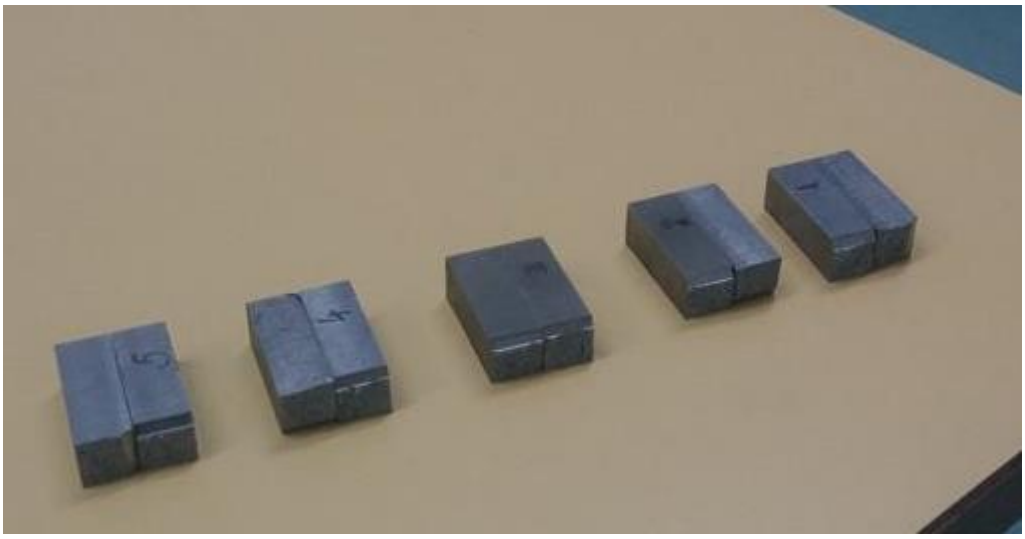
Slika 40. Namještena epruveta



Slika 41. Charpyev bat prije ispitivanja



Slika 42. Očitanje rezultata



Slika 43. Epruvete nakon pucanja

Slika 39. prikazuje namještanje epruvete, slika 40. prikazuje kako epruveta mora biti namještena prije ispitivanja, slika 41. prikazuje položaj Charpyeva bata prije ispitivanja. Rezultati se očitavaju na skali uređaja prikazano na slici 42.

Slika 43. prikazuje izgled epruvete nakon postupka ispitivanja udarnog rada loma na Charpyevom batu.

8.4.1. REZULTATI ISPITIVANJA

Tablica 10. prikazuje rezultate ispitivanja udarnog rada loma. Srednja vrijednost ispitivanih epruveta na udarni rad loma iznosi 5,5 J.

Tablica 10. Rezultati ispitivanja udarnog rada loma

ZNAČAJKE ISPITIVANJA	Udarni rad loma, KV [J] 20 ˚C				
	EPRUVETA 1	EPRUVETA 2	EPRUVETA 3	EPRUVETA 4	EPRUVETA 5
ZAHTJEVANO	-	-	-	-	-
UTVRĐENO	5	5	6	6	5,5

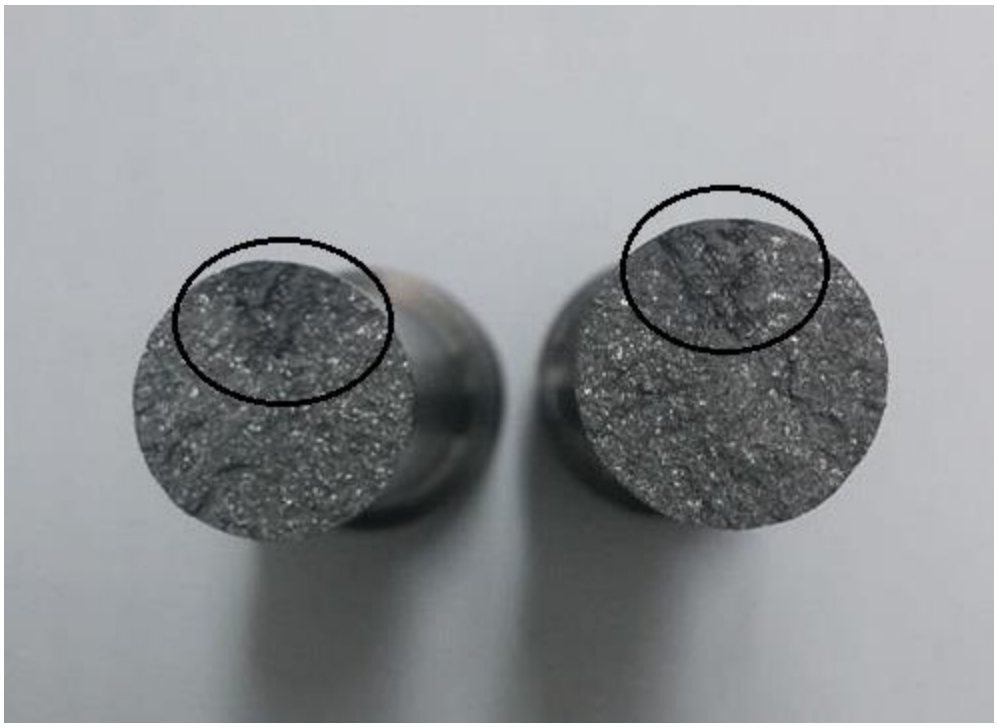
9. ANALIZA REZULTATA

Prilikom statičkog vlačnog pokusa dijagrami pokazuju ovisnost sile i produljenja. Međusobni omjer sile elastičnosti(tečenja) i površine poprečnog presjeka daje nam granicu razvlačenja, što je granično naprezanje koje dijeli elastično područje od plastičnog. Od te točke epruveta se znatno deformira i počinje teći.

Najmanji iznos granice razvlačenja imale su epruvete 2-2, 3-3 i 5-5 i one su iznosile R_e=448 N/mm^2, što znači da su zadovoljile zahtjevani uvjet granice razvlačenja s obzirom da je kod nodularnog lijeva NL 700-2 ona trebala iznositi minimalno 420 N/mm^2, ali s obzirom da svi parametri tijekom ispitivanja moraju biti zadovoljeni smatra se da ove epruvete nisu zadovoljile ispitivanje, jer nisu ispunile minimalni zahtjevani uvjet vlačne čvrstoće.

Prema normi nodularni lijev NL 700-2, ima garantiranu vlačnu čvrstoću od R_m=700 N/mm^2 i istezljivost od minimalno 2% može se zaključiti da su te uvjete zadovoljile samo epruvete 1-1 i 4-4, što je i vidljivo iz tablice 9..

Na epruveti 1-1 i 3-3 vidljivo je da su one pukle u samom navoju, a do toga je došlo jer je prilikom strojne obrade došlo do krive obrade navoja, dok je na presjeku epruvete 4-4 koja je prikazana slikom 44. vidljivo da postoji greška u materijalu.



Slika 44. Greška u materijalu

10. ZAKLJUČAK

U radu na temu Svojstva željeznih ljevova nakon teorijskog dijela proveden je i eksperimentalni dio u kojemu su se dobiveni rezultati usporedili sa očekivanim. Naglasak je bio na nodularnom lijevu, s obzirom da se za ispitivanje koristio materijal NL 700-2 (EN-GJS-700-2).

Statičnim vlačnim pokusom ispitivanje se vršilo na epruvetama okruglog poprečnog presjeka od nodularnog lijeva NL 700-2. Normom su propisana svojstva koja zahtjevaju da minimalna vlačna čvrstoća za nodularnii lijev iznosi R_m= 700 N/mm^2, a istezljivost A_5=2%. Usporedbom dobivenih rezultata s vrijednostima koje su propisane normom zaključeno je da svih pet epruveta ne zadovoljava po pitanju vlačne čvrstoće, granice razvlačenja i istezanja. Epruvete 1-1 i 4-4 zadovoljile su zahtjevane uvjete, dok epruvete 2-2, 3-3 i 5-5 nisu zadovoljile. Ispitivanjem udarnog rada loma utvrđena je srednja vrijednost od 5,5 J, što je uobičajeno za nodularni lijev.

Tijekom eksperimentalnog dijela vidljivo je da prilikom izrade epruveta treba biti pažljiv, jer i mala pogreška dovodi do toga da epruveta puca u navoju, što može dovesti do krivih rezultata ispitivanja, a time i velikih financijskih problema tvrtke. U slučaju da epruveta pukne u navoju, ti rezultati se ne mogu uzeti u obzir, nego tvrtka mora poslati novu epruvetu na ispitivanje.

LITERATURA

[1] Filetin, T., Kovačiček F., Indof J.: Svojstva i primjena materijala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
[2] http://brod.sfsb.hr/~ikladar/SISM/Uvod_Metastabilni%20Fe-C%20dijagram.pdf
[3] Novosel,M., Krumes,D.: Željezni materijali (metalografske osnove i tehnička primjena željeznih ljevova), Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 1997.
[4] http://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1396606171-0-fe-ljevovi_2012.pdf
[5] http://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%8Celi%C4%8Dni_lijev
[6] http://hr.wikipedia.org/wiki/Sivi_lijev
[7]https://www.google.hr/search?q=nodularni+lijev&client=firefoxa&hs=Kjl&rls=org.mozilla:enUS:official&channel=sb&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=ZuXJVNuNDsqrUaGQg-gH&ved=0CDYQsAQ&biw=1920&bih=915
[8]Irena Žmak:Modeliranje strukture i svojstva nodularnog lijeva neuronskim mrežama, doktorski rad.
[9] https://www.google.hr/?gfe_rd=cr&ei=EkEpVcz4Ccua-gbAjoDoCQ&gws_rd=ssl#q=prijelazna+temperatura

PRILOZI

Prilog 1. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

CRS HRN EN ISO 9001:2009

IZVJEŠĆE / REPORT

Broj/No: LMT.2015.A.018

LABORATORIJ ZA MATERIJALE I TOPLINSKU OBRADU
LABORATORY FOR MATERIAL TESTING AND HEAT TREATMENT

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA / REPORT ABOUT MATERIALS TESTING

Radni nalog Work order	-	Naručitelj Purchaser	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža Drawing No.	-	Narudžba br. Order No.	-
Materijal Material	**NL 700-2 (EN-GJL-700-2)**	Količina Quantity	5 x vlačna čvrstoća
Norma Standard	HRN EN 1561	Tehnički propis Technical Specifications	-
Broj šarže Cast No.	-	Broj probe Test piece No.	**1;2;3;4;5**
Dimenzija Dimension	-	Toplinska obrada Heat treatment	Lijevano stanje
Predmet Object	Probni uzorci		

MEHANIČKA SVOJSTVA / MECHANICAL PROPERTIES

Značajke ispitivanja Test mark	Dimenzija epruvete [mm] Dimension test piece	Napon tečenja Re [N/mm^2] Yield Stress	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm^2] Tensile strenght	Izduženje A [%] Elongation	Kontrakcija Z [%] Contraction	Udarni rad loma KU [J] 20°C Impact energy	Tvrdoća HV Hardness value	Savijanje Bending
Zahtjevano In accordance	Ø 14	420 min.	700 min.	2 min.				
Utvrđeno Realized 1	Ø 14	**96 000 623**	**112 500 731**	**74 5,7**				
Utvrđeno Realized 2	Ø 14	**69 000 448**	**83 000 539**	**71,4 2**				
Utvrđeno Realized 3	Ø 14	**69 000 448**	**101 500 659**	**73 4,2**				
Utvrđeno Realized 4	Ø 14	**85 000 552**	**113 000 734**	**74,5 6,4**				
Utvrđeno Realized 5	Ø 14	**69 000 448**	**107 500 698**	**73 4,2**				

Primjedba:
Remark:

Ispitivanje epruveta materijala NL 700-2 za potrebe završnog rada Dinota Domića.

Datum/Date:	Ispitao/Examined:	Odobrio/Approved:	Nadzor/Supervision:
16-03-2015	Nikola Sonički, dipl.ing. Ana Fudurić, bacc.ing.mech.	Marijan Brozović, dipl.ing.	

17.3.2015. T9:29 AM QO 7.5-08-3, izmj. 3 Josipović

Prilog 2. Rezultati ispitivanja udarnog rada loma

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

CRS HRN EN ISO 9001:2009

IZVJEŠĆE / REPORT

Broj/No: LMT.2015.A.009

LABORATORIJ ZA MATERIJALE I TOPLINSKU OBRADU
LABORATORY FOR MATERIAL TESTING AND HEAT TREATMENT

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA / REPORT ABOUT MATERIALS TESTING

Radni nalog Work order	Za potrebe izrade završnog rada	Naručitelj Purchaser	Veleučilište u Karlovcu
Broj crteža Drawing No.	-	Narudžba br. Order No.	
Materijal Material	**NL 700-2**	Količina Quantity	5 epruveta na žilavost
Norma Standard	-	Tehnički propis Technical Specifications	-
Broj šarže Cast No.	-	Broj probe Test piece No.	-
Dimenzija Dimension	-	Toplinska obrada Heat treatment	-
Predmet Object	Probne epruvete		

MEHANIČKA SVOJSTVA / MECHANICAL PROPERTIES

Značajke ispitivanja Test mark	Dimenzija epruvete [mm] Dimension test piece	Napon tečenja Re [N/mm^2] Yield Stress	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm^2] Tensile strenght	Izduženje A [%] Elongation	Kontrakcija Z [%] Contraction	Udarni rad loma KU [J] 20°C Impact energy	Tvrdoća HV Hardness value	Savijanje Bending
Zahtjevano In accordance								
Utvrđeno Realized 1)						**5**		
2)						**5**		
3)						**6**		
4)						**6**		
5)						**5.5**		

Primjedba:
Remark:

Ispitivanje 5 epruveta na žilavost za potrebe izrade završnog rada na temu Svojstva željeznih ljevova studenta Dinota Domića.

Datum/Date:	Ispitao/Examined:	Odobrio/Approved:	Nadzor/Supervision:
2015-02-17	Ana Fudurić, bacc.ing.mech.	Marijan Brozović, dipl.ing.	