

# Svojstva i primjena nodularnog lijeva pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike

---

**Pralas, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:702664>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-06**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA OSIJEK  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Pralas

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**Svojstva i primjena nodularnog lijeva pri izradi dijelova  
poljoprivredne tehnike**

Završni rad

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Pralas

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**Svojstva i primjena nodularnog lijeva pri izradi dijelova  
poljoprivredne tehnike**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Dr.sc. Ivan Vidaković
2. Prof.dr.sc. Goran Heffer
3. Goran Pačarek, mag.ing.mech.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Završni rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Marko Pralas

### **Svojstva i primjena nodularnog lijeva pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike**

#### **Sažetak:**

Nodularni lijev je vrsta lijevanog željeza s grafitom unutar svog sastava. Dobija se dodavanjem magnezija u rastaljeno željezo. Magnezij uzrokuje kristalizaciju grafita što dovodi do pojave kuglica. Nodularni lijev karakterizira visoka čvrstoća, žilavost, istezljivost, dinamička izdržljivost te otpornost na trošenje. Zbog ovih karakteristika često se koristi u izradi poljoprivrednih strojeva i uređaja. Proizvodnja nodularnog lijeva od njegovog otkrića prije 60-ak godina kontinuirano raste, a s vremenom se nastoje poboljšati proizvodni postupci i primijeniti nove metode i modeli računalnih simulacija, kako bi se smanjili troškovi i smanjio udio škartnih odljevaka.

**Ključne riječi:** nodularni lijev, primjena, svojstva, zavarivanje, toplinska obrada, poboljšani nodularni lijev

25 stranica, 24 slika, 14 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Jurja Strossmayer University in Osijek

BSc Thesis

Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek

Undergraduate university study Agriculture, course Mehanization

Marko Pralas

### **Properties and application of nodular cast iron in the production of parts agricultural techniques**

#### **Summary:**

Nodular cast iron is a type of cast iron with graphite in its composition. It is obtained by adding magnesium to molten iron. Magnesium causes crystallization of graphite, which leads to the appearance of balls. Nodular cast iron is characterized by high strength, toughness, extensibility, dynamic durability and wear resistance. Because of these characteristics, it is often used in the production of agricultural machines and devices. The production of nodular cast iron has been continuously growing since its discovery about 60 years ago, and over time efforts are being made to improve production procedures and apply new methods and computer simulation models, in order to reduce costs and reduce the proportion of scrap castings.

**Keywords:** nodular cast iron, application, properties, welding, heat treatment, improved nodular cast iron

25 pages, 24 pictures, 14 references

BCs Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. NODULARNI LIJEV</b> .....	2
2.1. Koraci u proizvodnji nodularnog lijeva .....	2
2.1.1. Desumporizacija.....	2
2.1.2. Nodulizacija .....	2
2.2. Mikrostruktura nodularnog lijeva .....	2
2.2.1. Feritni nodularni lijev.....	2
2.2.2. Perlitni nodularni lijev .....	3
2.2.3. Austenitni nodularni lijev.....	3
2.3. Toplinska obrada nodularnog lijeva.....	4
2.3.1. Žarenje za redukciju napetosti .....	4
2.3.2. Grafitizacijsko žarenje za postizanje feritne strukture .....	4
2.3.3. Normalizacija .....	4
2.3.4. Poboľšavanje nodularnog lijeva .....	4
2.3.5. Površinsko kaljenje .....	4
2.4. Nečistoće nastale u taljevini izazvane kemijskim reakcijama .....	5
2.4.2. Sprječavanje nastanka nečistoća .....	6
2.4.6. Žilavost nodularnog lijeva .....	6
<b>3. SVOJSTVA I VRSTE NODULARNOG LIJEVA</b> .....	8
<b>4. ZAVARIVANJE NODULARNOG LIJEVA</b> .....	9
4.1. Zavarivanje nodularnog lijeva na toplo .....	9
4.2. Zavarivanje nodularnog lijeva na hladno.....	9

<b>5. PRIMJENA NODULARNOG LIJEVA PRI IZRADI POLJOPRIVREDNE TEHNIKE</b>	11
5.1. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi glavčine kotača i osovine	11
5.2. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi ovjesa upravljačke ruke	12
5.3. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi motičica radnih strojeva	12
5.4. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi klipnjače	13
5.5. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi turbopunjača	14
5.6. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi ispušne grane	15
<b>6. PRIMJENA NODULARNOG LIJEVA PRI IZRADI ZUPČANIKA</b>	16
6.1. Prednosti i nedostaci zupčanog prijenosa	16
6.2. Postupak izrade zupčanika od nodularnog lijeva	17
6.2.1. Glodanje	17
6.2.3. CNC glodalice	18
6.2.4. Blanjanje	19
6.3. Provlačenje	21
6.3.1. Alati za provlačenje	22
6.3.2. Provlačilice	23
<b>7. ZAKLJUČAK</b>	24
<b>8. POPIS LITERATURE</b>	25

## 1. UVOD

„Nodularni lijev je vrsta lijevanog željeza s grafitom unutar svog sastava. Dobija se dodavanjem magnezija u rastaljeno željezo. Magnezij uzrokuje kristalizaciju grafita što dovodi do pojave kuglica. Nodularni lijev karakterizira visoka čvrstoća, žilavost, istezljivost, dinamička izdržljivost te otpornost na trošenje. Zbog ovih karakteristika često se koristi u izradi poljoprivrednih strojeva i uređaja“ (Vuković, 2009.).

Proizvodnja nodularnog lijeva od njegovog otkrića prije 60-ak godina kontinuirano raste, a s vremenom se nastoje poboljšati proizvodni postupci i primijeniti nove metode i modeli računalnih simulacija, kako bi se smanjili troškovi i smanjio udio škartnih odljevaka (Žmak, 2009.)

Cilj ovog Završnog rada je prikazati svojstva i tehnološke karakteristike nodularnog lijeva s naglaskom na njegovu primjenu prilikom izrade dijelova poljoprivredne tehnike.

## **2. NODULARNI LIJEV**

### **2.1. Koraci u proizvodnji nodularnog lijeva**

#### 2.1.1. Desumporizacija

Sumpor negativno utječe na stvaranje grafitne strukture. Kako bi se dobilo željezo sa što manjim udjelom sumpora provodi se postupak kaljenja unutar velikih peći (<https://proizvodno-strojarstvo.blogspot.com/2011/07/nodularni-zilavi-lijev.html>).

#### 2.1.2. Nodulizacija

Dodavanjem magnezija smanjuje se sadržaj sumpora i kisika, a pospješuje stvaranje grafitne kugličaste strukture.

Tvar dobivena od specijalnog sirovog željeza tali se unutar elektropeći, a taljevina se obrađuje globulatorima koji pomažu oblikovanju grafita u kuglice. Taljevina se zatim ulijeva u pješčane kalupe (<https://proizvodno-strojarstvo.blogspot.com/2011/07/nodularni-zilavi-lijev.html>).

### **2.2. Mikrostruktura nodularnog lijeva**

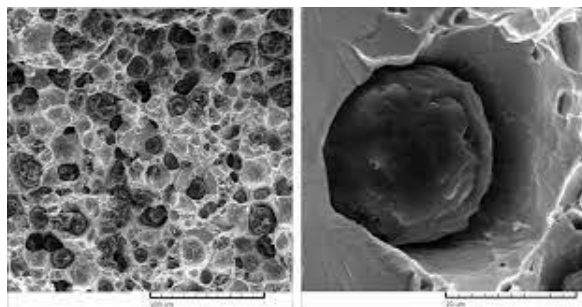
- FERITNA (mala čvrstoća, velika istezljivost)
- PERLITNA (velika čvrstoća, mala istezljivost)
- FERITNO – PERLITNA
- AUSTENITNA

#### 2.2.1. Feritni nodularni lijev

Žilavost nodularnog lijeva usko je povezana s mikrostrukturom, tj. oblikom izlučenog grafita i strukturom metalne osnove. Sadržani degenerirani oblici grafita ili eventualno vermikularni ili listićavi grafit negativno utječu na žilavost nodularnog lijeva. S porastom udjela ferita u metalnoj osnovi raste žilavost nodularnog lijeva. Udio ferita u metalnoj osnovi nodularnog lijeva ovisi o kemijskom sastavu, brzini hlađenja tijekom skrućivanja i naknadne pretvorbe u krutom stanju te



volumnom udjelu i broju grafitnih nodula po jedinici površine (Novosel i Krumes, 1997.). Na slici 1 prikazana mikrostruktura feritnog nodularnog lijeva.



Slika 1. Mikrostruktura feritnog nodularnog lijeva

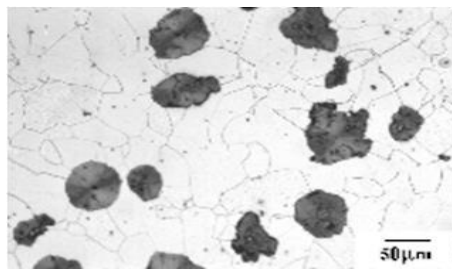
(Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/63695>)

### 2.2.2. Perlitni nodularni lijev

Perlitna struktura dobiva se kombinacijom ugljika i silicija, dok se potpuno perlitna struktura dobiva toplinskom obradom ili legiranjem. Kako bi se stabilizirala perlitna struktura, u potpuni perlit se dodaje 1,5% mangana (Novosel i Krumes, 1997.).

### 2.2.3. Austenitni nodularni lijev

Legiranjem uz pomoć kroma ili nikla dobiva se austenitna struktura nodularnog lijeva. Krom sadrži najveći broj austenitnih lijevova pa takvi lijevovi sadrže malo karbida. Pošto je austenit glavna masa metala, takvi se metali lako obrađuju. U usporedbi sa sivim lijevom, nodularni lijev ima veću čvrstoću, žilavost i savitljivost, dok su savitljivost i čvrstoća veće nego kod kovkastog lijeva, no zbog visokog sadržaja silicija žilavost je manja (Novosel i Krumes, 1997). Na slici 2, prikana je mikrostruktura nodularnog lijeva s feritnom matricom.



Slika 2. Mikrostruktura nodularnog lijeva s feritnom matricom

(Izvor: <http://proizvodno-strojarstvo.blogspot.com/2011/07/nodularni-zilavi-lijev.html>)

### 2.3. Toplinska obrada nodularnog lijeva

U nastavku će biti pojašnjene faze toplinske obrade za postizanje željenih svojstava odljevaka izrađenih od nodularnog lijeva.

#### 2.3.1. Žarenje za redukciju napetosti

Uslijed postupka lijevanja, odnosno, hlađenja odljevaka dolazi do pojave napetosti u strukturi te je stoga potrebno provesti dodatnu toplinsku obradu, kako bi se te napetosti uklonile. Odljevci (kako je prikazano na slici 3) se zagrijavaju na temperature od 550 - 600 °C, i na takvim temperaturama drže od 2 - 4 h. Nakon toga slijedi hlađenje u peći, a žarenjem se reducira 80 – 90 % napetosti (Vuković, 2009.)

#### 2.3.2. Grafitizacijsko žarenje za postizanje feritne strukture

Feritna struktura se postiže žarenjem. Snizuju se vlačna čvrstoća i otpornost na trošenje, a poboljšava obrada odvajanjem čestica. (Vuković, 2009.)

#### 2.3.3. Normalizacija

Toplinska obrada normalizacije odljevka dovodi do povećanja granice razvlačenja Rp0.2 za 40 % te s time dolazi i do povećanja otpornosti na trošenje. (Vuković, 2009.)

#### 2.3.4. Poboljšavanje nodularnog lijeva

Toplinskom obradom poboljšavanja nodularnog lijeva postiže se povećanje otpornosti na trošenje, ostvaruje se odgovarajuća tvrdoća, čvrstoća i žilavost te u konačnici visoka vrijednost granice razvlačenja. (Vuković, 2009.)

#### 2.3.5. Površinsko kaljenje

Kako bi se dobila žilava jezgra s tvrdom i na trošenje otpornom površinom dijelova izrađenih od nodularnog lijeva, potrebno je provesti površinsko kaljenje. Kaljenje se odvija na temperaturama od 950 - 1110°C, a gašenje se obavlja u vodi ili ulju. (Džinić, 2019.) Na slici 3, prikazan je postupak toplinske obrade žarenja dijela izrađenog od nodularnog lijeva.



Slika 3. Toplinska obrada žarenja  
(Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Žarenje>)

#### **2.4. Nečistoće nastale u taljevini izazvane kemijskim reakcijama**

U odljevcima nodularnog lijeva nastaju greške poznate kao nečistoće.

Nečistoće se dijele u 3 grupe :

1. Nečistoće nastale u taljevini izazvane nizom kemijskih reakcija
2. Čestice pijeska
3. Čestice troske

Endogene čestice su nečistoće koje nastaju kemijskim reakcijama unutar taljevine. Egzogeni materijali su čestice pijeska i troske koje zahvaćaju taljevinu pri ljevanju.

Nečistoće nastale u taljevini kemijskim reakcijama većinom sadrže ravne listiće oksida. Listići oksida stvaraju se tijekom manipulacije pri izloženosti taline kisiku. Glavna razlika u nečistoćama je ta što čestice troske sadrže kalcijev oksid – CaO. (Filetin, 2002.)

Nečistoće nastale u taljevini imaju štetan utjecaj na mehanička svojstva. Mogu uzrokovati prijevremene lomove te smanjiti dinamičku čvrstoću i otpornost na udar. Istraživanja pokazuju da se otpornost na udar smanjuje do 50% , a dinamička čvrstoća od 20 – 50 % . (Filetin, 2002.)

#### 2.4.2. Sprječavanje nastanka nečistoća

Pomoću kemijskog sastava taljevine (udjelu Mg, Si, S), temperaturi taljevine i izloženosti kisiku, računalno se može odrediti količina nečistoće. Nečistoće je gotovo nemoguće izbjeći. One će najviše ovisiti o izloženosti kisiku, pa se tako lijevanjem na višim temperaturama smanjuje mogućnost njihova nastanka.

#### 2.4.5. Svojstva nodularnog lijeva

Neka od svojstava nodularnog lijeva su sljedeća:

1. Bolja svojstva od sivog lijeva, ali slabija od čeličnog
2. Laka zavarljivost
3. Visoka vlačna čvrstoća i dinamička izdržljivost
4. Dobro se ponašaju u obradi odvajanjem čestica
5. Visok modul elastičnosti

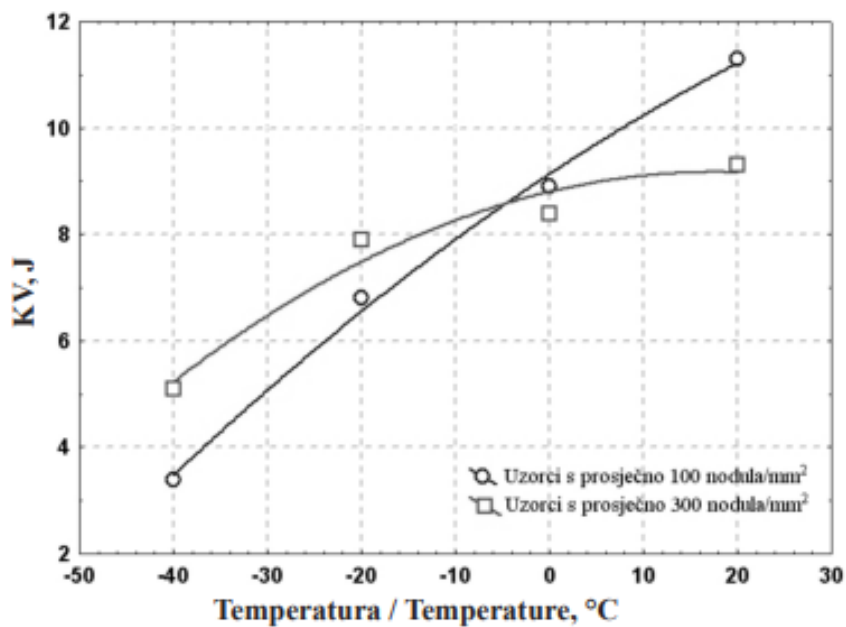
#### 2.4.6. Žilavost nodularnog lijeva

Žilavost nodularnog lijeva usko je povezana s mikrostrukturom, odnosno oblikom, raspodjelom i veličinom izlučenog grafita te strukturom metalne osnove (udio ferita, odnosno perlita). Povećanjem broja nodula/mm<sup>2</sup> povećava se udio ferita u metalnoj osnovi, što pozitivno utječe na porast žilavosti nodularnog lijeva.

Žilavost feritnog nodularnog lijeva općenito opada sa sniženjem temperature ispitivanja (slika 4.). Prijelazna temperatura žilavo/krhko snižava se s povećanjem broja nodula/mm<sup>2</sup>.

Pri temperaturama 20 °C i 0 °C, žilavost feritnog nodularnog lijeva raste s porastom broja nodula/mm<sup>2</sup> do određenog maksimuma, nakon čega daljnji porast broja nodula/mm<sup>2</sup> utječe na pad žilavosti. Kod uzoraka feritnog nodularnog lijeva koji sadrže ~ 200 nodula/mm<sup>2</sup> ostvarene su najviše vrijednosti žilavosti. U tim slučajevima prisutan je karakteristični jamičasti duktilni prijelom. Kod niskih temperatura (- 20 °C i - 40 °C) žilavost konstantno raste s porastom broja nodula/mm<sup>2</sup>.

Broj nodula/mm<sup>2</sup> je važna mikrostrukturna značajka čije je vrijednosti potrebno prilagoditi uvjetima primjene odljevaka, što zahtijeva striktnu kontrolu nukleacijskog potencijala taljevine putem predobrade i cijepljenja. (Unkić i sur., 2008.)

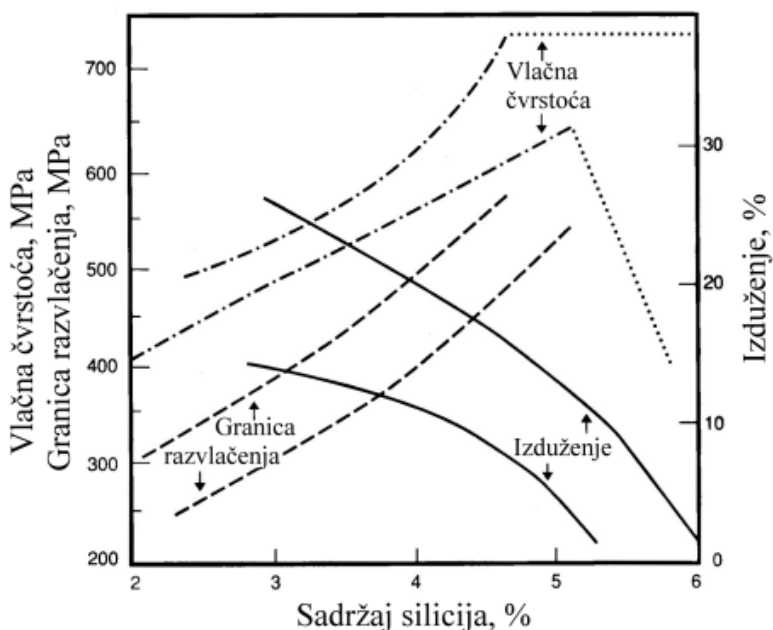


Slika 4. Ovisnost udarne radnje loma o temperaturi i broju nodula/mm<sup>2</sup> kod taljevina feritnog nodularnog lijeva

(Izvor: Unkić i sur. 2008)

### 3. SVOJSTVA I VRSTE NODULARNOG LIJEVA

Vrijednosti svojstava nodularnog lijeva nalaze se između svojstava čeličnog i sivog lijeva s tim da se nodularni lijev daje djelomično čak i toplo i hladno oblikovati (valjati, kovati, itd.). Stvar je u tome što je grafit kuglastog oblika, a kugla ima najmanju ploštinu pri konstantnom volumenu. Uz to grafitne kugle nisu u međusobnom dodiru, pa se grafit može smatrati kompaktnim, slično kao kod vermikularnog lijeva. Dobra mehanička svojstva nodularnog lijeva postižu se udešenim kemijskim sastavom, brižljivom kontrolom proizvodnoga postupka i dobro odabranom i vođenom toplinskom obradom (Novosel i Krumes, 1997.).



Slika 5. Utjecaj udjela silicija na granicu razvlačenja, vlačnu čvrstoću i istežljivost feritnog nodularnog lijeva pri sobnoj temperaturi

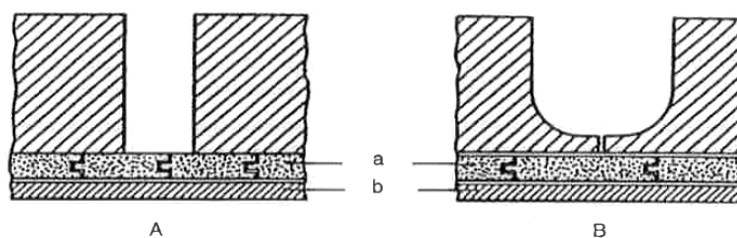
(Izvor: Kumer, 2019.)

## 4. ZAVARIVANJE NODULARNOG LIJEVA

Kao i kod ostalih odlijevaka, zavarivanju dijelova od nodularnog lijeva treba pristupiti s određenom dozom opreza. Pravila za zavarivanje identična su onima za sivi lijev, ali se razlikuje zavarivanje sa i bez predgrijavanja (Despetović ,2020). U nastavku rada opisat će se osnovne karakteristike postupaka zavarivanja nodularnog lijeva u toplom i hladnom stanju.

### 4.1. Zavarivanje nodularnog lijeva na toplo

Temperatura kojom se vrši zagrijavanje ovisi o potrebnoj tvrdoći u zoni utjecaja topline. Zagrijavanje se provodi ručno plinskim plamenom ili automatskim pećima za komade koji mogu ući u peć. Kod zavarivanja lomova i pukotina treba osigurati da talina ne prolazi kroz spoj. Shodno tome postavljaju se pločice za pridržavanje taline. ((Despetović ,2020). Na slici 5, prikazan je oblik pripreme žlijeba dijelova od nodularnog lijeva kod zavarivanja na toplo.



Priprema žlijeba za zavarivanje dijelova od sivog lijeva postupkom na toplo  
A – za zavarivanje plinskim plamenom; B – za zavarivanje REL postupkom;  
a – grafitne pločice; b – azbest

Slika 6. Oblik pripreme žlijeba i podloge za zavarivanje nodularnog lijeva na toplo

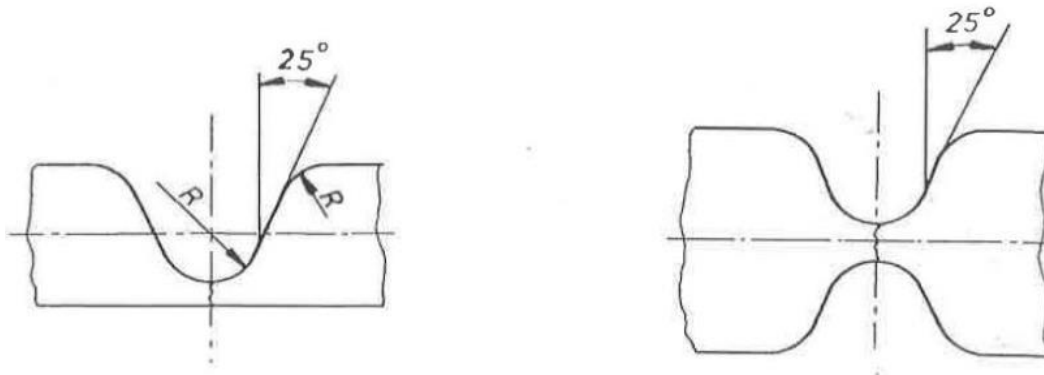
(Izvor: <https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6331/datastream/PDF/view>)

Ukoliko se zavarivanje na toplo provodi pri višim temperaturama predgrijavanja, poželjno ga je provesti bez prekida. Kada bi dolazilo do prekida povećavao bi se rizik od stvaranja pukotina. Kod spojeva zavarenih na ovakav način karakterističan je porast tvrdoće u zoni utjecaja topline te dodatni porast tvrdoće na području metala zavara (Despetović ,2020).

### 4.2. Zavarivanje nodularnog lijeva na hladno

U slučaju da je demontaža elemenata koje treba zavariti otežana, provodi se postupak zavarivanja bez predgrijavanja. Takav zavar ima lošija svojstva od predgrijanog spoja, ali je

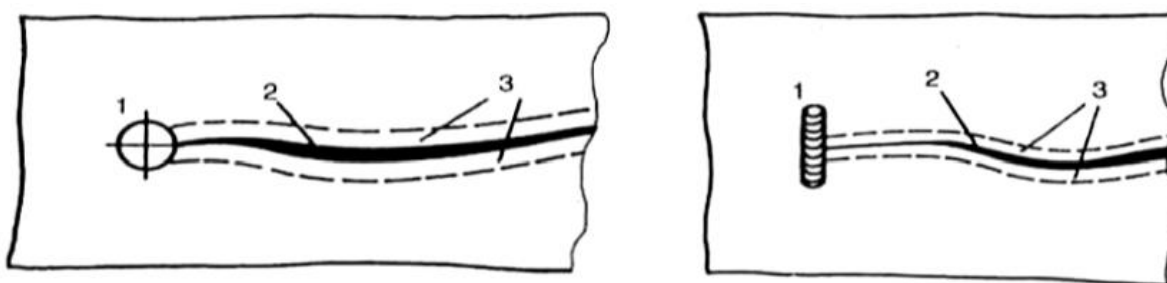
postupak izvođenja jednostavniji i jeftiniji. Kako ne bi došlo do nastanka pukotina zavarivanje se provodi od sredine prema krajevima, a priprema zavara je drugačija od pripreme za zavarivanje na toplo. (Despetović, 2020.)



Slika 7. Oblik i priprema žljeba za zavarivanje nodularnog lijeva na hladno

(Izvor: <https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6331/datastream/PDF/view>)

Ako se radi o zavarivanju pukotina na odljevcima, onda krajeve pukotina treba izbušiti ili izbrusiti i zavariti. Ovakav način pripreme zavara prikazan je na slici 7. Također, bitno je napomenuti da dodatni materijal kod zavarivanja bez predgrijavanja (na hladno) nije jednak osnovnom nego je dodatni materijal uglavnom na bazi nikla ili čisti nikl (Despetović, 2020.).



f. Način pripreme spoja za zavarivanje sivog lijeva na hladno

1 – Rupe ili zavari na krajevima pukotine radi sprečavanja njenog širenja; 2 – Pukotina;  
3 – Obrada žlijeba

Slika 8. Obrada krajeva pukotine

(Izvor: <https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6331/datastream/PDF/view>)



## 5. PRIMJENA NODULARNOG LIJEVA PRI IZRADI POLJOPRIVREDNE TEHNIKE

Zbog dobrog omjera težine i čvrstoće te također visoke otpornosti na trošenje, nodularni lijev koji je izrađen „Austempered“ metodom nalazi veliku primjenu pri izradi poljoprivredne tehnike. U nastavku rada, prikazat će se nekoliko primjera primjene nodularnog lijeva za izradu dijelova poljoprivredne tehnike.

### 5.1. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi glavčine kotača i osovine

Glavčina kotača prikazana je na slici 8 i predstavlja središnji dio rotacijskog strojnog elementa s otvorom za osovinu ili vratilo. Zbog povoljnog omjera čvrstoće i težine poboljšani nodularni lijev je popularan kod izrade glavčine kotača. Navedeni strojni elementi rotiraju se oko nje ili zajedno s njom uzrokujući opterećenje na savijanje. Kako nodularni lijev krasi velika čvrstoća i otpornost na trošenje, vrlo je čest materijal pri izradi (Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kota%C4%8D>).



Slika 9. Glavčina kotača

(Izvor: <https://www.autokreso.hr/>)

Također, jedan od razloga zašto je nodularni lijev pogodan za izradu glavčine kotača je taj što smanjuje mogućnost pojave kotrljajno-klizno-kontaktne zamora na osovinu na koju se postavlja. Na slici 9, prikazana je osovina kotača s glavčinom.



Slika 10. Osovina s glavčinom

(Izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/axle-shaft-12816738155.html>)

## 5.2. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi ovjesa upravljačke ruke

Ovjes predstavlja cjelokupni naziv za dijelove vozila koji će osigurati kretanje u željenom smjeru, a jedan od dijelova je upravljačka ručica. (Izvor: <https://www.pmf.unizg.hr>)

Na slici 10, prikazan je prilagođeni ovjes donje lijeve upravljačke ručice traktora marke John Deere, serije 8020. Prvobitna ideja kod izrade je bila kovanje čelika, međutim zbog čvrstoće, ljevljivosti te niske cijene izrade, kao primarni materijal se koristi poboljšani nodularni ljev.

(Kristin R. Brandenburg, Kathy L. Hayrynen (2002.))



Slika 11. Dio ovjesa traktora John Deere izrađen od nodularnog lijeva

(Izvor: <http://www.appliedprocess.com>)

## 5.3. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi motičica radnih strojeva

Bez obzira na stanje tla, u poljoprivredi se moraju poštovati određeni agrotehnički rokovi. Često ti rokovi zahtjevaju rad u vlažnom i zbijenom tlu zbog čega se koristi čvrsta oprema otporna na korozijske procese. Iz tog razloga nodularni ljev pronalazi primjenu u proizvodnji motičica podrivača, kultivatora te sjetvospremača.

Motičica, prikazana na slici 11 je radni elementi koji se najčešće nalazi na podrivačima, kultivatorima i sjetvospremačima koji služe za otvaranje brazde pri sjetvi, te za pokrivanje sjemena, prašenje i pljevenje. Radni element je manjih dimenzija pogodan za rad između biljaka u redu, a najčešće je list motičice trokutastog oblika (Barović, 2010).



Slika 12. Motičica za kultivator

(Izvor: <https://www.prillinger.at/hr/p/Hackschar-200-mm-anstelle-von-Steketee-GV200~00260138>)

#### 5.4. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi klipnjače

Klipnjača, prikazana na slici 12 je dio motora s unutrašnjim izgaranjem namijenjen prenošenju gibanja i mehaničke sile s klipa na koljenasto vratilo. Zbog konstantne promjene smjera gibanja unutar cilindra, razumljiva je promjena opterećenja na površini klipnjače. Tako se procjenjuje da 50 – 90 % od ukupnih kvarova na konstrukciji klipnjače uzrokuje umor izazvan učestalom promjenom opterećenja.

Kako što je prethodno navedeno , nodularni lijev krasi izrazita žilavost, otpornost na trošenje te povoljan omjer čvrstoće i težine zbog čega se sve veći broj inženjera odlučuje za primjenu nodularnog lijeva pri izradi klipnjače.



Slika 13. Klipnjača izrađena od poboljšanog nodularnog lijeva

(Izvor: <https://hubzin.hr/katalog-proizvoda/klipnjaca-fendt/>)

## 5.5. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi turbopunjača

Turbopunjač, prikazan na slici 13, je centrifugalni kompresor kojem je glavna uloga povećanje snage motora, a ugrađuje se u motore s prednabijanjem zraka. Primjena turbopunjača omogućuje izradu manjih motora u svrhu smanjenja emisija ugljikova dioksida. Manji motori s istom ili čak povišenom razinom snage kao posljedicu za sobom vuku višu razinu temperature ispušnih plinova. Postoje četiri dijela koja omogućavaju rad turbopunjača a to su: turbopunjač, intercooler, izlazni ventil (wastegate) i ECU. Sam turbopunjač podsjeća na puževu kućicu i sadrži dva usisa zraka. Kako je već gore navedeno jedan usis se odnosi na čisti zrak, a drugi na usis ispušnih plinova iz motora. Osim toga turbopunjač ima i dva različita impelera (stražnju turbinu i kompresor na prednjoj strani) te ispuh komprimiranog zraka koji ide do hladnjaka. Kod Dieselskih motora iznosi 850 °C dok je kod Otto motora oko 1050 °C. Korištenjem nodularnog lijeva s povećanim udjelom silicija i molidbena stvoren je feritni materijal izrazite čvrstoće, otpornosti na trošenje i visoke temperature. Na slici 13, prikazan je turbopunjač čije je kućište izrađeno od nodularnog lijeva (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Turbopuhalo>).



Slika 14. Turbopunjač s kućištem izrađenim od nodularnog lijeva  
(Izvor: <https://hr.eferrit.com/kako-turbopunjac-radi-na-motoru/>)

## 5.6. Primjena poboljšanog nodularnog lijeva pri izradi ispušne grane

U ispušnu se granu, prikazanu na slici 14, dovode se ispušni plinovi iz sva četiri cilindra (ili više, ovisno o motoru) te sabiru u jedan ispušni kanal odakle odlaze prema katalizatoru i prigušnicima. Budući da je ispušna grana izložena visokim temperaturama, kvar se većinom manifestira kao deformacija ili pukotina. Ukoliko se stvori pukotina na ispušnoj grani dolazi do podizanja razine buke te prodiranja ispušnih plinova u putnički prostor vozila što je štetno po zdravlje.

Ispušna grana je pričvršćena vijcima ili maticama na glavu motora i ispušnu cijev, a ti spojevi su zapečaćeni brtvama.



Slika 15. Ispušna grana i ispušni sustav

(Izvor: <https://golfmk1.info/viewtopic.php?f=19&t=269>)

## 6. PRIMJENA NODULARNOG LIJEVA PRI IZRADI ZUPČANIKA

Zupčani prijenos je danas najčešće u primjeni uz ostale prijenosnike snage. Osnovni element zupčanog prijenosnika je zupčanik. On prenosi snagu i okretni moment na način da je spregnut u zupčasti par. Zupčanici se izrađuju s različitim položajem osi, koje mogu biti paralelne, ukrštene, itd., od najmanjih do najvećih snaga. Koriste se i za visoke brojeve okretaja, te u širokom rasponu prijenosnih odnosa. Zupčanici se pri izradi poljoprivrednog traktora koriste kod mjenjača, diferencijala te bočnih prijenosnika, kao i na mnogim drugim priključnim strojevima i uređajima. Imaju veliku pogonsku sigurnost i dug vijek trajanja uz mogućnost kratkotrajnog preopterećenja. Održavanje je relativno jednostavno (Weissenbacher, 2009.). Zbog svojih dobrih mehaničkih svojstava, nodularni lijev se često koristi kao materijal za izradu zupčanika. U nastavku rad bit će opisani materijali i tehnologije za izradu zupčanika.

### 6.1. Prednosti i nedostaci zupčanog prijenosa

Prednosti:

- Visok stupanj djelovanja ( $\geq 0,98$ )
- Velika trajnost i izdržljivost
- Male dimenzije
- Mogu se upotrebljavati za prijenos od najmanjih do najvećih snaga, te od najmanje do najveće brzine vrtnje.

Nedostaci:

- Najskuplji od mehaničkih prijenosnika (osim pužnih)
- Vibracije i šumovi zbog krutog prijenosa okretnog momenta
- Zahtijeva se vrlo točna obrada

([https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/14 ZupcaniPrijenosnici.pdf](https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/14%20ZupcaniPrijenosnici.pdf))

## 6.2. Postupak izrade zupčanika od nodularnog lijeva

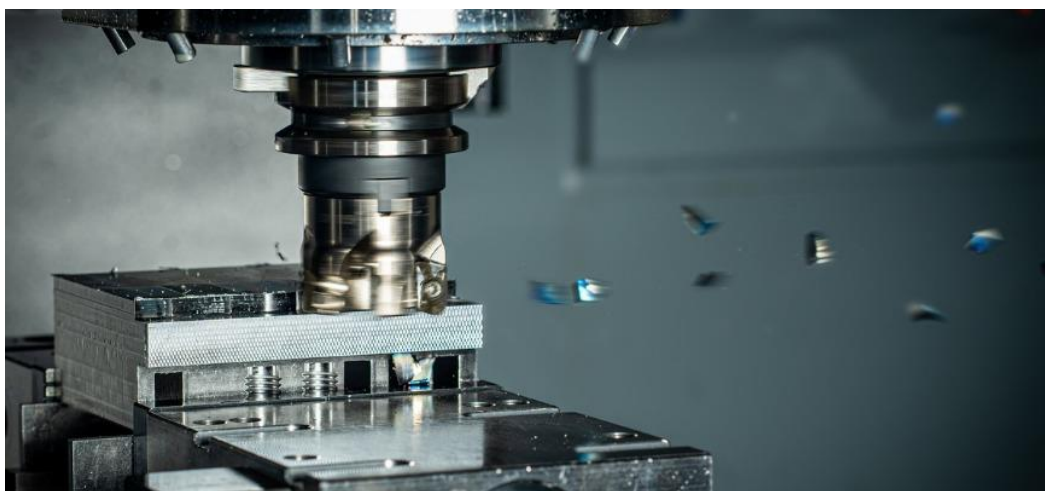
Prije postupka izrade zupčanika, u ljevaonici se izrađuje odlijevak od nodularnog lijeva dimenzija koje najbolje odgovaraju konačnom proizvodu (zupčaniku). Nakon izrade sirovog komada, pristupa se odabiru odgovarajuće tehnologije za izradu zupčanika te se propisuju koraci obrade (odabir stroja, potrebnih alata, vremena izrade, itd.). Kod izrade zupčanika, prevladava strojna obrada glodanja, ali se koriste i neke druge tehnologije, kao što su blanjanje i provlačenje. U nastavku rada, bit će pojašnjeni osnovni pojmovi vezani za navedene tehnologije.

### 6.2.1. Glodanje

Glodanje je postupak obrade u kojem se gibanjem alata skida čestica. Alati koji se većinom koriste u glodanju sadrže više jednakih oštrica ili se koriste tzv. sastavljeni alati. Kod sastavljenih alata, zubi glodala jedan za drugim dolaze u dodir s materijalom uzrokujući naglu promjenu opterećenja.

Prema kvaliteti obrađene površine glodanje se dijeli na grubo, završno i fino, dok se prema obliku obrađene površine dijeli na ravno, okretno, profilno, odvalno i oblikovno.

Glodalice koje se koriste u izradi zupčanika su horizontalne, vertikalne, planske, a najčešće su univerzalne, te CNC glodalice (Slade, 2004.).



Slika 16. Postupak glodanja

(Izvor: <https://www.laser-ing.hr/blog/glodanje-presjek-obrade-metala/>)

### 6.2.2. Univerzalne glodalice

Kod univerzalnih glodalica, glodalo se postavlja unutar horizontalnog vratila dok je obradak stegnut na radnom stolu koji se može gibati uzduž i poprijeko svoje osi. Takvo gibanje je omogućeno ugradnjom kružnih utora za vođenje.“ (Farkaš, 2018.) Na slici 16, prikazana je univerzalna glodalica.



Slika 17. Univerzalna glodalica  
(Izvor: Slade, 2004.)

### 6.2.3. CNC glodalice

CNC (Computer Numerical Control) glodalica je glodalica s CNC upravljanjem. CNC glodalica s automatskom izmjenom alata, pribora i obradaka naziva se još i glodaćim obradnim centrom. Glodaći obradni centri svojim izgledom podsjećaju na glodalice, ali ih mogućnostima nadmašuju (Farkaš, 2018.).

Neke od prednosti obradnih centara su:

- Smanjeno je glavno vrijeme i pomoćna vremena strojne obrade;



- Viša je točnost i kvaliteta obrade;
- Manji je udio ljudskoga rada u obradi

Na slici 17 prikazana je suvremena CNC glodalica.



Slika 18. CNC glodalica

(Izvor: <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/cnc-glodalica-xk7121-siemens-808d-cnc-controller>)

#### 6.2.4. Blanjanje

Blanjanje je postupak obrade odvajanjem čestica, a provodi se pomoću alatnih strojeva blanjalica. Blanjalice dijelimo na kratkohodne i dugohodne. Kod kratkodnih blanjalica alat (nož) izvodi glavno pravocrtno gibanje, dok obradak izvodi posmično gibanje i to neposredno po obavljenom povratnom hodu alata, a prije početka sljedećeg radnog hoda. Kod dugohodne blanjalice obradak izvodi glavno pravocrtno gibanje, a alat (nož) periodično posmično gibanje po završenom povratnom hodu obratka, a prije početka sljedećeg radnog hoda. (Škof V. (2008.)

Kod izrade cilindričnih zupčanika blanjanjem, najčešće se koriste *Fellows* i *Maag* metode. Kao alat kod *Fellows* metode koristi se kružni zupčasti nož koji izvodi glavno pravocrtno gibanje u

vertikalnom pravcu uz istovremeno pomoćno okretno gibanje s ciljem primicanja predmeta obrade i ostvarenja odgovarajuće dubine rezanja. Predmet obrade izvodi kontinuirano pomoćno okretno gibanje uz periodično pravocrtno radijalno gibanje. (Škof, 2008.).

*Maag* metoda izrade zupčanika podrazumijeva relativno kotrljanje uz primjenu ravnog nazubljenog noža u kojoj alat izvodi vertikalno pravocrtno gibanje, a predmet obrade pomoćno okretno i pravocrtno gibanje.

Pri izradi konusnih zupčanika blanjanjem, najčešća je *Oerlikon* metoda.

*Oerlikon* metoda izrade zupčanika predstavlja metodu kopiranja, kod koje je profil šablona uvećan u odnosu na profil zupčanika. Nož za blanjanje izvodi glavno pravocrtno gibanje dok šiljak kopira i osigurava naginjanje sustava uz šablon. Nakon izrade samog zupčanika provodi se postupak izotermičkog poboljšanja. Izotermičko poboljšavanje uključuje izlaganje zupčanika različitim temperaturnim nivoima u svrhu pokretanja izotermičkih pretvorbi. Izotermičke pretvorbe dovode do stvaranja gornjeg ili donjeg bainita zajedno sa zaostalim austenitom.

Kako bi se spriječilo štetno abrazivno djelovanje provodi se postupak hladnog deformiranja površine pod nazivom kugličarenje zupčanika (Škof, 2008.)

Na slici 18, prikazana je kratkohodna hidraulička blanjalica.

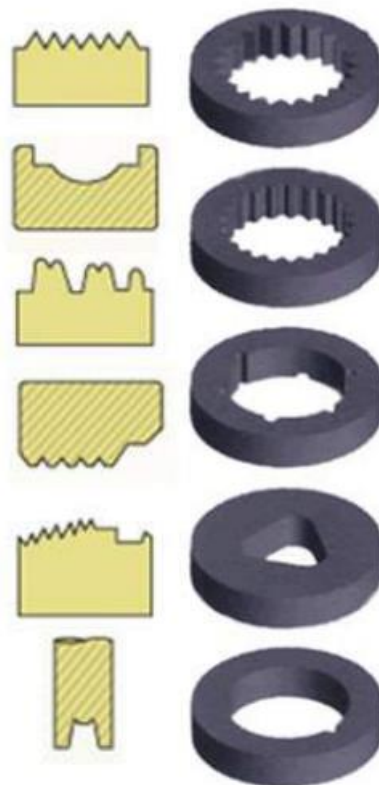


Slika 19. Kratkohodna hidraulička blanjalica

(Izvor: Slade, 2004.)

### 6.3 Provlačenje

Provlačenje je jedan od novijih postupaka u obradi odvajanjem čestice. Uspjeh ovog postupka proizvodnje je u visokoj kvaliteti obrade i dobroj produktivnosti. Kod obrade dubokih rupa te ravnih i spiralnih utora u njima ovaj postupak je nezamjenjiv. To je završna obrada. Glavno gibanje obavlja alat, dok posmičnog gibanja nema. Ako se provlači zavojnica, onda je glavno gibanje kombinirano – translacija i rotacija, dok posmaka i dalje nema (Slade, 2004.).



Slika 20. Primjeri obrađenih površina kod vanjskog i unutarnjeg provlačenja  
(Slade, 2004.)

### 6.3.1. Alati za provlačenje

Alati - ( izvlačila ili provlačila ) se razlikuju:

1. Za vanjsko - „motka“
2. Za unutarnje - „igle“

Alati za unutarnje provlačenja mogu biti:

1. Dugačke igle - vučeni alati (provlakači)
2. Kratke igle - potiskivani alati (probijači)

Alat za vanjska izvlačenja su motke koje također mogu biti vučene ili potiskivane. Alati za provlačenja se mogu sistematizirati na mnogo načina. Mogu se podijeliti i prema obliku na cilindrične, kvadratne, trokutaste, žljebaste, pravokutne... (Slade I., 2004.)



Slika 21. Dugačke igle (vučeni alati)  
(Slade, 2004.)



Slika 22. Kratke igle (potiskivani alati)  
(Slade, 2004.)

### 6.3.2. Provlačilice

Provlačilice su alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica koji rade bez posmičnih gibanja i obavljaju završnu finu obradu rupa. Izvlačilice obrađuju vansku površinu obratka.

Provlačilice i izvlačilice mogu biti:

1. vertikalne (kraće)
2. horizontalne (duže)



Slika 23. Vertikalna provlačilica  
(Slade, 2004.)

Prigoni na provlačilicama / izvlačilicama mogu biti:

1. Mehanički (rijede):
  - a. zupčanik i zubna letva
  - b. navojno vreteno i matica
2. Hidraulički (najčešći)
  - a. dvoradni hidraulički cilindar



Slika 24. Obradak i alat kod provlačenja  
(Slade, 2004.)

## 7. ZAKLJUČAK

Kroz godine nodularni lijev pronalazi sve širu primjenu, kako u izradi poljoprivredne tehnike tako i u građevinarstvu, strojarstvu, brodogradnji. Zahvaljujući svojim mehaničkim svojstavima, jednostavnosti izrade, te niskoj štetnosti na okoliš njegova je primjena češća i poželjnija. Zbog toga možemo reći kako nodularni lijev u određenom vremenskom periodu postaje jedan od glavnih materijala u izradi.

Nodularni lijev izrazito je žilav materijal, posebno zbog toga što je usko povezan s mikrostrukturom, tj. oblikom izlučenog grafita i strukturom metalne osnove. U novijoj industriji nodularni lijev se koristi za izradu turbopunjača i ispušnih grana, zbog toga što je nodularni lijev izrazito otporan i na visoke temperature. Nodularni lijev također pronalazi svoje mjesto pri izradi zupčanika gdje ima svojih prednosti i nedostataka, o čemu sam pričao u radu.

Smatram da se iz ovog završnog rada može dosta toga naučiti i saznati o nodularnom lijevu, te bi trebalo ovakav materijal puno više koristiti u industriji dijelova za poljoprivrednu mehanizaciju i ostalu tehniku.

## 8. POPIS LITERATURE

1. Barović M., *Primjena izotermički poboljšanog nodularnog lijeva (ADI) u izradi dijelova poljoprivrednih strojeva*, Diplomski rad, Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek 2010.
2. Despetović H., *Zavarivanje nodularnog lijeva*, Sveučilište u Zagrebu, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2020.
3. Džinić B., *Toplinska obrada sivog i nodularnog lijeva*, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2019.
4. Farkaš V., *CNC strojevi*, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek 2018.
5. Novosel M. i Krumes D., *Željezni materijali*, Slavonski Brod 1997.
6. Proizvodno strojarstvo: <http://proizvodno-strojarstvo.blogspot.com/2011/07/nodularni-zilavi-lijev.html>
7. Prometna zona: *Klip i klipnjača* (2022) <https://www.prometna-zona.com/klip-i-klipnjaca/>
8. Kristin R. Brandenburg, Kathy L. Hayrynen (2002), *Agricultural Applications of Austempered Ductile Iron*
9. Slade I., *Skripta Obrada materijala II*, Tehnička škola Zagreb)
10. Škof V., *Rekonstrukcija dugohodne blanjalice u 3-osnu numerički upravljanoj vertikalnoj glodalici*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2008.
11. Unkić F., Glavaš Z., i Terzić K., *Utjecaj broja nodula na žilavost feritnog nodularnog lijeva*, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet 2008.
12. Vuković G., *Erozijsko trošenje izotermički poboljšanog te naknadno sačmarenog*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2009.
13. Weissenbacher H., Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2009.
14. Žmak I., *Modeliranje strukture i svojstava nodularnog lijeva neuronskim mrežama*, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2009.