

# Primjena bijele kovine u strojogradnji

---

**Korenić, Dino**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:780794>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODIJEL  
*Stručni studij Strojarsstva*

Dino Korenić

**PRIMJENA BIJELE KOVINE U  
STROJOGRADNJI**

Završni rad

Karlovac, 2016

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODIJEL  
*Stručni studij Strojarsstva*

Dino Korenić

**Primjena bijele kovine u  
strojogradnji**

Završni rad

Mentor:  
dipl.ing.stroj. Tomislav Božić

Karlovac, 2016



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J. J. Strossmayera 9  
HR • 47000 Karlovac • Croatia  
tel. +385 (0)47 843-510  
fax. +385 (0)47 843-579  
e-mail: [referada@vuka.hr](mailto:referada@vuka.hr)



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

**Stručni / specijalistički studij:**.....Strojarstvo  
(označiti)

Usmjerenje:.....Proizvodno strojarstvo .Karlovac, ...07.10. 2016.....

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:.....Dino Korenić..... Matični broj: 0110610040

Naslov: Primjena Bijele kovine u strojogradnji

Opis zadatka:

U završnom radu teorijski obraditi primjenu Kositrenih i kovina u strojogradnji s posebnim osvrtom na eksploatacijske uvjete kliznih ležajeva.

U eksperimentalnom dijelu rada, koristeći deklarirane karakteristike proizvođača Bijelih kovina i podatke dobivene ispitivanjima u realnim uvjetima proizvodnje ležajeva, dokazati eventualne promjene mehaničkih svojstava prema planu pokusa uzastopnog prelijevanja i ispitivanja svojstava prelijevanih strugotina. Rad izraditi sukladno pravilniku izrade završnog rada VuKa.

Zadatak zadan:

07.10.2016

Mentor:

Rok predaje rada:

11.11.2016.

Predviđeni datum obrane:

21.11.2016.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **PREDGOVOR**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dipl.ing.stroj. Tomislavu Božiću na savjetima, konzultacijama, pomoći prilikom izrade ovog završnog rada. Hvala svima koji su mi bili podrška tijekom studiranja, a posebno mojoj obitelji na trudu i razumijevanju, kojima i posvećujem ovaj diplomski rad.

Dodatno se zahvaljujem tvrtki „Nova TVORNICA KLIZNIH LEŽAJEVA“ koji su mi uvelike pomogli pri prikupljanju informacija i tehničkih podataka potrebnih za ovaj završni rad

Dino Korenić

## SAŽETAK

Ovim završnim radom teorijski je objašnjena primjena kositrenih bijelih kovina u strojogradnji, sa naglaskom na primjenu bijele kovine u izradi kliznih ležajeva.

U općem dijelu ukratko su opisani zahtjevi koje moraju zadovoljiti materijali za izradu blazinica kliznih ležajeva, svojstva bijele kovine kao i njihova podjela, te je objašnjeno postupanje sa strugotinom bijele kovine.

U eksperimentalnom dijelu izvršena su ispitivanja bijele kovine. Ispitivanja su rađena na materijalima TEGOTENAX V840 i WM 80. Provedeno je ispitivanje vlačne čvrstoće i tvrdoće sa ciljem dokazivanja eventualne promjene mehaničkih svojstva.

Nakon toga slijedi analiza dobivenih rezultata i zaključak

## Summary

This final work is theoretically explained using tin alloy in mechanical engineering, with focus on the use of white metal in making plain bearings.

In the general section briefly describes the requirements to be met by making materials pad journal bearings, white metal properties as well as their division, and discussed treatment with shavings of white metal.

In the experimental part, the tests of white metal. Tests were conducted on materials TEGOTENAX V840 and WM 80. Connection is tensile strength and hardness with the aim of proving any change in mechanical properties.

At the end of the analysis of the results and conclusion.

## SADRŽAJ

SAŽETAK .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS PRILOGA .....	VI
POPIS TABLICA .....	VII
POPIS OZNAKA .....	VIII
1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKE OSNOVE .....	3
2.1. Ležajni materijal .....	3
2.2. Tradicionalne dvofazne legure .....	4
2.3. Neželjezni metali i njihove legure .....	6
2.4. Olovne bijele kovine .....	8
2.5. Zahtjevi kovina za ležaje .....	8
2.6. Nedostaci kovina za ležaje .....	9
3. POSTUPAK SA STRUGOTINOM I PONOVDNA UPOTREBA .....	10
3.1. Postupak taljenja strugotine .....	11
4. MATERIJALI ZA ISPITIVANJE .....	13
5. POSTAVKA ZADATKA .....	16
6. EKSPERIMENTALNI DIO .....	17
6.1. Ispitivanje tvrdoće .....	17
6.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće .....	18
6.3. Epruveta za ispitivanje .....	19
6.4. Ispitivanja vlačne čvrstoće i tvrdoće .....	20
6.4.1. Nulta strugotina .....	20
6.4.2. Prva strugotina .....	24

6.4.3. <i>Druga stugotina</i> .....	26
7. ANALIZA I USPOREDBA REZULTATA .....	29
7.1. Tvrdoća .....	29
7.2. Vlačna čvrstoća .....	29
8. ZAKLJUČAK .....	31
POPIS LITERATURE .....	33
PRILOZI .....	34



## POPIS SLIKA

Slika 1. Klizni ležaji

Slika 2. Nosive strukture ležajnih materijala

Slika 3. Mikrostruktura olovne bijele kovine (povećanje 500 : 1)

Slika 4. Prikaz ingota bijele kovine

Slika 5. Prikaz sakupljanja stugotine na glodalici

Slika 6. Taljenje strugotine

Slika 7. Talina bijele kovine

Slika 8. Odljevci bijele kovine (TEGOTENAX V840, WM 80)

Slika 9. Mikrostruktura TEGOTENAX V840

Slika 10. Mikrostruktura WM 80

Slika 11. Tvrdomjer Brinell

Slika 12. Kidalica Otto Wolpert Werke

Slika 13. Uzorak za ispitivanje tvrdoće

Slika 14. Postavljanje epruvete u kidalicu

Slika 15. Epruveta TEGOTENAX V840

Slika 16. Epruveta WM 80

Slika 17. Dijagrami (nulta strugotina)

Slika 18. Lom epruvete TEGOTENAX V840 (nulta strugotina)

Slika 19. Lom epruvete WM 80 (nulta strugotina)

Slika 20. Dijagrami (prva strugotina)

Slika 21. Lom epruvete TEGOTENAX V840 (prva strugotina)

Slika 22. Lom epruvete WM 80 (prva strugotina)

Slika 23. Dijagrami (druga strugotina)

Slika 24. Lom epruvete TEGOTENAX V840 (druga strugotina)

Slika 25. Lom epruvete WM 80 (druga strugotina)

Slika 26. Poprečni presjek epruvete WM 80 (druga strugotina)

Slika 27. Usporedba vlačne čvrstoće za TEGOTENAX V840

Slika 28. Usporedba vlačne čvrstoće za WM 80

## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1. Kemijski sastav i mehanička svojstva za TEGOTENAX

Prilog 2. Upotreba TEGOTENAX-a

Prilog 3. Kemijski sastav i mehanička svojstva za SnSb12Cu6Pb

Prilog 4. Upotreba legure SnSb12Cu6Pb

Prilog 5. Izvješće za nultu strugotinu

Prilog 6. Izvješće za prvu strugotinu

Prilog 7. Izvješće za drugu strugotinu

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Kositrena i olovna kovina, sastav i tvrdoća

Tablica 2. Vrste bijelih kovina

Tablica 3. Dimenzije epruvete

Tablica 4. Dobivena vrijednost tvrdoće (nulta strugotina)

Tablica 5. Dobivena vrijednost vlačne čvrstoće (nulta strugotina)

Tablica 6. Dobivena vrijednost tvrdoće (prva strugotina)

Tablica 7. Dobivena vrijednost vlačne čvrstoće (prva strugotina)

Tablica 8. Dobivena vrijednost tvrdoće (druga strugotina)

Tablica 9. Dobivena vrijednost vlačne čvrstoće (druga strugotina)

Tablica 10. Usporedba tvrdoće

Tablica 11. Pad tvrdoće u odnosu na nultu strugotinu, izraženo u postocima

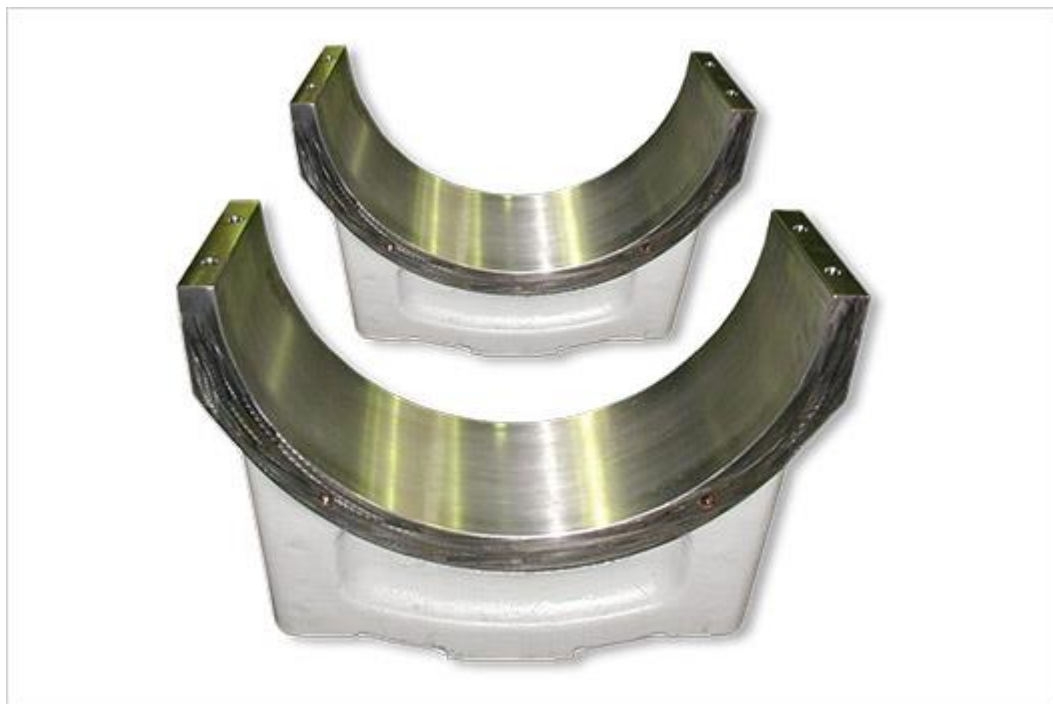
Tablica 12. Pad vlačne čvrstoće u odnosu na nultu strugotinu, izraženo u postocima

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
Rm	N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća
Re	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja
Rp0,2	N/mm <sup>2</sup>	Konvencionalna granica razvlačenja
A	%	Istezanje
Z	%	Suženje poprečnog presjeka
HB		Tvrdoća po Brinell-u
HRC		Tvrdoća po Rockwell-u

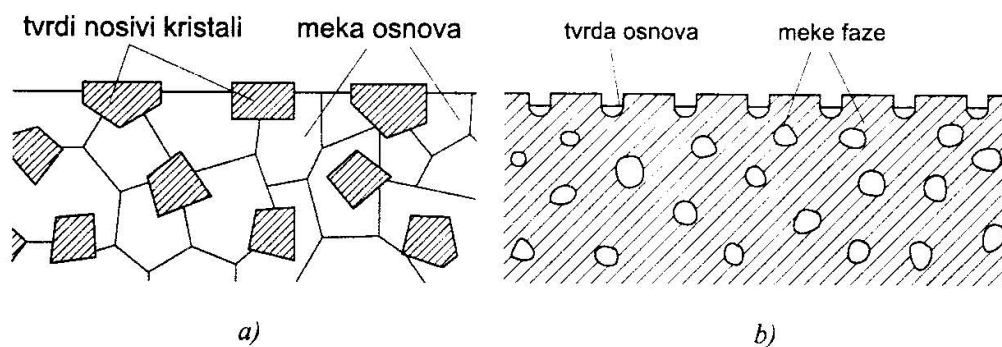
## 1. UVOD

Ležaji su elementi strojeva koji prenose sile između površina koje su u relativnom gibanju. Mogu biti klizni tj. ostvaruju klizni kontakt između površina ili složeniji, kao što su valjani (kotrljajući) ležaji. Ovdje će biti govora o materijalima za klizne ležajeve [Slika 1.].



Slika 1. Klizni ležaji [8]

Kad bi podmazivanje uvijek bilo savršeno i kad bi klizne površine bile točno međusobno prilagođene, tako da ne bi bilo potrebno „uhodavanje“, svaki metal mogao bi služiti kao ležajni, pod uvjetom da je dovoljno čvrst da podnese opterećenje. Nadalje, teško je ostvariti da se duga osovina dovoljno točno okreće u nizu ležaja. Zbog toga prednost imaju materijali dovoljno meki i prilagodljivi rukavcu ili osovini kad su opterećeni. Uz to ležaj mora biti: dovoljno čvrst i dovoljno tvrd, s malim faktorom trenja i površinom otpornom na trošenje, otporan na udarna opterećenja, odnosno dovoljno žilav, dobre toplinske vodljivosti, male toplinske rastezljivosti, dobre antikorozijske itd.



Slika 2. Nosive strukture ležajnih materijala [1]

a) Tvrdi nosivi kristali u mekoj fazi

b) Meke faze u tvrđoj osnovi

Postizanje takve kombinacije svojstava ne može se očekivati od monofaznog materijala, jer su čvrste otopine žilave, duktilne i čvrste, ali su također i meke, dok su intermetalni spojevi tvrdi, krhki i slabi. Zbog toga su klasični ležajni materijali dvofazne mikrostrukture (npr. sivi lijev, bijele kovine, bronce), sastavljene od tvrdih i mekih faza. Meke faze omogućuju stanovito samopodmazivanje, prilagodljivost osovine i ležaja, odnosno utisnuće čestica trošenja i na taj način sprečavanje navarivanja tih čestica na osovinu, dok tvrde faze manjeg faktora trenja preuzimaju opterećenje. Pri tome je svejedno je li osnovna masa ležajnog materijala meka ili tvrda [Slika 2.], pa postoje obje vrste ležajnih materijala, s tvrdom osnovom ili s mekom osnovom.

Važno svojstvo ležajnog materijala je i prionljivost maziva, što je posebno važno kod pokretanja i zaustavljanja osovine kada je zbog malog tlaka maziva opasnost mjestimičnog adhezijskog spoja rukavca s nosivom površinom najveća.

## 2. TEORIJSKE OSNOVE

### 2.1. Ležajni materijal

Pod nazivom ležajni materijal podrazumijevaju se legure čije se klizne osobine koriste kod ležišta za klizne ležajeve. Što je legura? Legura ili slitina je smjesa dvaju ili više elemenata od kojih je barem jedan metal, pri čemu sama legura također ima svoja svojstva metala. Obično legure imaju svojstva značajno različita od svojih sastojaka. Osnovni metal u leguri se naziva bazni metal ili baza.

Elementi koji se svjesno dodaju bazi u leguri u cilju poboljšanja mehaničkih i kemijskih svojstava se nazivaju legirni ili dodatni element, dok se neželjeni element nazivaju onečišćenja.

Legirni elementi su također uglavnom metali, ali se ponekad baznom metalu dodaju i drugi kemijski elementi, kao npr. grafit. Legure kod kojih su legirajući elementi potpuno rastvorljivi u tečnom stanju, dok su u čvrstom stanju potpuno nerastvorljivi, takve legure su poznate u praksi kao eutektične legure.

Legure ili slitine se pripremaju radi postizanja određenih svojstava. Tako legure mogu imati veću čvrstoću i tvrdoću, otpornost na koroziju ili bolja neka druga svojstva od metala od kojih su sastavljenje.

Najvažnije legure za ležajeve su:

- legure bakar - kositar (bronce)
- legure bakar – olovo (olovna branca)
- legure bakar – kositar – cink (crveni liv)
- legure kositar – olovo – antimon – bakar (bijeli metal)
- legure aluminij – kositar



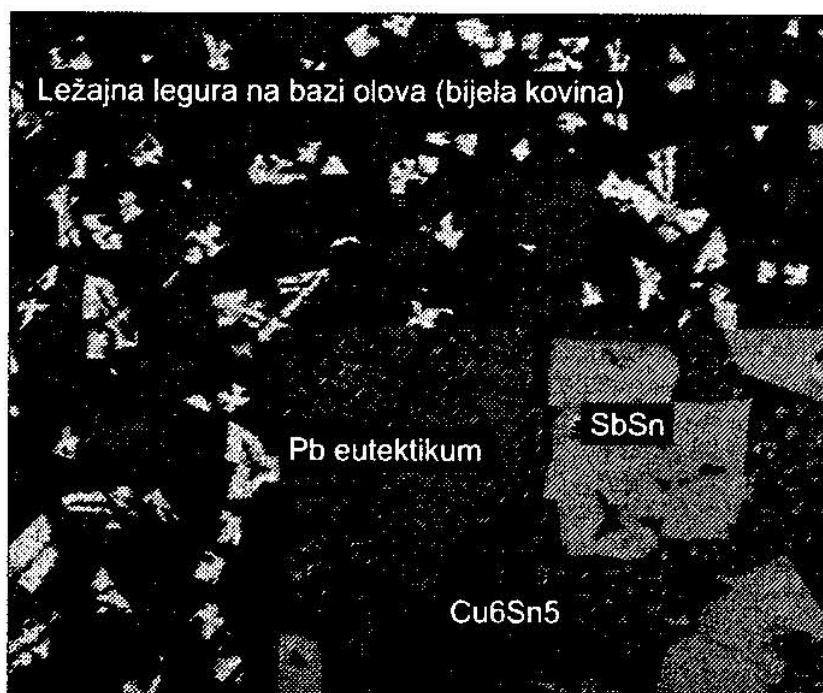
## 2.2. Tradicionalne dvofazne legure

Svojstva ležajnog materijala najbolje se mogu objasniti na primjeru bijelih kovina. Bijele kovine su legure na bazi kositra (kositrena bijela kovina) ili na bazi olova (olovna bijela kovina). Olovo se dodaje radi pojeftinjenja legure, ali legure s olovom podnose manja opterećenja i manje su otporne na koroziju. Sastav bijelih kovina kreće se u granicama 5-80%Sn, 79-0%Pb, 15-11%Sb i 1-9%Cu. U [Tablica 1.] navedeni su primjeri jedne kositrene i jedne olovne bijele kovine s orijentacijskim osnovnim sastavom i tvrdoćom.

Tablica 1. Kositrena i olovna kovina, sastav i tvrdoća [1]

Oznaka legure		Kemijski sastav u masenim %				Tvrdoća HB ( $2,5D^2$ , 180 s) pri °C		
DIN	stara HRN	Sn	Sb	Cu	Pb	20	50	100
GI-Sn80	L.Sn80Pb	80	12	7	1	27	20	10
GI-Sn10	L.PbSn10	10	14	1	75	23	16	9

Ležaj od bijele kovine mora sadržavati u ravnomjernoj mekoj osnovi tvrde dijelove. To je osigurano dodatkom antimona i bakra. Bakar i kositar tvore intermetalni spoj  $\gamma$  sastava  $Cu_6Sn_5$  u obliku karakterističnih iglica koje se mogu jasno razabrati u mikrostrukturi pod svjetlosnim mikroskopom. Nadalje kositar i antimon tvore kockice intermetalnog spoja  $\beta$  sastava  $SbSn$  koje su zajedno s iglicama uložene u meki eutektik. Odnos tvrdoća je obično iglice ( $Cu_6Sn_5$ ) : kockice ( $SbSn$ ) : eutektik kao 10:4:1.



Slika 3. Mikrostruktura olovne bijele kovine (povećanje 500 : 1) [1]

Većinom se kod kositrenih bijelih kovina uzima omjer 12% iglica, 20% kockica i 68% eutektika. To je nešto jeftinija i tvrđa varijanta koja omogućuje veći specifični tlak. Pri udarnom opterećenju povećava se udio eutektika na 87% na račun kockica, ali pritom mora specifični tlak biti manji.

Usitnjenje zrna općenito poboljšava mehanička svojstva legure. Pri ulijevanju na podlogu drugog metala sloj će se to brže hladiti, što je tanji, a u tom slučaju bit će i zrno sitnije. Stoga je potrebno da već konstruktor propiše što tanju stijenku, jer nije poželjna obrada kod koje bi se skidali razmjerno debeli slojevi, tj. upravo vanjski dijelovi s najsitnijim zrnom. Treba lijevanjem postići slojeve debljine 2,5 – 4 mm kako bi se nakon obrade odvajanjem čestica dobio preostali sloj konačne mjere 2-3 mm.

Toplinsko stezanje klasične bijele kovine s 80% Sn je malo pa to omogućava dobro prijanjanje uz podlogu. Dobra toplinska vodljivost olakšava odvođenje topline iz ležaja.

Nedostatak kositrenih bijelih kovina je slaba dinamička izdržljivost, napucavanje površine i slaba otpornost na umor pa se legura mora često ponovno nanositi.

### 2.3. Neželjezni metali i njihove legure

Kositar (Sn) se legira prvenstveno olovom (Pb), bakrom (Cu) i antimonom (Sb). Blazinice ležaja od legura kositra imaju odlična antifrikciona svojstva, neosjetljivi su na geometrijska i radna odstupanja, te prodiranje sitnih produkata trošenja. Dobro svojstvo kositra je i to što ga se može u tankim slojevima (nekoliko  $\mu\text{m}$ ) galvanski nanijeti na druge materijale. Zbog male čvrstoće (vrlo su mekani), blazinice ležaja od legura kositra uvijek je potrebno ugraditi u odgovarajuće kruto kućište.

Cink (Zn) se legira prvenstveno aluminijem (Al) i bakrom (Cu). Blazinice ležaja od legura cinka imaju prije svega dobra antifrikciona svojstva. Obzirom da su jeftini, izrađuju se u masivnijim izvedbama, čime se dobiva na krutosti i čvrstoći. Upotrebljavaju se za manje zahtjevne klizne ležajeve.

Olovo (Pb) se legira prije svega bakrom (Cu), kositrom (Sn) i cinkom (Zn). Blazinice ležaja od legura olova imaju vrlo dobra svojstva podmazivanja. Obzirom da su vrlo mekani neosjetljivi su na geometrijska i radna odstupanja, ali su slabo otporni na trošenje. Upotrebljavaju se prvenstveno u velikim i grubim ležajevima (npr. uležištenje osovina vagona).

Aluminij (Al) se legira prije svega s bakrom (Cu), željezom (Fe), cinkom (Zn), manganom (Mn), silicijem (Si) i kositrom (Sn). Blazinice ležaja od legura aluminija upotrebljavaju se prvenstveno tamo gdje je i kućište od lakih metala. Obzirom da dobro provode toplinu imaju dobru sposobnost hlađenja.

Bakar (Cu) se upotrebljava za blazinice ležaja prvenstveno u obliku raznih bronci (udio bakra je iznad 50%). Bronce imaju vrlo dobru toplinsku vodljivost, te time dobru sposobnost hlađenje ležajeva. Također imaju i zadovoljavajuću čvrstoću i dobru sposobnost deformiranja. Raznim nemetalnim dodacima (fosfor) poboljšavaju im se i antifrikciona svojstva. Obzirom da su slabo otporni na prodiranje produkata trošenja, u ovim ležajevima potrebno je osigurati dobar protok maziva. Upotrebljavaju se prije svega sljedeće bronce:

- Kositrene bronce sadrže 5 do 14% kositra (Sn). Uz pomoć malih dodataka fosfora (P) poboljšavaju im se svojstva podmazivanja (mazivo se bolje hvata kliznih površina). Primjereni su za klizne ležajeve u uvjetima miješanog podmazivanja, visokih površinskih tlakova i visoke radne temperature.
- Olovne bronce sadrže 10 do 28% olova (Pb). Obzirom da su vrlo mekane, neosjetljive su na geometrijska odstupanja i rubne pritiske, ali su slabo otporne na trošenje. Primjerene su prvenstveno za male brzine klizanja. Upotrebljavaju se za manje zahtjevne ležajeve, u kojima nije potrebno da je rukavac osovine ili vratila površinski kaljen.
- Kositreno-olovne bronce sadrže 5 do 14% kositra (Sn) i 3 do 25% olova (Pb). Pri većem udjelu olova imaju dobru prilagodljivost materijala rukavca i blazinice ležaja, ali slabu otpornost na trošenje.
- Aluminijske bronce sadrže oko 10% aluminija (Al) i manje udjele nikla (Ni), mangana (Mn) i željeza (Fe). Razmjerno su tvrde i time otporne na trošenje. Upotrebljavaju se prije svega tamo gdje postoji opasnost od korozije.
- Crvena kovina je legura bakra (Cu), kositra (Sn), cinka (Zn) i olova (Pb), a predstavlja poseban slučaj kositrene bronce. Crvena kovina ima najbolja antifrikciona svojstva pri 10% Sn, 4% Zn i 1% Pb ili pri 6% Sn, 7% Zn i 1% Pb. Jeftinija je nego osnovna kositrena bronca.
- Mjed je zapravo cinkova bronca s 30% cinka (Zn) i s malim udjelima aluminija (Al), nikla (Ni), fosfora (P) i silicija (Si). Ima slična antifrikciona svojstva kao i kositrena bronca. Upotrebljava se samo pri nižim temperaturama.

## 2.4. Olovne bijele kovine

Bijele kovine na bazi olova su po mehaničkim svojstvima slične kositrenim, ali se u odnosu na njih lakše deformiraju, što povećava zračnost u ležaju. Štednja nalazi da udio kositra bude što manji. Ako nije neophodna klasična bijela kovina, nije opravdano uzimati iznad 16% Sn radi poboljšanja svojstava pri lijevanju i veće otpornosti na koroziju. Dodaci kadmija, aresna, nikla i telura djeluje vrlo povoljno. Kadmij povisuje čvrstoću i tvrdoću, arsen usitnjuje mikrostrukturu, nikal povećava žilavost i antikorozivnost, a telur osigurava sitnozrnatost i homogenost.

## 2.5. Zahtjevi kovine za ležaje

Zahtjevi koji se postavljaju legurama za ležajeve su vrlo visoki i raznovrsni. S jedne strane, zahtijevaju se visoka statička i dinamička čvrstoća na povišenim temperaturama, kao i veći otpor prema deformaciji da bi ležaj izdržao pritisak osovine. Ona mora biti toliko tvrda, da trenje bude razmjerno maleno, ako je pretvrda, oštetila bi osovinu. S druge strane, materijal za ležajeve mora posjedovati odgovarajuću plastičnost, tako da se priljube uz osovinu i na taj način automatski regulira jednoličnu podjelu tlaka. Osim toga mora biti dobar vodič topline, koja se razvija u toku rada, da se ne pregrije. I pored toga dolazi do povećanja temperature, što može dovesti do širenja ležaja, a samim time do uklještenja vratila. Zato je potrebno da ležišni materijal ima što niži toplotni koeficijent širenja. Mora se po mogućnosti dobro lijevati, da se može lako zamijeniti ili popraviti. Materijal za ležajeve treba posjedovati dobru obradivost i kvašenje uljem da bi se osiguralo prijanjanje uljnog filma i skratilo vrijeme razrade.

Mora imati antikorozivna svojstva te ne smije biti skup. Poželjno je da ovi materijali imaju što manju specifičnu težinu, osobito za avionske motore. Međutim, kako su tvrdoća i plastičnost dva suprotna svojstva, ne možemo ih naći kod homogenih metala, ali ta oba svojstva možemo zato naći u izrazitoj mjeri kod nehomogenih legura, pa se baš od takvih prave ležajne kovine. One će imati u osnovnoj masi, koja će biti plastična, niz tvrdih dijelova u obliku kristala, koji će ležajnoj kovini dati potrebnu tvrdoću. Nastane li na jednom mjestu preveliko trenje i time se povisi tlak, neće se osovina oštetiti, jer će tvrdi kristali utonuti u plastičnu masu.

## **2.6. Nedostaci kovine za ležaje**

Nedostatak ležajne kovine u odnosu na druge materijale je što ima relativno nisku točku omekšavanja, tvrdoću i nižu dinamičku čvrstoću. Da bi se to poboljšalo, treba osigurati dobru strukturu i vezu, kao i smanjiti debljinu sloja pri lijevanju. Veoma dobar utjecaj na slitine imaju dodaci. U tu svrhu se ležajnoj kovini dodaje nikal, arsen i kadmij.

Povećanje čvrstoće dodavanjem alternativnog materijala neizbježno znači žrtvu u drugom pravcu. Materijal sa većom čvrstoćom je krući, manje sposoban za protok, lošije podnosi necentriranost, manje je sposoban da primi i utisne materije.

### 3. POSTUPAK SA STRUGOTINOM I PONOVNNA UPOTREBA

Za nove i zahtijejnije ležajeve pri lijevanju se redovito koristi nova kovina iz rastopljenih ingota dobivenih od proizvođača. Na taj način svojstva i kvaliteta kliznog sloja sa kemijskog, fizikalnog i metalurškog stajališta moraju biti zadovoljena.



Slika 4. Prikaz ingota bijele kovine [7]

Svojstva kliznog sloja od strugotine kovine nikad ne mogu biti jednaka kao svojstva jednom rastaljenih ingota. Kako kod strojne obrade i najmanjeg ležaja ima strugotine, a kod većih neizbježno mnogo, može se znatno uštedjeti ako se ista ponovno koristi. Čak 50% isparvno rastaljene strugotine može se koristiti za izradu novih kliznih ležaja. Da bi ponovno koristili strugotinu potrebno je pridržavati se određenih pravila za postupak sa strugotinom bijele kovine.

Za ponovno taljenje može se koristiti samo strugotina koja je potpuno izrađena od bijele kovine, znači ne smije biti pomiješana sa ostalom strugotinom nekog drugog materijala, npr. čelik, te mora biti čista i suha. Ponovno se može upotrijebiti samo bijela kovina koja je bila

ispravno lijevana te kovina istog proizvođača ili specifikacije. Da bi osigurali čistoću strugotine potrebno je detaljno očistiti stroj od drugih strugotina, izbrisati mokre i masne površine. Korisno je postaviti čisti papir ili najlon na pod te postolje alatnog stroja [Slika 5.] Potrebno je osigurati drveni sanduk sa poklopcem i vidljivom oznakom vrste kovine, npr. V840 – prva strugotina. Strugotina se separira ili odvaja od ostale strugotine sa magnetskim separatorom.



Slika 5. Prikaz sakupljanja strugotine na glodalici

Ne smije se koristiti strugotina pometena sa poda, radi nečistoća i ostalih čestica koja bi mogla narušiti svojstva same kovine. Isto tako ne koristiti fine strugotine koje nastaju kod završne obrade jer su često masne od alata i sretstva za hlađenje. Kovina otopljena sa rabljenih ležaja se ne koristi zbog nepoznatog proizvođača i sastava.

### 3.1. Postupak taljenja strugotine

Prilikom ponovnog taljenja strugotine [Slika 6.] potrebno je osigurati čisti lonac, rastaliti određenu količinu novog ingota, koji mora biti istog sastava kao strugotina. Sipati lagano strugotinu i održavati lonac na temperaturi od 340-350° C. Potrebno je ispraviti strukturu, a to se radi na način da se povisi temperatura kovine u loncu za nekih 28° C iznad temperature lijevanja, dodati određenu količinu amonij klorida i promiješati. Pustiti da se kovina ohladi do temperature lijevanja, ponovno promiješati, uzeti uzorak za kemijsku analizu te odliti u ingote i ponovno upotrijebiti.





Slika 6. Taljenje strugotine



Slika 7. Talina bijele kovine

## 4. MATERIJALI ZA ISPITIVANJE

Za potrebe ovog završnog rada, tvrtka NTKL (Nova TVORNICA KLIZNIH LEŽAJEVA) ustupila nam je dvije vrste bijele kovine, TEGOTENAX V840 i WM 80, glavnog dobavljača bijele kovine ECKA Germany GmbH iz Fuertha, Njemačka. U [Tablica 2] su navedene vrste olovne i kositrene bijele kovine koje se najčešće koriste, te njihov kemijski sastav i mehanička svojstva.

Tablica 2. Vrste bijelih kovina [8]

Tablica 2 - Kemijski sastav bijele kovine (%)						
	LM THERMIT	SnSb12 Cu6Pb (WM 80)	TEGO V738	TEGOTENAX V840	TEGOTENAX S V841	ECKA Tegostar
Sn	6	80	81	89	88	81,13
Pb	75,8	2	max 0,06	max 0,06	max 0,06	
Sb	15	12	12	7,5	7,5	12
Cu	1,2	6	5	3,5	3,5	6
Ni	0,5		0,3		0,2	
As	0,5		0,5		max 0,1	
Cd	1		1,2		0,8	
Zn						0,6
Ag						0,1

Tablica 3 Tehnološka svojstva bijele kovine												
		LM THERMIT	SnSb 12 Cu6Pb (WM 80)	TEGO V738	TEGOTENAX (V840)	TEGOTENAX S (V841)	TEGOSTAR 738					
Tvrdoća kod povišenih temeperatura HB 10/250/80	20°C	26	27	35	23	28	24					
	50°C	21	23	28	17	23	20					
	100°C	14	13	17	10	16	12					
	150°C	8	7	10	8	9	10					
NAPREZANJE NA VLAK												
0,2% gran.rastez	$R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	28	62	84	46	66	76					
Vlačna čvrstoća	$R_m$ N/mm <sup>2</sup>	57	89	102	77	100	78					
Istezanje	A <sub>5</sub> %	1.2	3.0	1.5	11.2	8.4	1.0					
Modul elastičnosti	$R_{p0,01}$ N/mm <sup>2</sup>	29900	55700	52500	56500	49500	57000					
NAPREZANJE NA TLAK												
0,2% gran. tečenja	$\sigma_{d0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	20°C	46	62	80	47	63	90	50			
		100°C	27	37	48	27	30	30	50			
2% gran. tečenja	$\sigma_{d2}$ N/mm <sup>2</sup>	20°C	85	122	122	76	103	107	54			
		100°C	59	69	80	45	60	60	54			
Tlačna čvrstoća	$\sigma_{dB}$ N/mm <sup>2</sup>	134	189	195	157	235	190	91				
Skraćenje pri sabijanju	$\epsilon_{dB}$ %	34	46	34	47	39	44	50	50			
VEZNA ČVRSTOĆA (Čelik C10; debljina metala ležaja > 6 mm) (DIN ISO 4386) RHC												
	$R_{ch}$ N/mm <sup>2</sup>	57	39	98	75	86	62					
DINAMIČKO NAPREZANJE Izmj. Savojna čvrstoća												
	$\sigma_{bW}$ N/mm <sup>2</sup>	±28	±28	±39	±29	±33	±35					
TRAJNA UDARNA SAVOJNA ČVRSTOĆA												
Srednji br. Udara do kidanja		285	490	910	3741	2689	2856					
Srednji rad udara do kidanja	J	77	134	250	1028	739	785					

Na [Slika 8.] prikazani su odljevci gore navedenih kovina iz kojih će se izraditi epruvete za ispitivanje vlačne čvrstoće i pločice za ispitivanje tvrdoće. O tome ćemo reći nešto više u eksperimentalnom dijelu završnog rada.



Slika 8. Odljevci bijele kovine (TEGOTENAX V840, WM 80)

Svojstva TEGOTENAX V840:

- Legura kliznih ležaja na bazi kositra
- Visoki stupanj čistoće, bezolovni (<0,06%)
- Visoka viskoznost/otpornost
- Visoka izdržljivost na udarce
- Otporan na dinamične vibracije i zavojni zamor materijala

Primjer za uporabu:

- Visoko opterećeni ležaji



Slika 9. Mikrostruktura TEGOTENAX V840 [2]

Svojstva WM 80:

- Legura kliznih ležaja na bazi kositra
- Standardna legura po DIN ISO 4381
- Srednje statičko opterećenje, zavojni zamor materijala i izdržljivost udaraca

Primjer za uporabu:

- Turbine, kompresori, elektromotori



Slika 10. Mikrostruktura WM 80 [2]

### **3. POSTAVKA ZADATKA**

U ovome završnom radu opisana je bijela kovina na bazi kositra kao materijal za izradu kliznih ležaja, te njena mehanička i fizikalna svojstva kao i kemijski sastav. Nakon teorijskog dijela, provede će se eksperimentalni dio u kojem će biti provedeno ispitivanje vlačne čvrstoće i ispitivanje tvrdoće. Materijal koji smo ispitivali je WM80 i TEGOTENAX V840. Cilj eksperimentalnog dijela je utvrditi mehanička svojstva navedenih vrsta kovine, odnosno vidjeti i dokazati kako se gube mehanička svojstva tijekom uzastopnog prelijevanja strugotine, počevši od nulte strugotine.

Ispitivanja su rađena u laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu.

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO

### 6.1. Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće izvodi se na tvrdomjeru Brinell [Slika 11.]. Ispitivanje tvrdoće po Brinell-u spada u grupu ispitivanja materijala bez razaranja (oštećenja površine su neznatna). To je postupak ustiskivanja gdje se na površinu ispitivanog materijala utiskuje kuglica od kaljenog čelika promjera  $d$ . Sila utiskivanja određuje se prema predviđenoj tvrdoći materijala.



Slika 11. Tvrdomjer Brinell [6]

## 6.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće

Statičkim vlačnim ispitivanjem na kidalici koju posjeduje Veleučilište u Karlovcu moguće je utvrditi osnovne značajke materijala kao što su :

- Vlačna čvrstoća –  $R_m$
- Granica razvlačenja materijala –  $R_e$
- Istezljivost –  $A$
- Kontrakcija –  $Z$
- Modul elastičnosti –  $E$

Ispitivanje je provedeno na kidalici Otto Wolpert Werke [Slika 12.], tip U60, 1953 godina. Mjerno područje kidalice je do 600 kN.



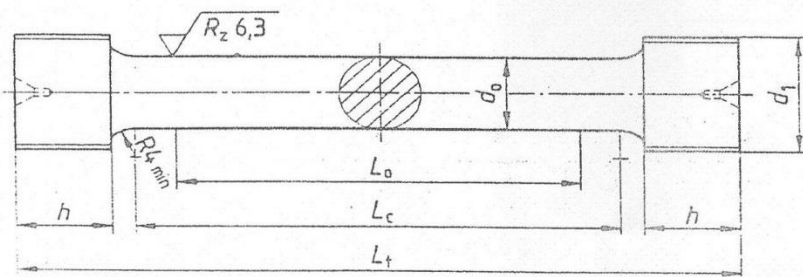
Slika 12. Kidalica Otto Wolpert Werke [6]

### 6.3. Epruveta za ispitivanje

#### Ispitivanje metalnih materijala – vlačne probe – DIN 50 125

1 – Vlačna proba – oblik B

Okrugle epruvete s navojnim glavama



- $d_0$  - 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

Označivanje vlačne epruvete oblik B s promjerom epruvete  $d_0 = 14$  mm i početnom mjernom duljinom epruvete  $L_0 = 70$  mm:

VLAČNA EPRUVETA DIN 50 125 – B 14 x 70

Tablica 3. Dimenzije epruvete [6]

$d_0$	$L_0$	$d_1$	$h$ min.	$L_c$ min.	$L_t$ min.
12	60	M18	15	72	110



## 6.4. Ispitivanja vlačne čvrstoće i tvrdoće

### 6.4.1. Nulta strugotina

#### a) Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće prema Brinell-ovoj metodi vrši se utiskivanjem kaljene kuglice određenog promjera ( $\phi$  2,5mm) u ispitni uzorak. Na epruveti nakon ovog ispitivanja ostaje udubljenje, kao što se i vidi [Slika 13.]. Vrijeme utiskivanja je 30 sekundi. Dobivene vrijednosti nakon ovog ispitivanja prikazane su u [Tablica 4].



Slika 13. Uzorak za ispitivanje tvrdoće

Tablica 4. Dobivena vrijednost tvrdoće (nulta strugotina)

Materijal	Tvrdoća HB
TEGOTENAX V840	23,8
WM 80	32

**b) Ispitivanje vlačne čvrstoće**

Vlačno ispitivanje je postupak ispitivanja mehaničkih svojstava materijala na kidalici, kojim se utvrđuju glavna svojstva koja karakteriziraju mehaničku otpornost materijala, ali i njegovu deformabilnost. Na kidalici se direktno mjeri čvrstoća materijala, produljenje ispitnog uzorka i suženje poprečnog presjeka. Vlačna čvrstoća je omjer maksimalne sile i površine poprečnog presjeka epruvete, a granica razvlačenja je omjer sile elastičnosti i površine poprečnog presjeka epruvete.



Slika 14. Postavljanje epruvete u kidalicu



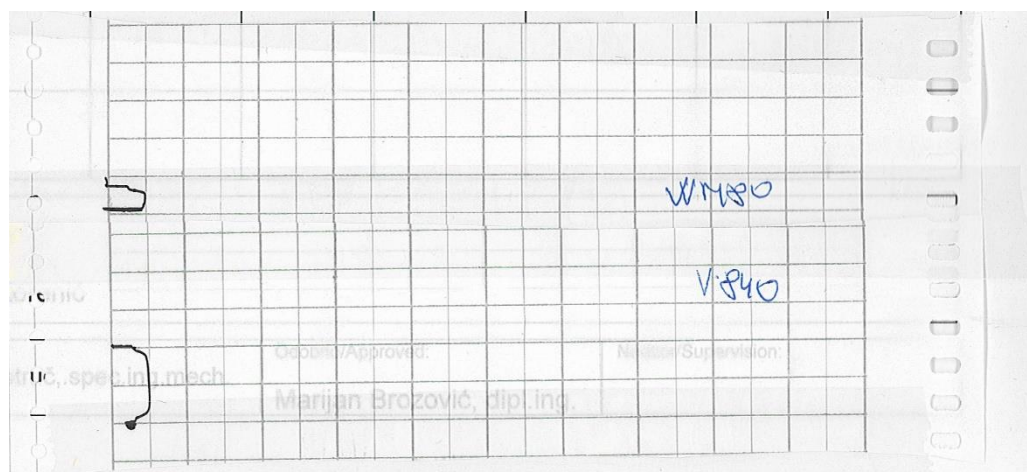
Slika 15. Epruveta TEGOTENAX V840



Slika 16. Epruveta WM 80

Tablica 5. Dobivena vrijednost vlačne čvrstoće (nulta strugotina)

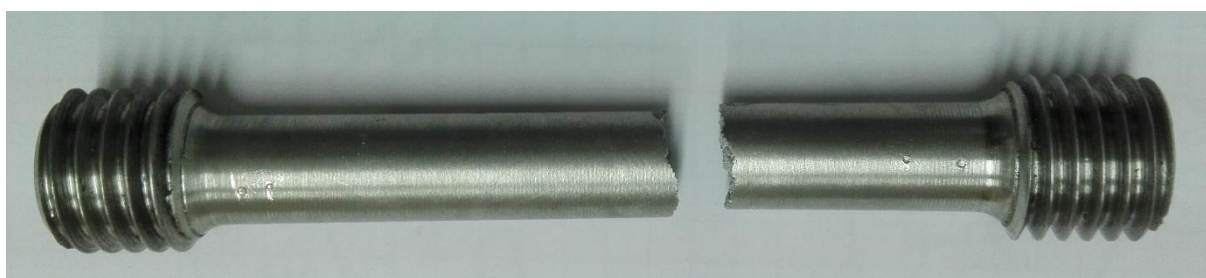
<b>Materijal</b>	<b>Granica razvlačenja Re [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Vlačna čvrstoća Rm [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Izduženje A [%]</b>
TEGOTENAX V840	39	88	6,78
WM 80	57	97	3,36



Slika 17. Dijagrami (nulta strugotina)



Slika 18. Lom epruvete TEGOTENAX V840 (nulta strugotina)



Slika 19. Lom epruvete WM 80 (nulta strugotina)

### 6.4.2. Prva strugotina

a) Ispitivanje tvrdoće

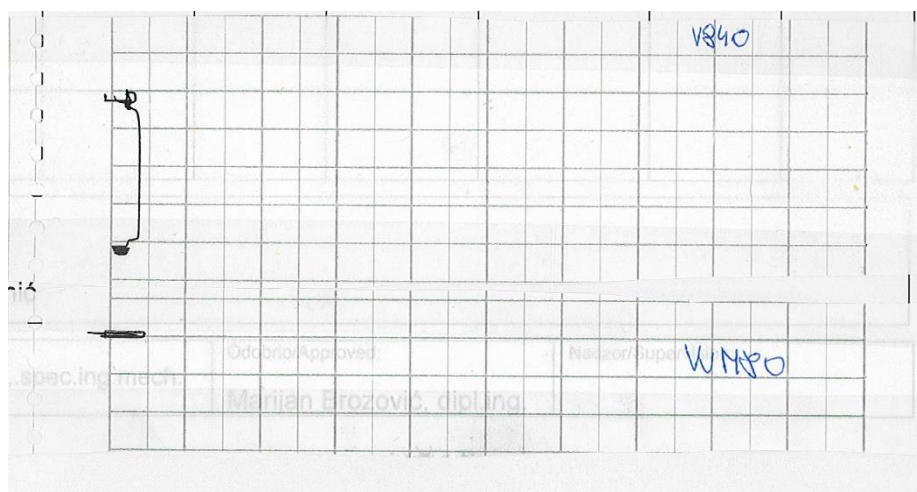
Tablica 6. Dobivena vrijednost tvrdoće (prva strugotina)

<b>Materijal</b>	<b>Tvrdoća HB</b>
TEGOTENAX V840	22,16
WM 80	30,23

b) Ispitivanje vlačne čvrstoće

Tablica 7. Dobivena vrijednost vlačne čvrstoće (prva strugotina)

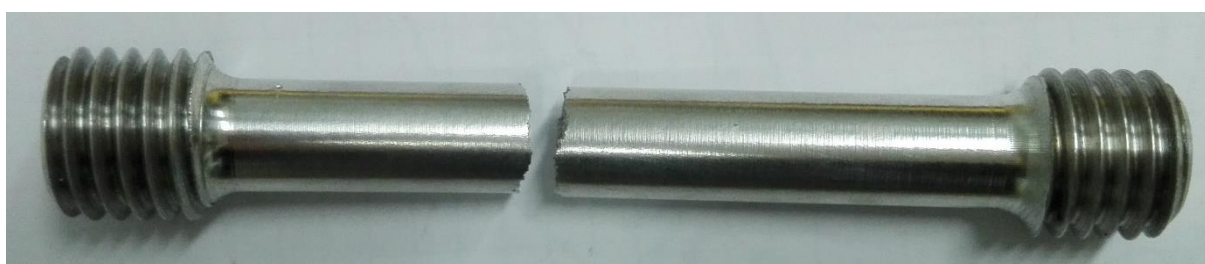
<b>Materijal</b>	<b>Granica razvlačenja Re [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Vlačna čvrstoća Rm [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Izduženje A [%]</b>
TEGOTENAX V840	54	87	9,56
WM 80	79	97	2,16



Slika 20. Dijagrami (prva strugotina)



Slika 21. Lom epruvete TEGOTENAX V840 (prva strugotina)



Slika 22. Lom epruvete WM 80 (prva strugotina)

### 6.4.3. Druga strugotina

a) Ispitivanje tvrdoće

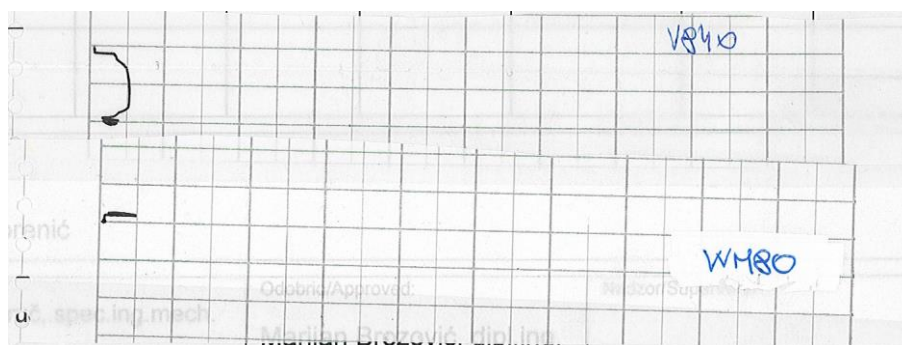
Tablica 8. Dobivena vrijednost tvrdoće (druga strugotina)

<b>Materijal</b>	<b>Tvrdoća HB</b>
TEGOTENAX V840	21,4
WM 80	21,96

b) Ispitivanje vlačne čvrstoće

Tablica 9. Dobivena vrijednost vlačne čvrstoće (druga strugotina)

<b>Materijal</b>	<b>Granica razvlačenja Re [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Vlačna čvrstoća Rm [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Izduženje A [%]</b>
TEGOTENAX V840	26	61	7,36
WM 80	/	48	0,88



Slika 23. Dijagrami (druga strugotina)



Slika 24. Lom epruvete TEGOTENAX V840 (druga strugotina)



Slika 25. Lom epruvete WM 80 (druga strugotina)





Slika 26. Poprečni presjek epruvete WM 80 (druga strugotina)

Prilikom ispitivanja vlačne čvrstoće na epruveti WM 80 [Slika 26.] nije bilo moguće očitati granicu razvlačenja, a dobivene rezultate za vlačnu čvrstoću i izduženje ne možemo razmatrati kao realne. Pošto se prelijevanje stugotina ne odvija u strogo kontroliranim uvjetima, već u industrijskim uvjetima, došlo je do miješanja stugotina sa različitim svojstvima. Samim time rezultati nisu u potpunosti točni.

Na slici poprečnog presjeka epruvete WM 80 jasno možemo vidjeti razliku u njenoj strukturi i to kao dvije različite boje.

## 7. ANALIZA I USPOREDBA REZULTATA

### 7.1. Tvrdoća

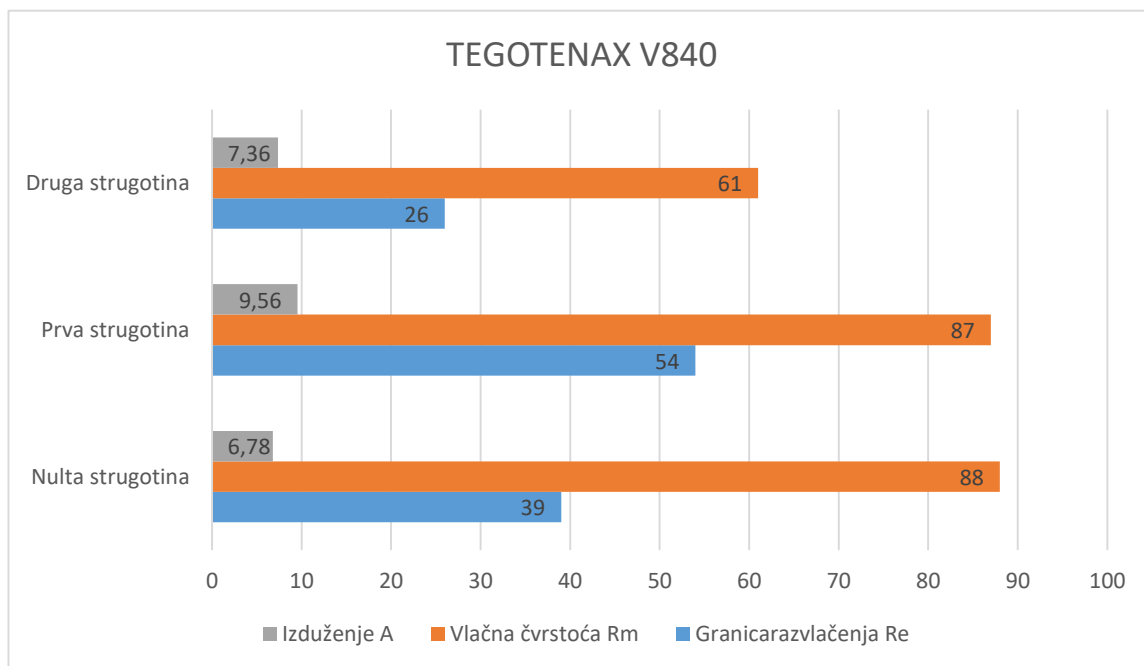
Ispitivanjem tvrdoće kod uzastopnog prelijevanja strugotina bijele kovine, utvrđeno je da dolazi do pada mehaničkih svojstava. Usporedbom dobivenih rezultata [Tablica 10.], počevši od nulte kovine pa do prelijevanja druge strugotine, vidi se pad tvrdoće.

Tablica 10. Usporedba tvrdoće

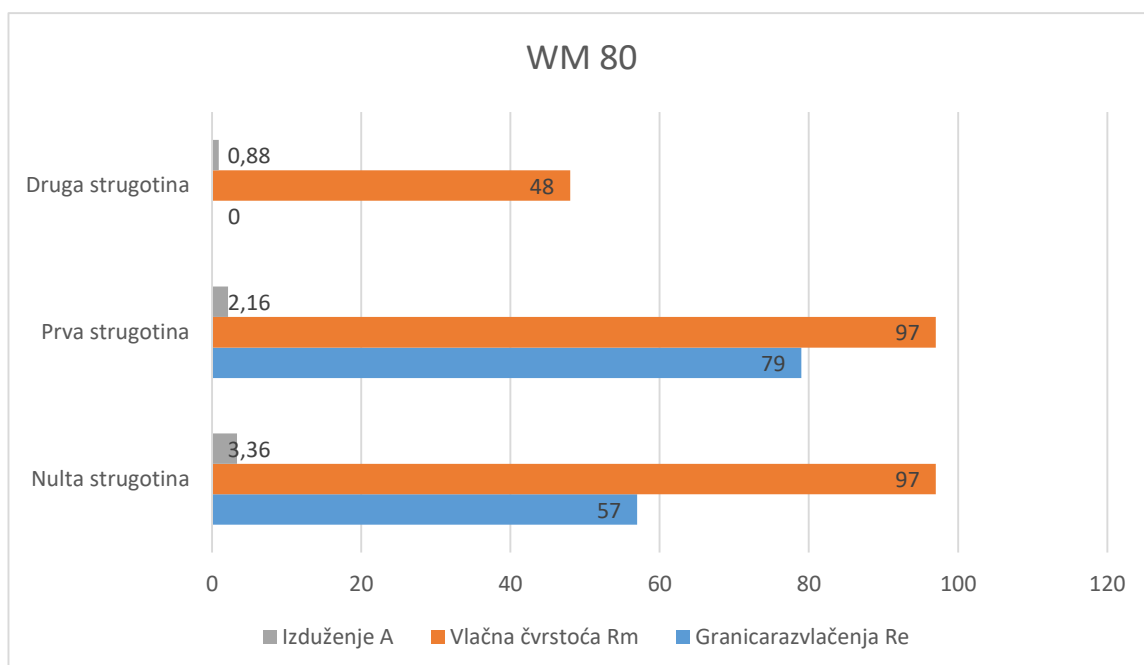
<i>Tvrdoća HB</i>	<b>TEGOTENAX V840</b>	<b>WM 80</b>
Nulta strugotina	23,8	32
Prva strugotina	22,16	30,23
Druga strugotina	21,4	29,26

### 7.2. Vlačna čvrstoća

Promatrajući rezultate dobivene ispitivanjem vlačne čvrstoće, primjećujemo da vlačna čvrstoća ispitanih kovina u padu, odnosno vlačna čvrstoća pada kako se strugotina prelijeva. To se vidi usporedbom rezultata gledajući nultu kovinu i drugo prelijevanje strugotine. Usporedno tome, granica razvlačenja raste kako se strugotina više puta prelijeva. Isto vrijedi i za izduženje. Sukldno tome vidljivo je da se mehanička svojstva mijenjaju tijekom uzastopnog prelijevanja strugotine, kao što smo i očekivali, a dokazali provođenjem ispitivanja vlačne čvrstoće.



Slika 27. Usporedba vlačne čvrstoće za TEGOTENAX V840



Slika 28. Usporedba vlačne čvrstoće za WM 80

## 8. ZAKLJUČAK

Izbor materijala ležajne blazinice od presudnog je značenja za trajnost ležaja i čitavog stroja. Materijali za klizne ležajeve moraju imati dobra antifricijska svojstva, tj. moraju se dati urađivati (uhodavati) s materijalom rukavca, pri kratkotrajnom radu ležaja na suho ne smiju dopustiti zaribavanje. Pored toga, trebaju se što jednoličnije rastezati s povećanjem temperature, ne smiju bubriti, moraju imati odgovarajuću dinamičku čvrstoću, otpornost na temperaturu, moraju dobro voditi toplinu, te se kao materijal za platiranje trebaju dati dobro vezati za podlogu. Ne postoji materijal koji udovoljava svim ovim zahtjevima, ali bijele kovine (ležajne legure na bazi kositra i olova) i različite vrste bronci su kudikamo bolji ležajni materijali od ostalih, koji se primjenjuju samo za specijalne ili određene svrhe.

Kod materijala za blazinice ležaja bitno je da se klizne površine mogu precizno obraditi i tako postići dobra antifrikciona svojstva. Poseban problem pri obradi predstavljaju dijelovi koji otpadaju, jer se pri obradi utiskuju u površinu, te je oštećuju.

Kositrena bijela kovina predstavlja klasični tip antifrikcione slitine. Ta je slitina i dan danas nezamjenjiva, naročito kod laganih i vrlo brzohodnih ležajeva.

U eksperimentalnom dijelu izvršena su ispitivanja mehaničkih svojstva bijelih kovina. Vlačnim ispitivanjem i ispitivanjem tvrdoće je utvrđeno da dolazi do promijene mehaničkih svojstava prilikom uzastopnog prelijevanja preliivenih strugotina bijele kovine. Prema tome zaključujemo da svojstva kliznog sloja od strugotine kovine nikad ne mogu biti jednaka kao svojstva jednom rastaljenih ingota. Dobivene rezultate prilikom naših ispitivanja, ne možemo koristiti kao neku referencu jer ipak moramo imati na umu da se prelijevanje strugotine odvijalo u industrijskim uvjetima, a samim time mogućnosti upada nečistoće i strugotine drugih materijala u talinu su velike. No možemo imati okvirni uvid u promjene mehaničkih svojstava tokom uzastopnog prelijevanja strugotine. Prema dobivenim rezultatima možemo zaključiti da se prva strugotina slobodno koristi za eksploatacijske uvijete kliznih ležajeva, isto kao i nulta strugotina. Drugu strugotinu možemo koristiti samo za ležajeve koji nisu izloženi velikim opterećenjima, dok daljna prelijevanja strugotine i upotreba istih nisu poželjna, upravo zbog promjene mehaničkih svojstava.

Tablica 11. Pad tvrdoće u odnosu na nultu strugotinu, izraženo u postocima

<b>Tvrdoća</b>	<b>TEGOTENAX V840</b>	<b>WM 80</b>
Prva strugotina	6,89 %	5,53 %
Druga strugotina	10,08 %	8,56 %

Tablica 12. Pad vlačne čvrstoće u odnosu na nultu strugotinu, izraženo u postocima

<b>Vlačna čvrstoća</b>	<b>TEGOTENAX V840</b>	<b>WM 80</b>
Prva strugotina	1,14 %	0 %
Druga strugotina	30,68 %	50,52 %

## LITERATURA

- [1] T. Filetin, F. Kovačićek, J. Indof – Svojstva i primjena materijala, FSB
- [2] GLEITLAGERTECHNIK, Th. Goldschmidt AG, 1992
- [3] F. Šipić – M. Kondić KLIZNI LEŽAJEVI, Tehnička knjiga Zagreb, 1986.
- [4] N.Sonički – TEHNIČKI MATERIJALI
- [5] Karl–Heinz Decker ELEMENTI STROJEVA, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [6] <http://cmk.vuka.hr/hr/ispitivanje-materijala/>
- [7] <https://www.ecka-granules.com/home/>
- [8] <http://www.tkl.hr/>
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Klizni\\_le%C5%BEaj](https://hr.wikipedia.org/wiki/Klizni_le%C5%BEaj)

## **PRILOZI**

# Gleitlager–Metallurgie



## Gleitlagerlegierung TEGOTENAX

### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

( % - Masseanteile )

Sn	89,0
Sb	7,5
Cu	3,5

### TECHNOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN

( Durchschnittswerte )

#### Härte und Warmhärte

HB 10/250/180, DIN ISO 4384 Teil 2	20° C	23
	50° C	17
	100° C	10
	150° C	8

#### Beanspruchung auf Zug

0,2 % Dehngrenze	$R_{p0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	46
Zugfestigkeit	$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	77
Dehnung	$A_5$	%	11,2
Elastizitätsmodul	$R_{p0,01}$	N/mm <sup>2</sup>	56500

#### Beanspruchung auf Druck

0,2 % Stauchgrenze	$\sigma_{d0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	20° C	100° C
			47	27
2 % Stauchgrenze	$\sigma_{d2}$	N/mm <sup>2</sup>	76	45
Druckfestigkeit	$\sigma_{dB}$	N/mm <sup>2</sup>	157	100
Bruchstauchung	$\epsilon_{dB}$	%	47	50

#### Bindungsfestigkeit

( Stahl C10, Lagermetalldicke  $\geq 6$  mm )  
( DIN ISO 4386, Teil 2 )

$R_{CH}$	N/mm <sup>2</sup>	75
----------	-------------------	----

#### Dynamische Beanspruchung

Biegewechselspannungsfestigkeit	$\sigma_{bW}$	N/mm <sup>2</sup>	$\pm 29$
---------------------------------	---------------	-------------------	----------

#### Dauerschlagbiegefestigkeit

mittlere Schlagzahl bis zum Bruch			3741
mittlere Schlagarbeit bis zum Bruch	J		1028

### PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

( Durchschnittswerte )

Dichte	$\rho$	kg/dm <sup>3</sup>	7,4
Therm. Längenausdehnungskoeffizient bei 20-100° C		mm (mm*K) <sup>-1</sup> *10 <sup>-6</sup>	23,4
Thermische Analyse			
unterer Schmelzpunkt	° C		233
oberer Schmelzpunkt	° C		360
Gießtemperatur	° C		440

## Prilog 1. Kemijski sastav i mehanička svojstva za TEGOTENAX



**ECKART**   
**POUDMET**  
**DEUTSCHLAND GMBH**  
**GLEITLAGER-METALLURGIE**

Heinz-Bäcker-Straße 26  
D-45356 Essen  
Tel.: 0201/8 61 78-0  
Fax: 0201/8 61 78-17

## Eigenschaften von TEGOTENAX

- Gleitlagerlegierung auf Zinnbasis
- Hoher Reinheitsgrad, bleifrei (< 0,06%)
- Hohe Zähigkeit
- Höchste Schlagbelastbarkeit bei gleichzeitig mittlerer statischer Belastung
- Widerstandsfähig gegen dynamische Schwingungen und Biegewechselbeanspruchung

### Beispiel für den Einsatz

- Höchstbeanspruchte Walzwerklager

### Weitere Dokumentation

- Herstell-Toleranzen der Legierung
- Sicherheitsdatenblatt
- Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204-3.1 B

Essen, 02.01 EPD ko

Diese Information sowie hierzu erteilte Auskünfte erfolgen nach bestem Gewissen, jedoch unverbindlich. Für fehlerhafte oder unterlassene Beratung wird daher keine Haftung übernommen. Ggf. ab-

weichende vertragliche Verpflichtungen bleiben hiervon unberührt. Dieses Merkblatt wird ungültig, sobald es durch ein anderes ersetzt wird. Wir bitten, ggf. bei uns rückzufragen.

## Prilog 2. Upotreba TEGOTENAX-a

# Gleitlager–Metallurgie



## Gleitlagerlegierung SnSb12Cu6Pb (LgSn80)

### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

(% - Masseanteile)

Sn	80,0
Sb	12,0
Cu	6,0
Pb	2,0

### TECHNOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN

(Durchschnittswerte)

#### Härte und Warmhärte

HB 10/250/180, DIN ISO 4384 Teil 2	20° C	27
	50° C	23
	100° C	13
	150° C	7

#### Beanspruchung auf Zug

0,2 % Dehngrenze	$R_{p0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	62
Zugfestigkeit	$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	89
Dehnung	$A_5$	%	3,0
Elastizitätsmodul	$R_{p0,01}$	N/mm <sup>2</sup>	55700

#### Beanspruchung auf Druck

0,2 % Stauchgrenze 2 % Stauchgrenze Druckfestigkeit Bruchstauchung	$\sigma_{d0,2}$ $\sigma_{d2}$ $\sigma_{dB}$ $\epsilon_{dB}$	N/mm <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> %	20° C	100° C
			62	37
			87	69
			189	121
			46	53

#### Bindungsfestigkeit

(Stahl C10, Lagermetallstärke  $\geq 6$  mm)  
(DIN ISO 4386, Teil 2)

$R_{CH}$	N/mm <sup>2</sup>	39
----------	-------------------	----

#### Dynamische Beanspruchung

Biegewechselfestigkeit	$\sigma_{bW}$	N/mm <sup>2</sup>	$\pm 28$
------------------------	---------------	-------------------	----------

#### Dauerschlagbiegefestigkeit

mittlere Schlagzahl bis zum Bruch			490
mittlere Schlagarbeit bis zum Bruch	J		134

### PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

(Durchschnittswerte)

Dichte	$\rho$	kg/dm <sup>3</sup>	7,39
Therm. Längenausdehnungskoeffizient bei 20-100° C		mm (mm <sup>3</sup> K) <sup>-1</sup> *10 <sup>-6</sup>	21,6

#### Thermische Analyse

unterer Schmelzpunkt	° C	183
oberer Schmelzpunkt	° C	400

#### Gießtemperatur

° C	520
-----	-----

## Prilog 3. Kemijski sastav i mehanička svojstva za SnSb12Cu6Pb

**ECKART**   
POUDMET  
**DEUTSCHLAND GMBH**  
GLEITLAGER-METALLURGIE

Heinz-Bäcker-Straße 26  
D-45356 Essen  
Tel.: 0201/8 61 78-0  
Fax: 0201/8 61 78-17

## Eigenschaften von SnSb12Cu6Pb (LgSn80)

- Gleitlagerlegierung auf Zinnbasis
- Standardlegierung nach DIN ISO 4381
- Mittlere statische Belastbarkeit, Biegewechselbeanspruchbarkeit und Schlagbeanspruchbarkeit

### Beispiele für den Einsatz

- Turbinen
- Verdichter
- Elektromaschinen
- Kammwalzen

### Weitere Dokumentation

- Herstell- Toleranzen der Legierung
- Sicherheitsdatenblatt
- Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204-3.1 B

Essen, 07.00 EPD ko

Diese Information sowie hierzu erteilte Auskünfte erfolgen nach bestem Gewissen, jedoch unverbindlich. Für fehlerhafte oder unterlassene Beratung wird daher keine Haftung übernommen. Ggf. ab-

weichende vertragliche Verpflichtungen bleiben hiervon unberührt. Dieses Merkblatt wird ungültig, sobald es durch ein anderes ersetzt wird. Wir bitten, ggf. bei uns rückzufragen.

## Prilog 4. Upotreba legure SnSb12Cu6Pb

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 <small>HRN EN ISO 9001:2009</small>
	<b>IZVJEŠĆE / REPORT</b>	

<b>LABORATORIJ ZA MATERIJALE I TOPLINSKU OBRADU</b> LABORATORY FOR MATERIALS TESTING AND HEAT TREATMENT
--

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA / REPORT ABOUT MATERIALS TESTING			
<b>Radni nalog</b> Work order	-	<b>Naručitelj</b> Purchaser	Završni rad Veleučilište u Karlovcu
<b>Broj crteža</b> Drawing No.	-	<b>Narudžba br.</b> Order No.	-
<b>Materijal</b> Material	V840, WM80	<b>Količina</b> Quantity	2xvlačna čvrstoća; 2xtvrdoća
<b>Norma</b> Standard	-	<b>Tehnički propis</b> Technical Specifications	-
<b>Broj šarže</b> Cast No.	-	<b>Broj probe</b> Test piece No.	-
<b>Dimenzija</b> Dimension	-	<b>Toplinska obrada</b> Heat treatment	-
<b>Predmet</b> Object	Probni uzorak		

MEHANIČKA SVOJSTVA / MECHANICAL PROPERTIES
--

Značajke ispitivanja Test marks	Dimenzija epruvete [mm] Dimension test piece	Granica razvlačenja Re [N/mm <sup>2</sup> ] Yield strenght	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm <sup>2</sup> ] Tensile strenght	Izduženje A [%] Elongation	Kontrakcija Z [%] Contraction	Udarni rad loma KU [J] 20°C Impact energy	Tvrdoća HB Hardness value	Savijanje Bending
Zahtjevano in accordance	Ø12							
Utvrđeno Realized								
V840	Ø12	39	88		6,78		23,8	
WM 80	Ø12	57	97		3,36		32	

Primjedba: Remark:  Izrada završnog rada – Dino Korenić
--

Datum/Date: 14-10-2016	Ispitao/Examined: Ana Fudurić, struč., spec.ing.mech.	Odobrio/Approved: Marijan Brozović, dipl.ing.	Nadzor/Supervision:
---------------------------	--	--	---------------------

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 <small>HRN EN ISO 9001:2009</small>
	<b>IZVJEŠĆE / REPORT</b>	

<b>LABORATORIJ ZA MATERIJALE I TOPLINSKU OBRADU</b> LABORATORY FOR MATERIALS TESTING AND HEAT TREATMENT
--

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA / REPORT ABOUT MATERIALS TESTING			
<b>Radni nalog</b> Work order	-	<b>Naručitelj</b> Purchaser	Završni rad Veleučilište u Karlovcu
<b>Broj crteža</b> Drawing No.	-	<b>Narudžba br.</b> Order No.	-
<b>Materijal</b> Material	V840, WM80	<b>Količina</b> Quantity	2xvlačna čvrstoća; 2xtvrdoća
<b>Norma</b> Standard	-	<b>Tehnički propis</b> Technical Specifications	-
<b>Broj šarže</b> Cast No.	-	<b>Broj probe</b> Test piece No.	-
<b>Dimenzija</b> Dimension	-	<b>Toplinska obrada</b> Heat treatment	-
<b>Predmet</b> Object	Probni uzorak		

MEHANIČKA SVOJSTVA / MECHANICAL PROPERTIES
--

Značajke ispitivanja Test marks	Dimenzija epruvete [mm] Dimension test piece	Granica razvlačenja Re [N/mm <sup>2</sup> ] Yield strenght	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm <sup>2</sup> ] Tensile strenght	Izduženje A [%] Elongation	Kontrakcija Z [%] Contraction	Udarni rad loma KU [J] 20°C Impact energy	Tvrdoća HB Hardness value	Savijanje Bending
Zahtjevano in accordance	Ø12							
Utvrđeno Realized								
V840	Ø11,79	54	87	9,56			22,16	
WM80	Ø12	79	97	2,16			30,23	

Primjedba: Remark:  Izrada završnog rada – Dino Korenić
--

Datum/Date: 18-10-2016	Ispitao/Examined: Ana Fudurić, struč., spec.ing.mech.	Odobrio/Approved: Marijan Brozović, dipl.ing.	Nadzor/Supervision:
---------------------------	--	--	---------------------

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 <small>HRN EN ISO 9001:2009</small>
	<b>IZVJEŠĆE / REPORT</b>	

<b>LABORATORIJ ZA MATERIJALE I TOPLINSKU OBRADU</b> LABORATORY FOR MATERIALS TESTING AND HEAT TREATMENT
--

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MATERIJALA / REPORT ABOUT MATERIALS TESTING			
<b>Radni nalog</b> Work order	-	<b>Naručitelj</b> Purchaser	Završni rad Veleučilište u Karlovcu
<b>Broj crteža</b> Drawing No.	-	<b>Narudžba br.</b> Order No.	-
<b>Materijal</b> Material	V840, WM80	<b>Količina</b> Quantity	2xvlačna čvrstoća; 2xtvrdoća
<b>Norma</b> Standard	-	<b>Tehnički propis</b> Technical Specifications	-
<b>Broj šarže</b> Cast No.	-	<b>Broj probe</b> Test piece No.	-
<b>Dimenzija</b> Dimension	-	<b>Toplinska obrada</b> Heat treatment	-
<b>Predmet</b> Object	Probni uzorak		

MEHANIČKA SVOJSTVA / MECHANICAL PROPERTIES
--

Značajke ispitivanja Test marks	Dimenzija epruvete [mm] Dimension test piece	Granica razvlačenja Re [N/mm <sup>2</sup> ] Yield strenght	Vlačna čvrstoća Rm [N/mm <sup>2</sup> ] Tensile strenght	Izduženje A [%] Elongation	Kontrakcija Z [%] Contraction	Udarni rad loma KU [J] 20°C Impact energy	Tvrdoća HB Hardness value	Savijanje Bending
Zahtjevano In accordance	Ø12							
Utvrđeno Realized								
V840	Ø12	26	61	7,36			21,4	
WM80	Ø12	/	48	0,88			29,96	

Primjedba: Remark:  Izrada završnog rada – Dino Korenić
--

Datum/Date: 21-10-2016	Ispitao/Examined: Ana Fudurić, struč.,spec.ing.mech.	Odobrio/Approved: Marijan Brozović, dipl.ing.	Nadzor/Supervision:
---------------------------	---	--	---------------------