



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ

---



Мр Милан Арсеновић

# Истраживање савремених технологија за континуално ливење бронзе

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2014.



## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>		
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>		
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска документација	
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал	
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторска дисертација	
Аутор, <b>АУ:</b>	Мр Милан Арсеновић	
Ментор, <b>МН:</b>	Проф. др Бранко Шкорић	
Наслов рада, <b>НР:</b>	Истраживање савремених технологија за континуално ливење бронзе	
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	Српски	
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	Српски/Енглески	
Земља публикавања, <b>ЗП:</b>	Република Србија	
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	Аутономна Покрајина Војводина	
Година, <b>ГО:</b>	2014	
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт	
Место и адреса, <b>МА:</b>	Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад	
Физички опис рада, <b>ФО:</b> <small>(поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small>	7 поглавља/ 308 страна/ 90 литературних навода/ 43 табеле/ 317 слика	
Научна област, <b>НО:</b>	Техничке науке	
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Машинство	
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	Континуирано ливење , чврстоћа, метода коначних елемената, термографија, анализа напона , нумеричка симулација	
<b>УДК</b>		
Чува се, <b>ЧУ:</b>	Библиотека Факултета техничких наука	
Важна напомена, <b>ВН:</b>		
Извод, <b>ИЗ:</b>	<p>Континуално ливење се разликује од других процесе очвршћавања по свом природном стабилном стању, у односу на спољног посматрача у лабораторијским референтним условима. Растопљени метал очвршћује према зидовима калупа, док се истовремено повлачи са дна калупа брзином која одржава чврсто/течно на константном положају током времена. Процес функционише најбоље када сви његови аспекти раде у оваквом стабилном стању. Вертикалне машине се користе за континуирани процес ливења. Овај рад истражује утицај брзина протока лива у континуираном процесу ливења . У овом истраживању , су приказани резултати континуираног ливења бронзе. На основу расподеле температуре на површини узорка, током испитивања затезне чврстоће, врши се детекција пукотина. Ова испитивања, користећи методе механике лома, су примењена због сигурности процене металних конструкција. Нумеричка симулација дистрибуције напона, је такође представљена. Резултати су показали, да је термографија погодан метод за праћење и предвиђање прслина и њиховог раста, као и за одређивање критичког напона у току деформација. На крају ових истраживања, може се закључити, да је овај рад допринео развоју и усавршавању технологије за вертикално ливење на доле у значајној мери, како у научној тако и у комерцијалној сфери.</p>	
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	21.10.2010.	
Датум одбране, <b>ДО:</b>		
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: Проф. Др Дамир Какаш, Проф. Др Слободан Стојадиновић Проф. Др Катарина Герић,	
Члан:	Проф. Др Александар Седмак	Потпис ментора
Члан, ментор:	Проф. Др Бранко Шкорић,	





## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monograph documentation
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis
Author, <b>AU</b> :	MSc Milan Arsenović
Mentor, <b>MN</b> :	PhD Branko Škorić, full professor
Title, <b>TI</b> :	Exploration of modern technology for continuous casting bronze
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Autonomous Province of Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2014
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7 Chapters/ 310 Pages/ 90 References/ 43 Tables/ 317 Figures
Scientific field, <b>SF</b> :	Technical science
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Mechanical engineering
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Continuous casting, Strenght, Finite element method, Thermography, Stress Analysis, Numerical simulation
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	Continuous casting is distinguished from other solidification processes by its steady state nature, relative to an outside observer in laboratory frame of reference. The molten metal solidifies against the mold walls, while it is simultaneously withdrawn from the bottom of the mold at rate which maintains the solid/liquid interface at a constant position in time. The process works best when all of its aspects operate in this steady-state manner. Vertical machines are used for continuous casting process. This work investigates the effect of mold flow velocities in continuous casting process. In this research, are the results of continuous casting study of bronze. Based on the distribution of temperature on the surface of the sample, during the tensile test, crack tip are determined. The tests, using the methods of fracture mechanics, were applied due to the safety assessment of metal structures. The numerical simulation of stress distributions, on the same model under the same condition, is presented, too. The results have showed, that thermography is a suitable method for monitoring and prediction of crack initiation and growth, as well as, critical stress in deformations. At the end of these studies, we can conclude that this work has contributed to the development and improvement of technologies for vertical casting to down to a considerable extent, both in science and in the commercial sphere.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	21.10.2010.
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President:
	PhD Damir Kakaš, full professor
	PhD Slobodan Stojadinović, full profesor
	PhD Katarina Gerić, full profesor
Member:	PhD Aleksandar Sedmak, full profesor
Member, Mentor:	PhD Branko Škorić, full profesor
	Menthor's sign

<b>0. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1. TEORIJSKA RAZMATRANJA</b> .....	<b>2</b>
1.1. BRONZANO DOBA .....	2
1.2. NAPREDAK OPREME .....	2
1.3. HEMIJSKA TERMODINAMIKA .....	4
1.3.1. <i>Entalpija i toplotni kapacitet</i> .....	4
1.3.2. <i>Gibsova slobodna energija</i> .....	4
1.3.3. <i>Fazni dijagrami</i> .....	5
1.4. BAKAR I LEGURE BAKRA .....	8
1.5. HOMOGENIZACIJA ODLIVAKA.....	10
1.6. OČVRŠĆAVANJE .....	11
1.6.1. <i>Mikrostruktura</i> .....	14
1.7. MATEMATIČKI MODEL.....	15
1.8. KONTINUALNO SPREJ LIVENJE .....	17
1.9. VRSTE PROCESA KONTINUALNOG LIVENJA .....	21
1.9.1. <i>Beskonačni kalup</i> .....	22
1.9.2. <i>Livenje direktnim hlađenjem u elektromagnetnoj kokili, kristalizadoru</i> .....	26
1.9.3. <i>Proces polu-neprekidnog livenja sa direktnim hlađenjem</i> .....	26
1.9.4. <i>Kontinualno livenje vertikalno nagore</i> .....	28
1.10. GRAFIT .....	30
1.11. PRILOZI.....	33
<b>2. EKSPERIMENTALNI DEO</b> .....	<b>36</b>
2.1. CILJ EKSPERIMENTA .....	36
2.2. POSTROJENJE ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE PROFILA NA DOLE MARS 13–66.....	37
2.2.1. <i>Livna mašina</i> .....	37
2.2.2. <i>Srednjefrekventna livna peć IP 80</i> .....	84
2.2.3. <i>Kristalizador</i> .....	87
2.2.4. <i>Montaža kristalizatora</i> .....	87
2.2.5. <i>Ispravljanje livenih profila</i> .....	95
2.3. PROIZVODNA LINIJA ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE NA GORE, SA STANDARDNIM I ELEKTROMAGNETNIM KRISTALIZATORIMA .....	100
2.3.1. <i>Uređaj za livenje sa dva elektromagnetna kristalizatora</i> .....	101
2.3.2. <i>Elektromagnetni kristalizador</i> .....	118
2.3.3. <i>Montaža kristalizatora za verikalno kontinualno livenje na gore</i> .....	119
2.3.4. <i>Proces proizvodnje zaštitne čaure za kristalizador</i> .....	122
2.4. IZRADA GRAFITNIH KOKILA .....	124

### **3. REZULTATI ISPITIVANJA .....130**

3.1.	ISPITIVANJE MATERIJALA ZATEZANJEM .....	131
3.2.	TEORIJA TERMOGRAFIJE .....	133
3.2.1.	<i>Zračenje crnog tela .....</i>	<i>134</i>
3.2.2.	<i>Merna formula .....</i>	<i>137</i>
3.2.3.	<i>Termografske tehnike merenja .....</i>	<i>138</i>
3.3.	OSNOVNI PRINCIPI THERMACAM™ RESEARCHER PROGRAMA .....	139
3.3.1.	<i>Prikazivanje IR snimka .....</i>	<i>143</i>
3.3.2.	<i>Merenje pojedinačnog snimka .....</i>	<i>144</i>
3.3.3.	<i>Alat izoterme .....</i>	<i>144</i>
3.3.4.	<i>Proučavanje temperaturnih profila .....</i>	<i>144</i>
3.3.5.	<i>Proučavanje raspodele temperature .....</i>	<i>145</i>
3.4.	NELINEARNA STRUKTURALNA ANALIZA PRIMENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA 146	
3.4.1.	<i>Uvodne napomene .....</i>	<i>146</i>
3.4.2.	<i>Inkrementalna formulacija osnovnih jednačina MKE .....</i>	<i>147</i>
3.4.3.	<i>Diskretizacija kontinuuma konačnim elementima .....</i>	<i>151</i>
3.4.4.	<i>Opis ispitno merne opreme - termografija .....</i>	<i>152</i>
3.4.5.	<i>Skenirajući elektronski mikroskop .....</i>	<i>154</i>
3.4.6.	<i>Analiza standardne epruvete kružnog poprečnog preseka primenom metode konačnih elemenata .....</i>	<i>156</i>
3.5.	REZULTATI ISPITIVANJA UZORAKA DOBIJENIH VERTIKALNIM KONTINUALNIM LIVENJEM NA DOLE .....	156
3.5.1.	<i>Rezultati ispitivanja za pun okrugli profil prečnika 41mm .....</i>	<i>163</i>
3.5.2.	<i>Rezultati ispitivanja za pun šestougaoni profil OK27mm .....</i>	<i>198</i>
3.5.3.	<i>Rezultati ispitivanja za cev 45x25 mm .....</i>	<i>206</i>
3.5.4.	<i>Rezultati ispitivanja za šestougaonu cev OK 22x9mm .....</i>	<i>212</i>
3.5.5.	<i>Rezultati ispitivanja uzoraka za vertikalno kontinualno livenje na gore u elektromagnetnom kristalizatoru .....</i>	<i>215</i>

### **4. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA ISPITIVANJA .....231**

4.1.	METALOGRAFSKA ANALIZA .....	231
4.2.	ANALIZA STANDARDNE EPRUVETE PRIMENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA .....	232
4.3.	ANALIZA TERMOGRAFSKIH ISPITIVANJA .....	233
4.4.	ANALIZA MEHANIČKIH ISPITIVANJA .....	234
4.5.	UTICAJ BRZINE LIVENJA I KORAKA POVLAČENJA ODLIVKA, NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE LIVENIH PROFILA, DOBIJENIH VERIKALNIM KONTINUALNIM LIVENJEM NADOLE .....	240
4.6.	UTICAJ KORAKA POVLAČENJA ODLIVKA NA ZATEZNU ČVRSTOĆU I RELATIVNO IZDUŽENJE, LIVENOG PUNOG PROFILA, PREČNIKA 24MM, LIVENOG VERTIKALNIM KONTINUALNIM LIVENJEM NA GORE, BEZ ELEKTROMAGNETNOG POLJA U KRISTALIZATORU .....	251

4.7. UTICAJ FREKVENCE ELEKTROMAGNETNOG POLJA U KRISTALIZATORU, NA ZATEZNU ČVRSTOĆU I RELATIVNO IZDUŽENJE LIVENOG PUNOG PROFILA PREČNIKA 24MM, LIVENOG VERTIKALNIM KONTINUALNIM LIVENJEM NA GORE .....	252
<b>5. OPTOMIZACIJA I UNAPREĐENJE POSTROJENJA ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE BRONZANIH PROFILA NA DOLE .....</b>	<b>253</b>
5.1. OPTIMIZACIJA DIMENZIJA KRISTALIZATORA I GRAFITNE KOKILE .....	253
5.2. NOVA KONSTRUKCIJA KRISTALIZATORA ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE TANKOZIDNIH BRONZANIH CEVI PREČNIKA IZMEĐU 45 I 66 MM.....	259
5.3. UNAPREĐENJE POGONSKOG I STEZNOG DELA LIVNE MAŠINE .....	260
<b>6. BAZA ZNANJA ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE NA DOLE .....</b>	<b>262</b>
<b>7. ZAKLJUČAK I PRAVCI DALJEG ISTRAŽIVAČKOG RAZVOJA .....</b>	<b>301</b>
<b>8. LITERATURA.....</b>	<b>303</b>

## **0. UVOD**

*Višegodišnja istraživanja u oblasti kontinualnog livenja, počevši od 1992 godine do današnjeg dana, doprinela su da autor ovog rada razvije sopstvenu opremu kao i tehnologiju za procese vertikalnog kontinualnog livenja, kako na dole tako i na gore.*

*Kroz izradu magistarskog rada pod nazivom OPTIMIZACIJA PLASTIČNIH SVOJSTAVA LIVENE BAKARNE ŽICE PRIMENOM NEURONSKIH MREŽA, autor dobija značajne podatke o međusobnoj zavisnosti parametara livenja na karakteristike odlivaka. Upravo ti podaci dobijeni kroz izradu magistarskog rada postaju baza za dalji razvoj sopstvene opreme i tehnologije.*

*Radno iskustvo stečeno tokom rada u Institutu za bakar u Boru, je bilo presudno za dalje usavršavanje i razvoj tehnologija za kontinualno livenje koje su opisane u ovom radu.*

*Saradnja sa firmama MIKROKONTROL iz Beograda, Eling iz Loznice i JIM Tim iz Gornjeg Milanovca je rezultirala da već 2005 godine autor krene u razvoj sopstvene opreme za vertikalno kontinualno livenje na dole. Osnivanjem firme SIA MARS Conticast Technologies, koja kasnije menja naziv u SIA MARS Casting technologies omogućena je proizvodnja i prodaja razvijene opreme firmi KMM Metals iz Rige. Puštanjem u rad ove opreme ona je kontinualno unapređivana kao i tehnologija. Od 2010 godine, autor kreće u razvoj opreme za vertikalno kontinualno livenje na gore u standardnim i elektromagnetnim kristalizatorima. Prvo takvo postrojenje je takođe instalirano u firmi KMM Metals iz Rige. Postojeća oprema u toj firmi u poslednjih nekoliko godina radi sa proizvodnjom oko 5000 tona livenih profila na godišnjem nivou.*

*Razvojem opreme i tehnologije za vertikalno livenje kako na dole tako i na gore, javila se i potrebna da se kroz naučna istraživanja, postojeća oprema i tehnologija još više usavrši, kako bi se dobila jeftinija tehnologija sa što kvalitetnijim odlivkom i manjim procentom škarta. Iz navedenih razloga, svi uzorci korišćeni u ovom radu uzeti su u industrijskim uslovima u firmi KMM Metals. Dvogodišnje naučno istraživanje, pored rezultata eksperimentalnih istraživanja, obuhvata i rezultate praćenje uticaja konstrukcije opreme, počevši od parametara livnih peći i kristalizatora do livne mašine, na kvalitet i brzinu livenja.*

*Sva ispitivanja uzoraka, osim dopunskih, koja su urađena u firmi KMM Metals, su zbog objektivnosti dobijenih rezultata rađena u Srbiji. Mehanička ispitivanja urađena su u Institutu GOSA - Smederevska Palanka, metalografska ispitivanja i snimanja na elektronskom mikroskopu, na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom sadu.*

*Većina dobijenih rezultata iz ovog rada koja se odnose na tehnologiju vertikalnog kontinualnog livenja na dole je već primenjena na opremi i tehnologiji u Firmi KMM metals u Rigi, dok su dobijeni rezultati za tehnologiju vertikalnog livenja na gore osnova za dalji razvoj i usavršavanje ove tehnologije kako u tehnološkom tako i u komercijalnom smislu.*

# 1. TEORIJSKA RAZMATRANJA

## 1.1. Bronzano doba

Bronzano doba je počelo na Bliskom istoku oko 3000 godina pre nove ere. Prva bronza se mogla nazvati standardnom legurom arsenastog bakra, koja obično sadrži 4% arsena. Može se prepoznati po srebrnkastom izgledu površine, koja nastaje kao rezultat inverzne segregacije niskotopljivih faza bogatih arsenom, na površini. Upotreba 5 do 10% kalaja kao elementa za legiranje bakra, ima očigledne prednosti pri snižavanju tačke topljenja, deoksidacije rastopa, poboljšanju čvrstoće, kao i dobijanju lepih i lako poliranih livenih površina. Postoji nekoliko hipoteza koje objašnjavaju razvoj kalajne bronz. Jedna je takozvana prirodna legura, odnosno mešovita ruda bakra i kalaja, dok drugu predstavlja ruda kalaja u obliku kasiterita koja može biti direktno dodata u rastopljeni bakar (C.S Smith, 1981).

Bronzano doba na Dalekom istoku je počelo oko 2000 godina pre nove ere, odnosno više od jednog milenijuma nakon njegovog nastanka na Bliskom istoku. Još uvek nije jasno da li je nastalo u Kini ili negde drugde u jugoistočnoj Aziji, ali su i dalje energični naponi da se otkriju i interpretiraju rane lokacije metalurgije na Tajlandu. Livenje je bio dominantan metod u oblikovanju metala na Dalekom istoku. Postoji vrlo malo dokaza o drugim metodama obrade metala u Kini, pre oko 500 godina pre nove ere. Stare kineske livene bronzane posude bile su takve složenosti da se donedavno mislilo da su livene metodom isparavajućeg voska. Ovo je bilo takođe i mišljenje kineskih naučnika u poslednjih nekoliko vekova, sve dok 1920. godine nisu otkriveni fragmenti kalupa od keramike, što je navelo na preispitivanje hipoteze isparavajućeg voska (B.L. Simpson, 1948).

Kineski kalup je bio kalup od keramike, obično od mnogobrojnih zasebnih delova. Zidovi delova sudova livenih u tim kalupima su veoma tanki, što svedoči o vrlo finoj kontroli dizajna kalupa i ulivanja rastopljenog metala (Behzad B. i dr., 2006).

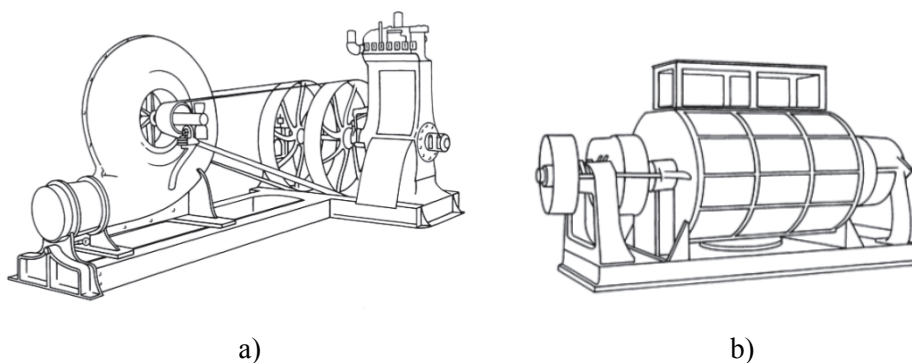
## 1.2. Napredak opreme

Kontinualno livenje i poboljšanje peći u periodu oko 80 godina tokom 19. veka, dovelo je do razvoja i livačkih alata koji su bili superiorniji od bilo kojih do tada poznatih (M.M. Wolf, 2006; H.F. Schrewe, 1991; W.R. Irving, 1993; "Continuous Casting," in The Making, 2001; A. Cramb, 1991; Continuous Casting, 1979-1997). Sa efikasnom i ekonomičnom opremom za topljenje, livačka industrija je bila u stanju da razvije i metaluršku hemiju. Zajedno sa poboljšanjem tehnike livenja omogućeno je da se ekonomično proizvode visoko kvalitetni delovi. Nove peći uvedene tokom 19. veka nisu zadovoljile sve potrebe industrije, ali su se sa druge strane i drugi segmenti u livnici ubrzano unapređivali. Peći su dopunjene novim duvaljkama i sistemima za ulivanje metala, razvijena je mikroskopska analiza metala, mehanički punjači kao i mnogi drugi alati koji su najčešće prihvaćeni u savremenoj praksi

livnice (Hurst S., 1996).

Metalografija je razvijena u Engleskoj 1863. godine. Hemijska analiza je bila dostupna i ranije, ali se tada prvi put radilo na poliranju, nagrizanju i mikroskopskim ispitivanjima metalne površine za analizu. Henry Clifton Sorby je prvi postao zainteresovan i razvio mikroskopiju kao pomoćno sredstvo u proučavanju meteorita. Njegov rad na površini metala je ubrzo postao mnogo važniji od industrijske tačke gledišta, jer je omogućio da se poboljšaju znanja iz livačke prakse i da se dopuni iskustvo hemijske analize pre korišćenja metalografije.

Topljenje metala je dodatno potpomognuto razvojem duvaljki posebno dizajniranih da zadovolje livačke potrebe (Campbell J., 2003). Parna mašina i mehozi za vodu su se pokazali od velike koristi u livnicama jer su omogućili više temperature i kraće vreme topljenja. Mehaničke duvaljke su počele da se koriste kao komercijalni uređaji negde posle sredine 19. veka. Bilo je dva tipa ovakvih duvaljki, ciklon i tip kutije. Oba tipa su prikazana na slici 1.1 i dobro su poznati i danas.



**Slika 1.1.** Dve vrste duvaljki razvijene za upotrebu u livačkoj industriji; a) ciklon tip, b) tip kutije (C.S Smith, 1981)

Jedan od važnih koraka u razvoju tehnologije livenja je razvoj mašine sa kalupima, bez koje bi savremena livnica bila nesposobna za masovnu proizvodnju. Na prelazu iz 19. veka, kako u Evropi, tako i u Americi, livačke metode su znatno poboljšane, ali je 19. vek doneo i dramatična poboljšanja u metalima, opremi i procesima. Mogućnosti gvožđa postaju daleko bolje razumljivije u toku ovog veka i utvrđeno je da je sivi liv najviše prilagodljiv od svih livenih metala. Kao rezultat toga, upotreba gvožđa za odlivke je znatno povećana, kao i upotreba fino livenog čelika.

Sa dodavanjem sivog liva, kovanog gvožđa i čelika u grupu metala za oblikovanje livenjem, povećala se i pažnja za unapređenje opreme i metoda za ubrzani rast industrije odlivaka. Sa razvojem mašina za livenje ubrzo se shvatilo da je od suštinskog značaja i mešoviti materijal za kalupljenje (P. Beeley, 2001). Proizvodnja jezgra je takođe standardizovana i već 1888. godine se pojavljuju velike prostorije pune radnika za proizvodnju jezgara (C.A. Sanders i dr., 1976).

Dvadeseti vek je počeo bez ikakve naznake dramatičnih promena koje će računari i automatizacija doneti oko 1960. godine. Promene u opremi i metodama će biti sasvim očigledne. Uz minimalan fizički napor, radnici proizvode sve sofisticiranije oblike, za manje vreme, na sve više složenijim mašinama.

### 1.3. Hemijska termodinamika

Postoje tri termodinamička zakona koji obezbeđuju osnovu za relacije koje opisuju hemijske sisteme. Ovi zakoni smatraju da perpetuum mobile i temperatura apsolutne nule nikada ne mogu biti postignuti. Odnos između termodinamičkih zakona i na primer, faza dijagrama nije odmah očigledna. Međutim, veza postoji i svedoči o briljantnom teorijskom radu sprovedenom tokom poslednjih sto godina. Za metalurške sisteme, najvažnije termodinamičke promenljive su entalpija i Gibsova slobodna energija. Jedna reguliše raspored toplote, a druga upravlja hemijskom ravnotežom (Y.K. Rao, 1985).

#### 1.3.1. Entalpija i toplotni kapacitet

Toplota sadržana u materijalu se naziva entalpijom  $H$ . Pošto je vrednost entalpije proporcionalna iznosu prisutnog materijala,  $H$  je obično data tabelarno kao entalpija po jedinici mase. Zajednička jedinica za  $H$  je Džul/mol ili kalorija/gram. Dakle, ukupna entalpija  $n_i$  mola, materijala  $i$  iznosi:

$$(H_i)_{total} = n_i H_i \quad (1.1)$$

Za mešavinu materijala, ukupna entalpija je zbir pojedinačnih entalpija:

$$H_{total} = \sum_i n_i H_i \quad (1.2)$$

Toplotni kapacitet  $C_p$ , dat u Džul/mol·K, je mera koliko entalpija  $H$  varira sa temperaturom i definiše se kao:

$$C_p = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (1.3)$$

gde  $p$  u indeksu ukazuje da se vrednosti odnose na uslove konstantnog pritiska.

Entalpija i toplotni kapacitet regulišu termičko stanje sistema i toplote generisane ili apsorbirane hemijskom reakcijom. Ove promenljive su naročito važne za uspostavljanje energetske uslova procesa, za određivanje stope solidifikacije i za proces termičke obrade.

#### 1.3.2. Gibsova slobodna energija

Hemijska ravnoteža je stanje u kojem hemijske komponente sistema nemaju tendenciju da se menjaju (Thomas, B.G., 2001). U mehaničkim sistemima, ravnoteža se shvata kao stanje u kojem je potencijalna energija na minimumu.

Analogno tome, za hemijske sisteme na konstantnoj temperaturi i pritisku, hemijska ravnoteža je postignuta kada je Gibsova slobodna energija na minimumu ili ekvivalentna sa jednačinom:

$$dG(P, T, n_i, \dots) = 0 \quad (1.4)$$

Za sisteme u kojima se može pojaviti hemijska promena,  $dG$  se može izraziti u vidu



parcijalne diferencijalne jednačine:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P,n_i...} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{T,n_i...} + dP + \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P,T,n_i...} dn_i + \dots \quad (1.5)$$

gde je  $n_i$  skraćenica za molove komponente  $i$ . Izraz  $(\partial G / \partial n_i)_{P,T,n_i...}$  se naziva parcijalna molarna slobodna energija  $G_i$ , ili hemijski potencijal.

Iz jednačine j.04 i j.05 je jasno da u ravnoteži i na konstantnoj temperaturi i pritisku, postoji sledeći odnos:

$$0 = \bar{G}_i dn_i + \bar{G}_j dn_j + \dots \quad (1.6)$$

Kada se pojave promene u sastavu diktirane od strane hemijske reakcije, stehiometrija obezbeđuje vezu između  $dn_i, dn_j, \dots$  i tako dalje, pa se jednačina j.06 može transformisati u:

$$0 = v_i \bar{G}_i + v_j \bar{G}_j + \dots \quad (1.7)$$

gde su  $v_i, v_j, \dots$  i tako dalje, stehiometrijski koeficijenti u jednačini hemijske reakcije.

Za proizvode i reaktante, stehiometrijski koeficijenti su pozitivni i negativni brojevi, respektivno. Na primer, za hemijsku reakciju:



pa jednačina j.07 postaje

$$0 = 2\bar{G}_{Al_2O_3} - 4\bar{G}_{Al} - 3\bar{G}_{O_2} \quad (1.19)$$

### 1.3.3. Fazni dijagrami

Fazni dijagram opisuje faze koje koegzistiraju u ravnoteži. Pošto je uključena hemijska ravnoteža, fazni dijagram ima termodinamičke osnove. Za fišefazne sisteme, uslov ravnoteže je da parcijalna slobodna molarna energija ili hemijski potencijal svake komponente budu isti u svim fazama ( $\alpha, \beta, \dots$ ):

$$\Delta \bar{G}_i^\alpha = \Delta \bar{G}_i^\beta \quad (1.10)$$

Tako na primer, hemijski potencijal ugljenika u ugljen-zasićenom gvožđu je isti kao grafita, uprkos manje od 5% težine ugljenika u zasićenom gvožđu. Slična situacija postoji u odnosu silicijum/aluminijum-silicijum ravnoteži legura, gde hemijski potencijal čistog silicijuma odgovara sa manje od 15% težine silicijuma u rastvoru.

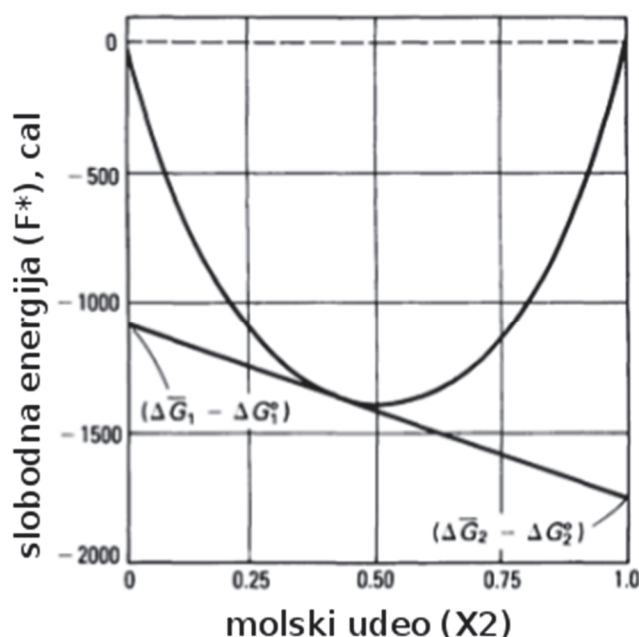
Fazni dijagram opisuje stabilnost veze za jedinjenja i rastvore (čvrstih i tečnih). Da bi se konstruisao slobodan energo-kompozicioni grafik, mora biti zadovoljen uslov:

$$\Delta G = X_1 \Delta \bar{G}_1 + X_2 \Delta \bar{G}_2 \quad (1.11)$$

Promena slobodne energije u formiranju jednog mola idealnog, binarnog rastvora iz komponenti u čistom standardnom stanju je predstavljena jednačinom:

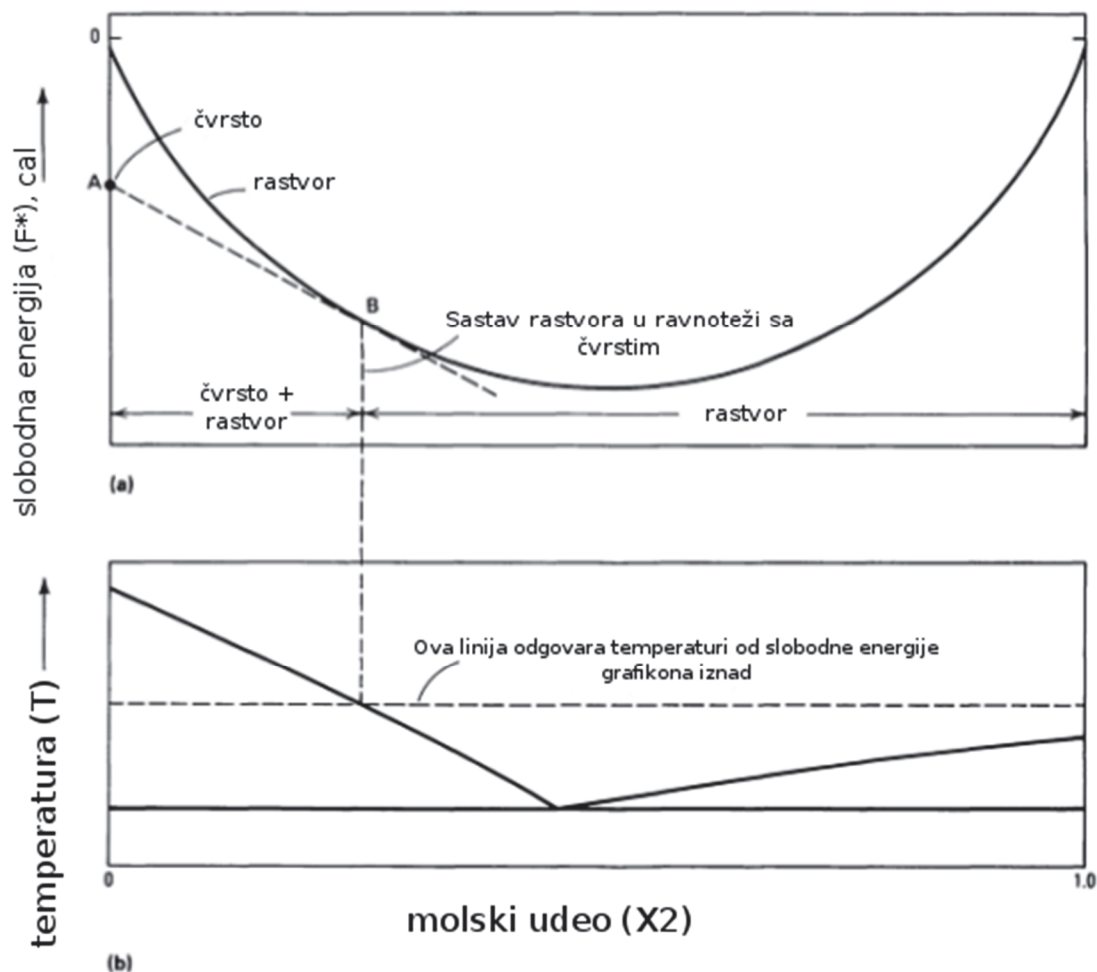
$$F' = \Delta G - (X_1 \cdot \Delta G_1^\circ + X_2 \cdot \Delta G_2^\circ) = RT(X_1 \cdot \ln X_1 + X_2 \cdot \ln X_2) \quad (1.12)$$

Slobodna energija u funkciji od  $X_2$  je data na slici 1.2. Jasno se vidi da je  $F' < 0$  sa minimumom u  $X_2 = 0,5$ . Za neidealne rastvore kriva može biti veća ili manja od idealne linije i može biti asimetrična. Može se uočiti da će presek tangente u bilo kojoj tački na krivi dati  $(\Delta \bar{G}_1 - \Delta G_1^\circ)$  i  $(\Delta \bar{G}_2 - \Delta G_2^\circ)$ . Ovo su parcijalne molarne slobodne energije rastvora iz tečnog standardnog stanja. Za metalne rastvore  $\Delta G_i^\circ = 0$ , pa se  $\Delta \bar{G}_i$  dobija direktno sa grafika.



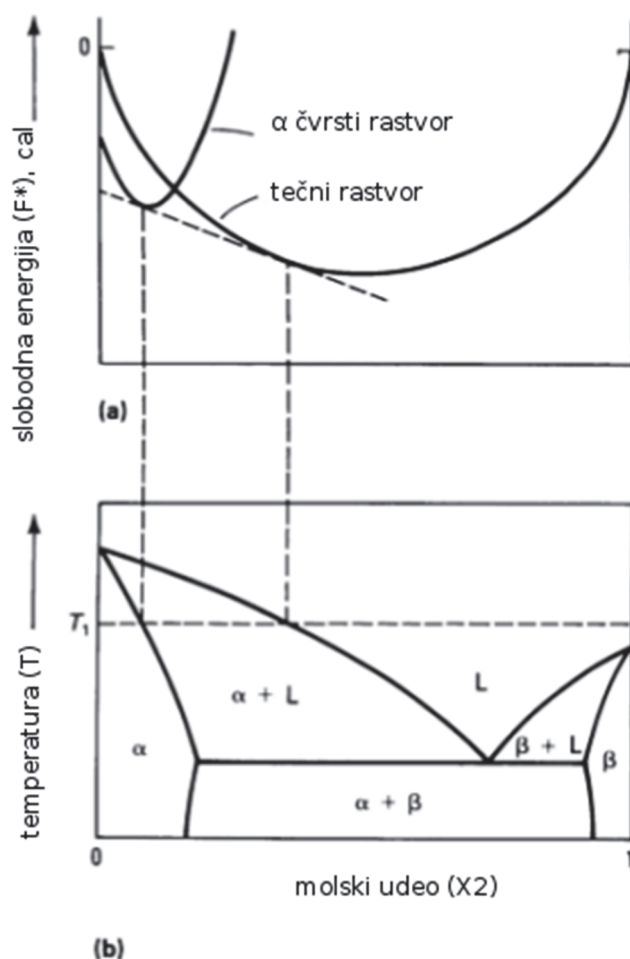
**Slika 1.2.** Slobodna energija formiranja idealnog rastvora iz tečnih komponenti u čistom standardnom stanju materijala (L.S. Darken, 1950)

Slobodna energija faze prikazane definisane kompozicije je predstavljena kao tačka na dijagramu slobodna energija-kompozicija. Ako je takva faza u ravnoteži sa rastvorom, ravnoteža rastvora i jedinjenja mora da leži duž iste tangente linije, kako bi i dalje važila jednačina j.10. Ovaj uslov je ilustrovan na slici 1.3(a). Slika 3(b) pokazuje fazni dijagram koji proizilazi iz termodinamičkih ograničenja. Na slici 1.3(a)  $F' < 0$  za čiste čvrste faze 1, zato što je tečnost izabrana kao standardno stanje, i na izabranoj temperaturi tečnost je manje stabilna nego čvrsto stanje (L.S. Darken, 1950).



**Slika 1.3.** Odnos između slobodne energije-sastava (a), i temperature-sastava (b), za ravnotežu između rastvora i čiste čvrste komponente (L.S. Darken i dr., 1956)

Ravnateža između tečnog i primarno čvrstog rastvora je prikazana na slici 1.4. Sa slike se vidi da se odgovarajuća ravnateža koncentriše duž zajedničkihe tangente, i na taj način ispunjava uslov ravnateže izražen jednačinom 10. Fazni dijagram koji proizilazi iz ovih uslova dat je na slici 1.4(b) (L.S. Darken i dr., 1950).



**Slika 1.4.** Dijagram odnosa između slobodne energije-sastava (a), i temperature-sastava (b), za ravnotežu između tečnog i primarno čvrstog rastvora (L.S. Darken i dr., 1956)

Za male vrednosti  $X_2$ , teorijski postoji jedan ili drugi rastvor. Očekuje se da bude prisutna čvrsta faza, zato što je stabilnija (manje  $F^*$ ). Ako po osnovu faktora kao što je brzo hlađenje dođe do zadržavanja tečne faze u regionu u kome je čvrsta stabilnija, nastali bi metastabilni uslovi. Ovo nije neuobičajeno u metalurškim sistemima. Uobičajeni primeri su cementit ( $Fe_3C$ ), koji je metastabilan u odnosu na gvožđe i grafit, i staklasto stanje šljake, koje je metastabilno u odnosu na kristalno jedinjenje.

#### 1.4. Bakar i legure bakra

Bakar se legira sa drugim elementima, jer se čist bakar izuzetno teško lije (R. Wilson, 1999). Livačke karakteristike bakra mogu se poboljšati dodavanjem male količine elemenata, kao što su berilijum, silicijum, cink, kalaj, nikl, hrom i srebro. Bakarne legure u livenom obliku su specifikovane po faktoru kao što su zatezna i pritiska čvrstoća, osobine habanja kada su izložene metal-metal kontaktu, obradljivosti pomoću mašina, toplotna i električna provodljivost, izgled i koroziona otpornost (J. M. Han, 1997). Svi ovi faktori se moraju

razmatrati da bi se maksimizovala efikasnost proizvoda (Casting Copper-Base Alloys, 1984).

Familija legura za livenje na bazi bakra može se podeliti u tri grupe:

- Prva grupa su legure koje imaju uzan opseg očvršćavanja, odnosno 50°C između likvidusa i solidusa.
- Druga grupa su legure sa srednjim opsegom očvršćavanja, od 50-110°C između likvidusa i solidusa.
- Treća grupa legura ima širok opseg očvršćavanja. Ove legure imaju opseg očvršćavanja i preko 110°C, pa čak i do 170°C.

Legure prve grupe imaju nominalni hemijski sastav i tipične mehaničke osobine prikazane u prilogu 1.<sup>i</sup> Tu se nalaze žuti mesing, mangan i aluminijum bronza, nikl bronza, legure mangan bronze, hrom bakar i bakar.

Legure u drugoj grupi imaju nominalni hemijski sastav i tipične mehaničke osobine prikazane u prilogu 2.<sup>ii</sup> Tu se nalaze berilijum bakarne legure, silicijum bronza, silicijum mesing i bakar-nikl legure.

Treća grupa legura ima nominalni hemijski sastav i tipične mehaničke osobine prikazane u prilogu 3.<sup>iii</sup> Tu spadaju olovni crveni i polucrveni mesing, kalaj i olovno kalajna bronza, i visoko olovno kalajno-bronzane legure.

Livene legure bakra imaju širok spektar primene i koriste se u svakoj tržišnoj kategoriji, od vodovodne instalacije do preciznih elektronskih komponenti za nautiku i nuklearnu opremu. Legure bakra se biraju zbog njihove odlične korozione otpornosti i povoljnih mehaničkih osobina, dobrih osobina na trenje i habanje, kao i gore spomenute, visoko električne i toplotne provodljivosti (J. M. Han, 1997). Poput drugih livenih materijala, očvršćavanje legura na bazi bakra se obično odvija nukleacijom i rastom dendrita u bakrom bogatom rastvoru sa površinski centriranom kubnom rešetkom. Problemi koji se mogu javiti mogu uključiti mikrosegregaciju legiranih elemenata u okviru dendritne strikture, kao i prisustvo međudendritnih faza (G. F. Comstoc, 1918). Pored toga, moguće su i transformacije koje se dešavaju i kod fero i aluminijum legura, kao što su transformacija čvrste faze, eutektična transformacija i martenzitna transformacija. Odgovarajući fazni dijagram je trostruki u kojem je Ni potpuno rastvorljiv u Cu u čvrstom stanju, i Sn koji je rastvorljiv oko 13% mase u čvrstom stanju (Karl B. Rundman).

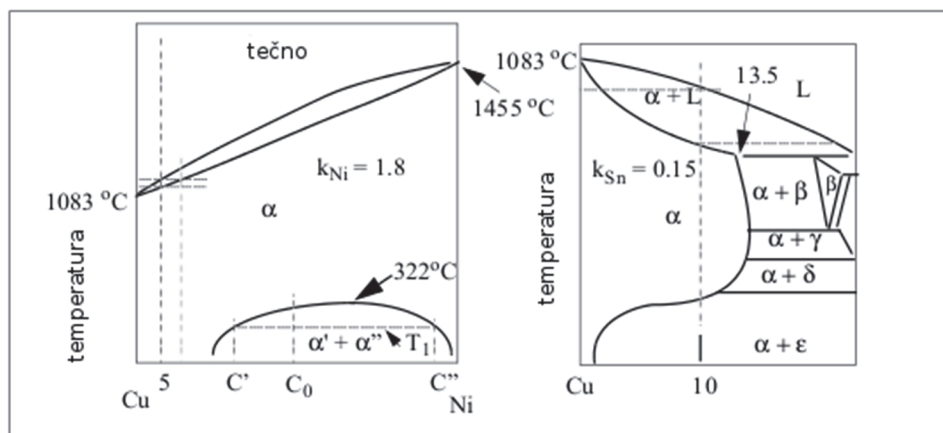
Šematski fazni dijagram Cu-Ni i Cu-Sn sistema je prikazan na slici 1.5.

---

i Prilog 1, na strani 33

ii Prilog 2, na strani 34

iii Prilog 3, na strani 35

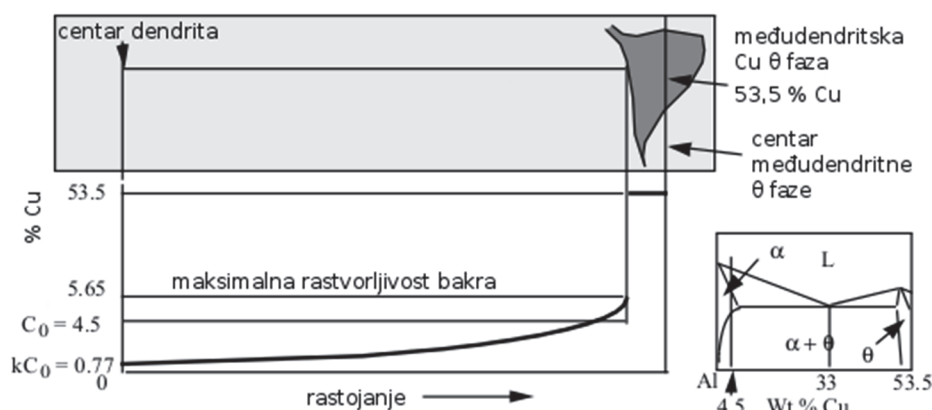


Slika 1.5. Fazni dijagram Cu-Ni i Cu-Sn sistema (Karl B. Rundman)

Ispitivanje binarne faze dijagrama prikazuje kompletnu rastvorljivost nikla (Ni) u bakru (Cu), u čvrstom rastvoru  $\alpha$ , i rastvorljivost oko 13% kalaja (Sn), takođe u  $\alpha$ . Cu - Ni fazni dijagram sadrži mešoviti jaz na niskim temperaturama, gde se jednofazni čvrsti rastvor  $\alpha$  sastava  $C_0$  razdvaja u dve faze  $\alpha' + \alpha''$ , sastava  $C'$  i  $C''$  respektivno na temperaturi  $T_1$ . Faze su identične kristalne strukture kao  $\alpha$ , ali sa različitim kompozicijama. Takođe se može primetiti da je Cu - Sn fazni dijagram prilično složen, sa velikim brojem intermetalnih faza, prezentovanih u ravnoteži sa  $\alpha$  između temperature topljenja i sobne temperature.

### 1.5. Homogenizacija odlivaka

Većina legiranih odlivaka ima segregaciju prisutnu u livenoj strukturi, koja je obično štetna za mehaničke osobine. Segregacija može da poprimi oblik preliivanja u sastavu, preko dendrita, ili preko interdendritna faza što ne bi bilo dobro prezentovano na ravnotežu. Uklanjanje ili eliminisanje segregacije zahteva zagrevanje na temperaturama blizu tačke topljenja i držanje u periodu dovoljnom da omogući difuziju uključenih atomskih vrsta (J. Campbell, 2004). Deo Al-Cu faznog dijagrama, mikrostruktura i očekivani gradijent bakra za Al-4.5% Cu leguru je dat na slici 1.6.



Slika 1.6. Deo Al-Cu faznog dijagrama, mikrostruktura i očekivani gradijent bakra za Al-4.5% Cu leguru (Aaron H. B., 1970)

Sa gornje skice koncentracije Cu naspram rastojanja se može videti da je značajan deo bakra prisutan u  $\theta$  fazi. Stoga  $\theta$  faza sadrži 3% (4.5-1.5) bakra i to objašnjava 6% težine međudendritne  $q$  faze u uslovima livenja kao u leguri u kojoj struktura ravnoteže ne sadrži  $\theta$  fazu nakon kompletne solidifikacije.

Brzina kojom će  $\theta$  faza biti rastvorena u  $\alpha$  fazu je funkcija koeficijenta difuzije bakra u matricu  $D_{Cu}$ , i sekundarnog razmaka dendritnih krakova  $d$ . Promena zapremine frakcije  $\theta$  faze  $X_\theta$  sa vremenom, na temperaturi, dato je izrazom:

$$X_\theta = X_{\theta_0} \exp - [\pi^2 Dt/d^2] \quad (1.13)$$

gde je:  $X_{\theta_0}$  = zapremina delatna u uslovima livenja,  $t$  = vreme.

Termička obrada za homogenizaciju zahteva da se odlivak zagreje više od polja  $\alpha$  faze, na temperaturi oko 529 do 570°C. Može se videti u gornjoj jednačini da će se vrednost  $X_\theta$  eksponencijalno smanjivati sa vremenom sve dok se sve međudendritne faze ne rastvore u dendritnoj matrici (za  $t$ =beskonačno). Jasno je da ovo nije praktično moguće, pa možemo pretpostaviti da je 95%  $\theta$  faze prihvatljiv iznos koji će biti rastopljen u  $\alpha$  matrici, dajući izraz za vreme homogenizacije,  $t_H$ :

$$t_H = -\ln [0,05d^2]/\pi^2 D_{Cu} \quad (1.14)$$

Za sve Al-Cu legure,  $D_{Cu} = 0.29 \exp[-15662/T]$ , ( $cm^2/sec$ ), gde je  $T$  apsolutna temperatura u °K. Takvo realno vreme homogenizacije veoma zavisi od temperature  $T$  i rastojanja dendritnih krakova  $d$ .

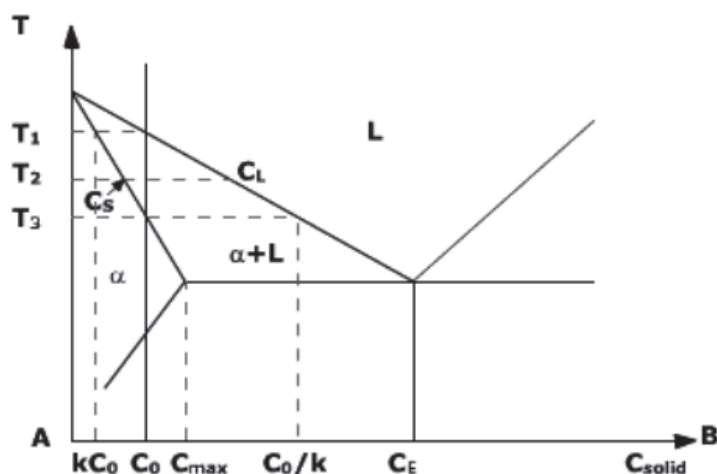
## 1.6. Očvršćavanje

Solidifikacija se uglavnom javlja pod termičkim ili hemijskim gradijentima i ne može se smatrati kao proces ravnoteže. Međutim, lokalna termodinamička ravnoteža na interfejsu se može smatrati da postoji onda kada strukturalne jedinice mogu naći zadovoljavajuću poziciju u svom okruženju. Ako označimo koeficijent difuzije površine sa  $D_s$ , i tipičnu veličinu strukturalne jedinice sa  $a$ , brzina površine jedinice  $V_u$  se može uporediti sa brzinom interfejsa  $v_i$ , preko jednačine:

$$\frac{V_u}{v_i} = \frac{D_s}{av_i} \quad (1.15)$$

Na nižim brzinama, termodinamički podaci, a posebno fazni dijagram u slučaju legura, mogu se bezbedno koristiti. Na primer, temperatura  $T_i$  interfejsa neke legure, može se izračunati iz nagiba likvidusa (koji je generalno negativan, slika 1.7), pomoću jednačine:

$$T_i = T_m + m_l c_i \quad (1.16)$$



Slika 1.7. Tipičan fazni dijagram i negativni nagib likvidusa

Međutim, termodinamička ravnoteža je uspostavljena samo u slučaju mirovanja interfejsa. Kako bi se premestio, potrebno je uvesti blago odstupanje od ravnoteže. U slučaju očvršćavanja, ovo je kinetičko pothlađenje, izmjereno kao razlika između termodinamičke temperature topljenja  $T_m$  i stvarne temperature  $T_i$  pokretnog interfejsa, prikazano jednačinom 1.18 (Aaron H. B. i dr., 1970).

$$\Delta T_k = T_m - T_i \quad (1.17)$$

U slučaju višestrukog interfejsa, rast može doći samo od nukleacije klastera na perfektno ravnoj površini. Kada se klaster kreira, cela površina je brzo pokrivena, tako da je ograničavajući faktor brzine zapravo korak stvaranja klastera. To daje eksponencijalnu promenu brzine interfejsa sa pothlađenjem, a zatim se rast javlja samo na visokim vrednostima pothlađenja.

Odnos između brzine i podhlađenja, za nesavršeni višestruki interfejs je dat jednačinom:

$$v_i = K_f \Delta T_k^n \quad 1 < n < 4 \quad (1.18)$$

$K_f$  je kinetički koeficijent koji zavisi od broja defekata na površini i od njihovih kristalografskih orijentacija.

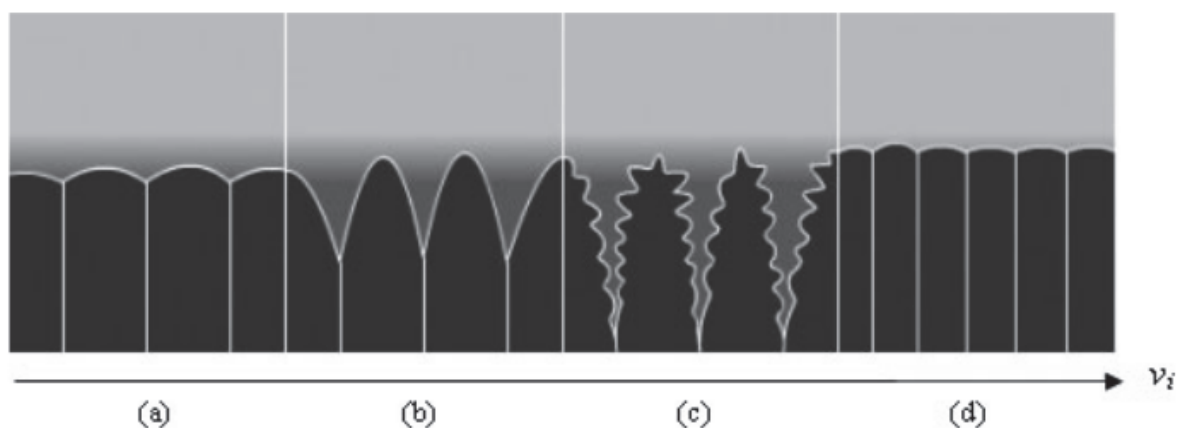
U slučaju grubog interfejsa, brzina se izračunava pomoću jednačine:

$$v_i = K_r \Delta T_k \quad (1.19)$$

$K_r$  je reda veličine 1, i pokazuje da je za klasični metalurški ili kristalni rast ( $10^{-6} - 10^{-4} \text{ms}^{-1}$ ) stopa kinetičkog podhlađenja veoma niska za grube interfejse i može se zanemariti.

Morfologija čvrsto-tečnog interfejsa se menja sa procesnim parametrima sastava legure, gradijentom toplote i stopom očvršćavanja. Na slici 1.8 je prikazana promena kada se povećava stopa očvršćavanja. Slični dijagrami se mogu prikazati kao funkcija sastava legure ili termičkog gradijenta (Bennema P., 1993)





**Slika 1.8.** Evolucija čvrsto-tečne morfologije interfejsa za povećanjem brzine: (a) planarni interfejs posmatran u jednokristalnom porastu, (b) čelijska struktura, (c) dendriti, koji se mogu videti u klasičnim metalurškim procesima, (d) ravan interfejs dobijen brzim očvršćavanjem (Bennema P., 1993)

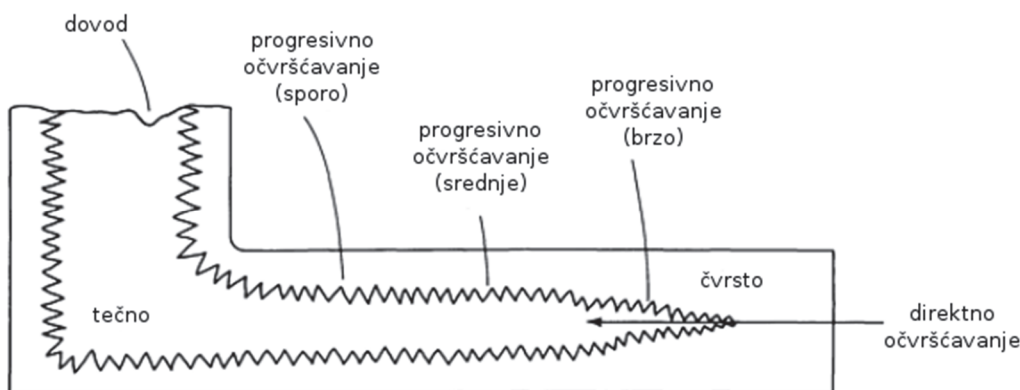
Derivacije najvažnijih karakteristika dijagrama prikazanog na slici 1.8, odnosno destabilizacija interfejsa, koja odgovara prelazu između planarnog (a) i čelijskog (b) interfejsa, periodično čelijske strukture (b), karakterističnih dendritskih polja (c), i prelaz prema brzom očvršćavanju, su dati ispod.

U praktičnim primenama, koriste se tri režima rasta materijala.

- Planarni rast interfejsa se koristi za dobijanje visoko kvalitetnih mono kristala za elektroniku, optiku, detektore i slično.
- Dendritski rast je najčešći, jer se koristi univerzalno za sve metalurške procese: čelik, liveno gvožđe, legure na bazi aluminijuma i bakra i druge. Razlog je taj što dendritski režim dovodi do sićušne mikrostrukture, osim toga u pratnji eutektičke oblasti, što daje odlične mehaničke osobine ovim legurama.
- Brzo očvršćavanje se koristi da bi se dobila veoma mala mikrostruktura i amorfni materijali. To je takođe način da se dobiju metastabilne faze koje ne mogu očvrstnuti na nižim stopama rasta.

Ciljevi dozatora su da ukloni površinsko potapanje i da smanji unutrašnju skupljajuću poroznost do prihvatljivog nivoa, koji iznosi manje od 1%. Da bi se umanjila poroznost, sistem za doziranje mora da uspostavi:

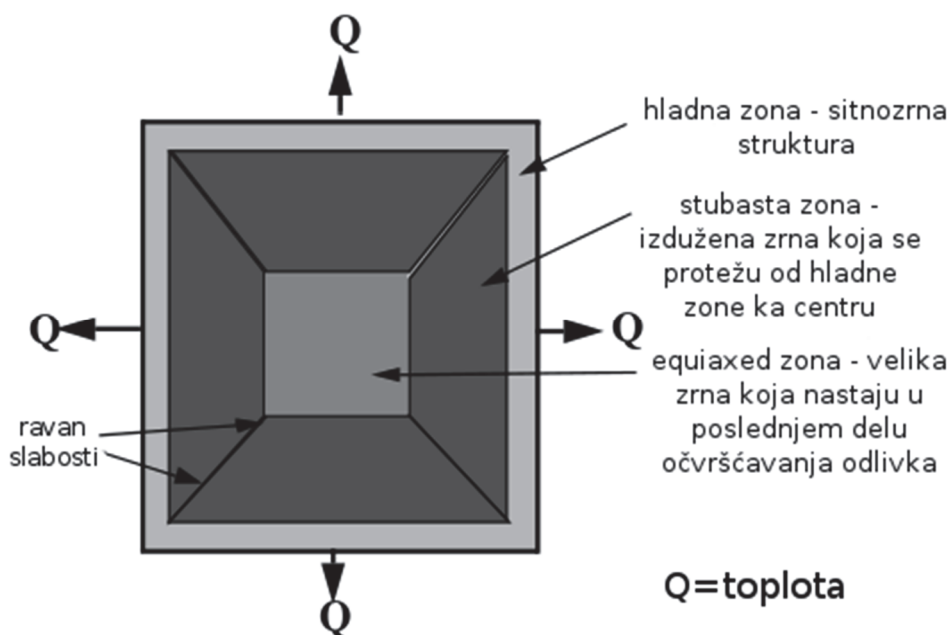
- Usmerenu solidifikaciju, kao što je prikazano na slici 1.9, pri kojoj je front očvršćavanja u ovliku slova V u uzdužnom preseku,
- Strmi gradijent temperature duž linije livenja prema dozatoru.



Slika 1.9. Karakteristike porasta i smera solidifikacije

### 1.6.1. Mikrostruktura

Mikrostruktura odlivka proizvedena kontinualnim i polu-kontinualnim livenjem prikazana je na slici 1.10.



Slika 1.10. Mikrostruktura odlivka proizvedena kontinualnim i polu-kontinualnim livenjem

Ova šema ilustruje osnovni proces nukleacije i rasta zrna (dendrita) u kontinualno livenim šipkama. Prikazan je presek tri zajedničke strukture zrna, uočene u ovim tipovima odlivaka. Spoljni, ohlađeni sloj je sastavljen od vrlo fine strukture ujednačenog zrna, koji je nukleisan kao rezultat velikog podhlađenja prisutnog na površini. Sledi brza promena u stubnu strukturu, koja se proteže od ohlađenog sloja prema centru odlivka. Dugački i uzani stubovi zrna su produžetak ohlađenih zrna, čiji je rast paralelan sa pravcem protoka toplote. Tokom rasta stubastih zrna, javlja se nukleacija novih zrna u preostaloj tečnoj zapremini u centru odlivka. Očvršćavanje je potpuno kada se stubasta zrna susreću sa rastućim ujednačenim zrnima.

Pojava stubaste zone nije povoljna struktura za vruće radne procese jer dodirna površina između stubastih zona pod pravim uglom može biti pogodno mesto za segregaciju, poroznost i uključke, i tako stvara efektivne ravni oslabljenja u livenju. Stoga je poželjno da se proizvede odlivak koji nema stubastu zonu (J. Iqbal i dr., 2008). Mešanjem rastopa se mogu mehanički ukloniti neke grane dendrita za transport do centralnog dela odlivka. U nekim slučajevim, mešanje se može postići elektromagnetno, a u drugim pomeranjem ili treskanjem odlivka da bi se generisali udarni talasi koji utiču na grane rastućih dendrita.

### **1.7. Matematički model**

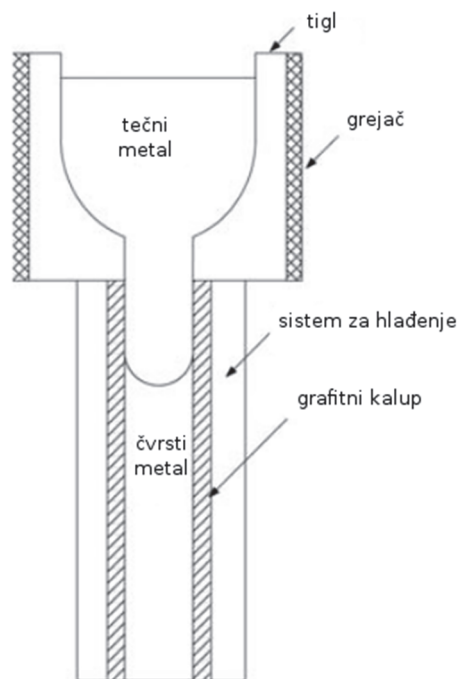
Za kontrolu kvaliteta, neophodno je izgraditi analitički model za razumevanje fenomena prenosa toplote i očvršćavanja u kontinualnom livenju metalnih šipki (Brian G. Thomas i dr., 2001; Brian G. Thomas, 2004). Modeliranje sistema za kontinualno livenje je problem od velikog matematičkog i industrijskog značaja (S. Koric, 2010). Kontinualno livenje uključuje mnoge složene fizičke fenomene i do sada ni jedan model nije uspeo da obuhvati sve pojave istovremeno.

Numerički metod je metod konačnih razlika. Metod efektivne specifične toplote/entalpije se koristi za obradu oslobođene latentne toplote. Brzina livenja i stopa hlađenja su vrlo važne promenljive za proces kontinualnog livenja i za simulacije različitih radnih uslova i istraživanje efekata na ponašanje prenosa toplote (R. Chaudhary, 2011). Simulacije nam mogu dati važne izlazne podatke, kao što su distribucija temperature i profil očvršćavanja.

Fizički model mašine za kontinualno livenje metalnih šipki je prikazan na slici 1.11. Metal u livačkom loncu je u tečnom stanju, zbog toplote grejača oko lonca. Sa dna livačkog lonca, tečan metal ulazi u grafitni kalup koji je okružen sistemom za hlađenje. Zbog toplotne ekstrakcije sistema za hlađenje, tečan metal postaje čvrst ubrzo posle ulaska u kalup. Tečni metal i čvrsti odlivak se zajedno pomeraju nadole konstantnom brzinom livenja.

Za izradu matematičkog modela, moraju se uzeti sledeće pretpostavke u obzir:

- Sistem je u stabilnom stanju.
- Sistem je aksijalno simetričan.
- U slučaju da je mali prečnik metalne šipke, efekat prirodne konvencije se ignoriše.
- Brzina livenja je konstantna.
- Termalna provodljivost i toplotni kapacitet metala zavise od temperature.



Slika 1.11. Šematski dijagram kontinualnog livenja

U slučajevima kada je dužina grafirne kokile (kalupa) znatno veća od unutrašnjeg prečnika, temperatura metala nema neku značajnu promenu pre napuštanja kokile (M. Bamberger i dr., 1986). Prema tome, kokila i metal unutar njega su domen računanja, pa se jednačina energije može napisati kao:

$$\rho C p^{eff} V \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( k r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1.20)$$

gde je  $\rho$  - gustina,  $V$  - brzina livenja,  $k$  - toplotna provodljivost.  $C p^{eff}$  je efektivna specifična toplota, uključujuću efekat latentne toplote. U rešavanju ove jednačine se koristi metod efektivne specifične toplote/entalpije sa latentnom toplotom.

Granični uslovu su dati na sledeći način:

- Na vrhu metala temperatura je fiksna i to je temperatura tečnog metala u livačkom loncu.
- Na dnu metala ne postoji promena temperature, odnosno nema temperaturnog gradijenta.
- Centralna linija metala je simetrična.
- Na interfejsu metala i grafita postoji kontaktna otpornost i toplotni fluks je konstantan. Izraz toplotnog fluksa može biti prikazan kao:

$$q_{metal} = q_{graf} = h_{mg} (T_{metal} - T_{graf}) \quad (1.21)$$

gde je  $h_{mg}$  efektivan koeficijent prenosa toplote,  $q_{metal}$ ,  $q_{graf}$ ,  $T_{metal}$ ,  $T_{graf}$  su toplotni

fluksevi i temperature na interfejsu metala i grafita.

- Na spoljašnjoj površini grafitne kokile se primenjuju efektivno konvektivni granični uslovi.

$$q = h_{eff}(T - T_{ref}) \quad (1.22)$$

gde su  $q$  i  $T$  toplotni fluks i temperatura na spoljašnjoj površini.  $h_{eff}$  je koeficijent efektivnog prenosa toplote, koji se koristi za obradu efekta sistema za hlađenje.  $T_{ref}$  je referentna temperatura i ovde je to temperatura vode sistema za hlađenje (S. Louhenkilpi i dr., 1993).

Metod efektivne specifične toplote/entalpije se odlikuje brzom konvergencijom i zadovoljavajućom tačnošću. U jednom vremenskom koraku, odnos temperature, efektivne specifične toplote i entalpije se može napisati u obliku jednačine:

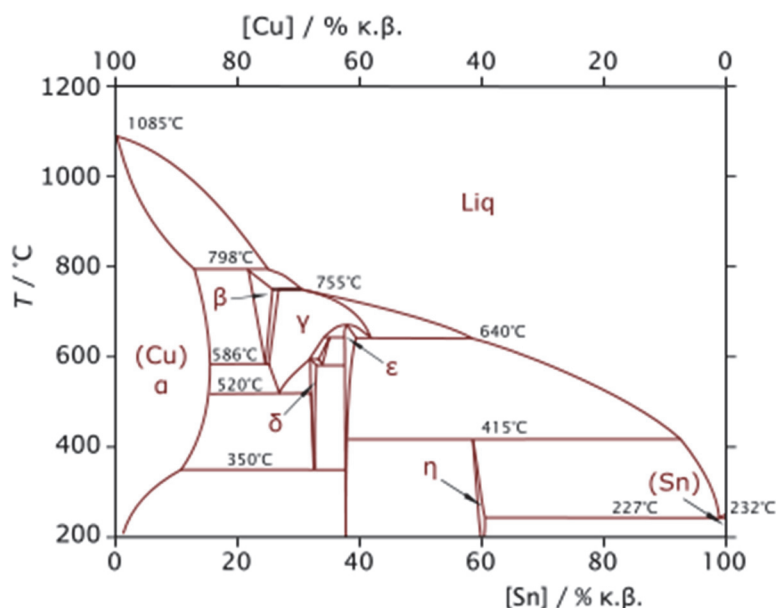
$$Cp^{eff} = \frac{e^{n+1} - e^n}{T^{n+1} - T^n} \quad (1.23)$$

Numerički metod je metod konačnih diferencijala. Diferenciranje unazad se koristi za vremenske izvode i centralni diferencijal za prostorne izvode. Metod kontrolne zapremine se koristi za izvode glavne diferencijalne jednačine i za granične uslove. Zbog nelinearnosti diferencijalne jednačine, za rešavanje jednačina se koristi metoda ponavljanja.

## 1.8. Kontinualno sprej livenje

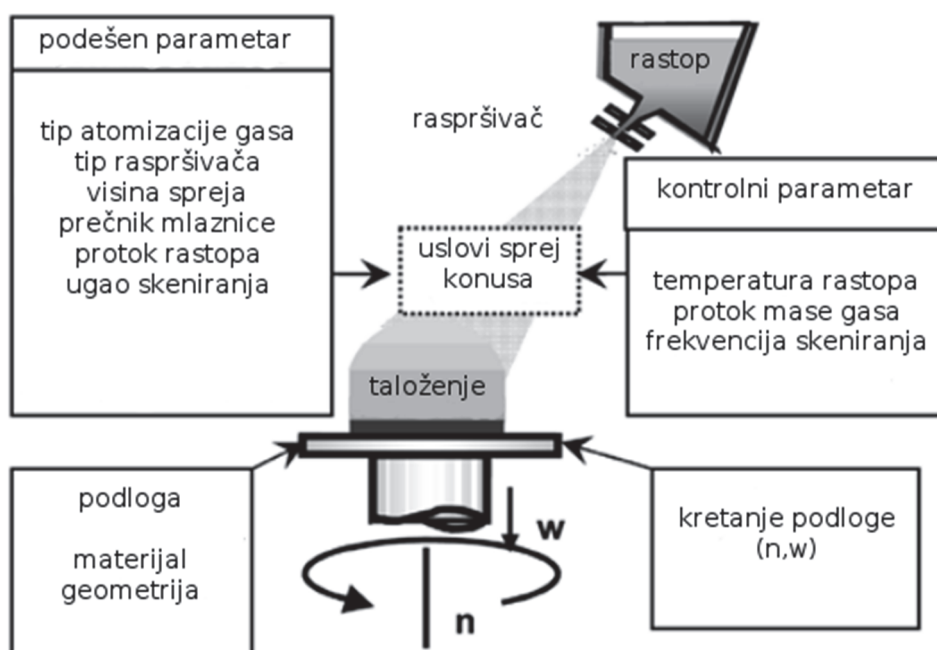
Legrue bakra i kalaja su jedne od najstarijih tehničkih legura. Na slici 1.12 je prikazan fazni dijagram kalajne bronz. U tečnoj fazi, kalaj je potpuno rastvorljiv u bakru. U čvrstom stanju, maksimalna rastvorljivost kalaja u bakru je 15,8% na 520°C. Sa smanjenjem temperature, smanjuje se i rastvorljivost koja praktično nema posledice zbog niskog koeficijenta difuzije kalaja unutar bakarne matrice (A.Tavakoli i dr.). Tokom očvršćavanja bronz postoje mnogi faktori koji ometaju ravnotežno stanje. Sa dugim periodima žarenja moguće je postići ravnotežu mikrostrukture.

Ovakvim procesom žarenja nije moguće ukloniti inverznu segregaciju koja se pojavljuje nakon kontinualnog livenja. Efekat je veća koncentracija kalaja na ivicama šipke nego u centru (P.F. Cuypers, 1987). Usled inverzne segregacije i dodatnog rada na hladnom i toplom, legure bakra su ograničene na bronzi sa sadržajem kalaja manjim od 8%. Sa sprej postupkom mogu se proizvesti bronz sa sadržajem kalaja do 17%, koje mogu biti dodatno toplo i hladno prerađivane, bez prethodne homogenizacije procesa (K. Dies, 1967).



Slika 1.12. Cu-Sn fazni dijagram (K. Dies, 1967)

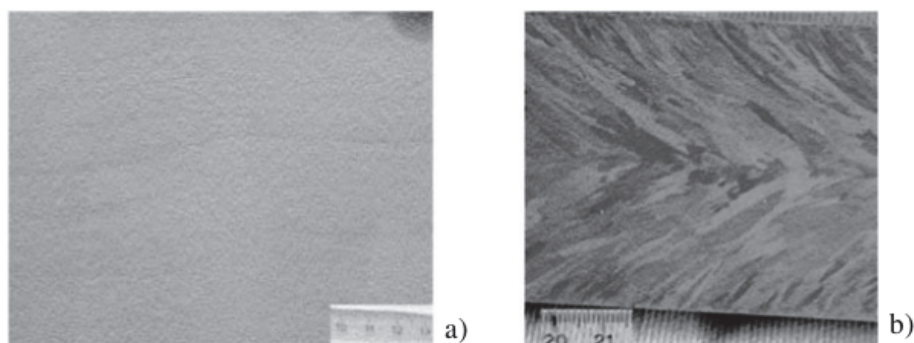
Šema proizvodnje visoko-kalajne bronze pomoću sprej oblikovanja, prikazana je na slici 1.13. Rastop se priprema u vakuum peći sa dodatnim kalemom za pobudu. Takav rastop je homogenizovan i oslobođen gasova (B. Petrus i dr., 2011). Rastopljeni mlaz se potom raspršuje u malim kapljicama pomoću inertnog gasa. Prosečna kapljica je prečnika oko 60  $\mu\text{m}$ . U odnosu na proizvodnju metalnog praha, maseni protok je znatno veći, odnosno do 35 kg/min sa jednim raspršivačem. Pravac rasta je vertikalan (H. R. Müller i dr., 2003).



Slika 1.13. Parametri procesa sprej formiranja (H. R. Müller i dr., 2003)

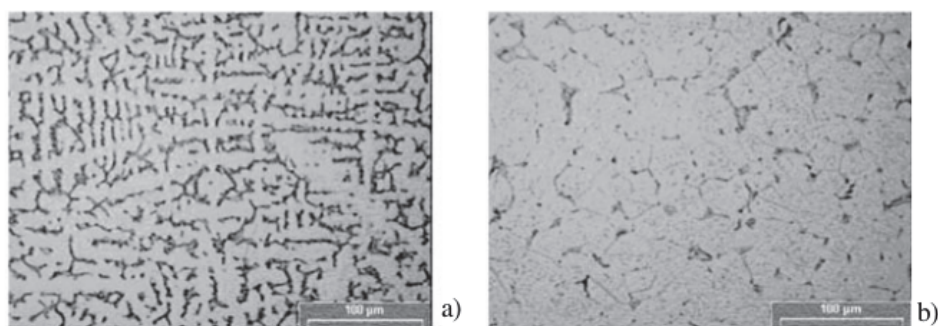
Proces formiranja sprejom je određen brojnim parametrima koji utiču na oblik, mikro i makro strukturu, poroznost i segregaciju (A. Mitchel i dr., 1997). Osim toga, parametri deluju na različite načine. Na primer, prečnik livačke mlaznice i nivo rastopa u livačkom loncu, definišu protok rastopa (Toričeljeva formula). Kontrolni parametri se mogu menjati, ali se uglavnom kontrolišu samo maseni protok gasa i brzina izvlačenja.

Na slici 1.14a i 1.14b je prikazana ilustracija makrostrukture sprej formirane i livene bronz. Kod sprej formirane bronz su fina, homogena zrna u uzdužnom pravcu, dok su zrna kod klasično kontinualno livene bronz gruba i nehomogena.



**Slika 1.14.** a) sprej formirana 13,5% kalajna bronza sa finom i homogenom strukturom zrna, zrna veličine oko 60  $\mu\text{m}$ , b) neprekidno livenje 12% kalajne bronz sa krupnim i nehomogenim zrnima (R. Zauter i dr. 2003)

Razlika u mikrostrukтури između livene i sprej formirane bronz sa 15,5% kalaja je ilustrovana na slici 1.15. Livenje u kokili pokazuje dendritsku strukturu. Između dendrita je obogaćena kalaj faza, slika 1.15a. Visok deo (oko 30%) ove krte i nisko topljive faze onemogućava hladnu i toplu preradu. U sprej formiranoj strukturi, slika 1.15b, frakcija faze iznosi oko 5% i čestice nisu povezane. Ovakva struktura omogućava toplu i hladnu preradu.



**Slika 1.15.** Mikrostruktura 15,5% kalajne bronz proizvedena: a) sprej formiranjem, b) livenjem u kokile (R. Zauter i dr. 2003)

Proces topljenja Cu-Sn i Cu-Ni-Sn legura se uglavnom obavlja u elektro indukcionim pećima. Neki dodaci kao što su fosfor, mangan ili uglj se uvode da bi minimizirali formiranje oksida. Cu-Sn dijagram ilustruje teškoće povezane sa procesom očvršćavanja. Peritektička reakcija uključuje krte intermetale ili širok interval očvršćavanja sklon makrosegregaciji. U



livenom stanju i iznad 4% težine kalaja,  $\alpha + \beta$  struktura kalajne bronze transformiše se tokom hlađenja u  $\alpha + \gamma$  i  $\alpha + \delta$ , slika 1.10. Obe faze,  $\gamma$  i  $\delta$  su krte.

Merenje srednjeg razmaka dendritskih ogranki postignutih na Cu-6 wt%Sn i Cu-9 wt%Sn, u funkciji stope hlađenja, dozvoljava da se identifikuje empirijski zakon (T.F. Bower):

$$\lambda = 320(dT/dt)^{0,58} \quad (1.24)$$

gde su  $dT/dt$  - stopa hlađenja,  $\lambda$  - međudendritski razmak.

Međudendritski razmaci su u rasponu od 10-15 $\mu$ m u slučaju legura proizvedenih horizontalnim kontinualnim livenjem, 100-150 $\mu$ m sa vertikalnim kontinualnim livenjem, i nekoliko mikrometara sa Osprey Spray tehnologijom.

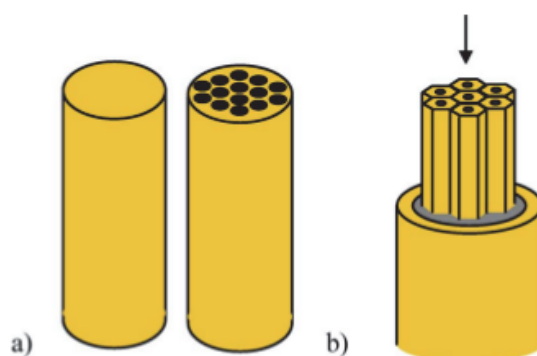
Optimizacija mehaničkih osobina legura na bazi bakra ne može se postići bez poznavanja niza faznih transformacija u čvrstom stanju (J. Iqbal, 2008). To znači poznavanje uticaja svake transformacije na ove osobine (A. Ivanovic i dr., 2012). U slučaju legura kao što su Cu-Ni-Sn, mehanizam ojačavanja je složeniji i veoma zavisi od niza faznih transformacija tokom starenja.

Postoje dve faze ojačavanja: prva je vezana za formiranje modulisanе hemijske strukture karakteristične po siromašnim i obogaćenim zonama kalaja. Ova mikrostruktura ima spinodalno razlaganje koje zadržava kristalnu strukturu matrice. Varijacija napona tokom ove faze prati empirijska jednačina za Cu-Ni15 wt%-Sn8 wt% leguru (PH. Hermann i dr., 1994):

$$\Delta\sigma = 0,41A\eta Y \quad (1.25)$$

gde je A - amplituda spinodalne modulacije,  $\eta = \frac{1}{a} \frac{\delta a}{\delta c}$  - diferencijalna veličina, Y - konstanta elastičnosti.

Formiranje sprejom je proizvodni proces za sirovine. Kako bi se postigao polugotov proizvod koji je u stanju da se koristi u proizvodnji superprovodnika, ingoti se izlažu toploj ekstruziji, a proizvodi manjih dimenzija dodatnom hladnom izvlačenju. Na slici 1.16 su prikazani različiti proizvodi, pune profile ili cevi različite geometrije. Crne tačke su rupe u koje se postavljaju niobijumske šipke, pa se naknadno može vršiti topla ekstruzija ili proces hladnog izvlačenja (R. Zauter i dr. 2003).



**Slika 1.16.** Poluproizvodi za industriju superprovodnika, a) profili punog kružnog preseka, i b) cev i heksagonalne cevi. Crne tačke su rupe u koje se postavljaju niobijumske šipke (R. Zauter i dr., 2003)

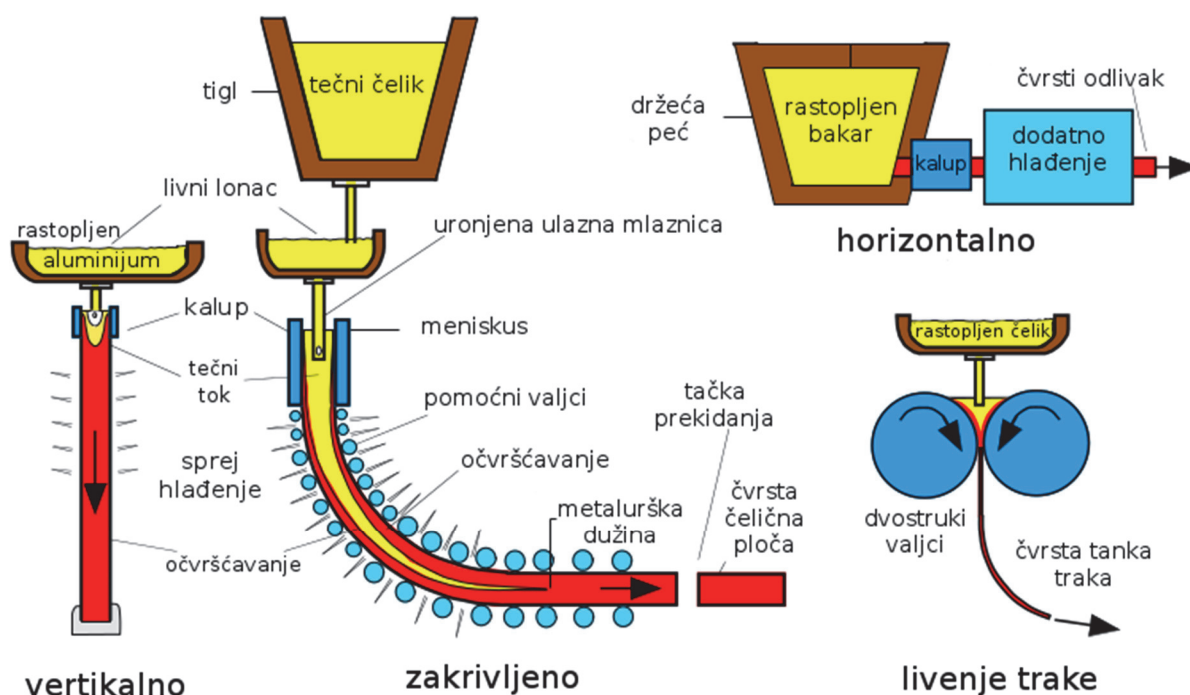


## 1.9. Vrste procesa kontinualnog livenja

Kontinualno livenje se razlikuje od ostalih procesa livenja po očvršćavanju, koje je u svom prirodno stabilnom stanju. Rastopljen metal očvršćava u odnosu na zidove kokile i istovremeno se tako očvrstnut povlači sa dna kokile brzinom koja održava tečno-čvrsti interfejs u konstantnoj poziciji sa vremenom. Proces najbolje funkcioniše kada svi ovi aspekti rade u stabilnom stanju (S. Hurst, 1996).

U odnosu na druge procese livenja, kontinualno livenje generalno ima veće troškove ulaganja, ali manje operativne troškove. To je najisplativiji i energetsko efikasniji metod za masovnu proizvodnju poluproizvoda od metala, u skladu sa kvalitetom, u raznim veličinama i oblicima (Siemens VAI, 2008). Poprečni preseći mogu biti pravougaonog oblika za kasnije valjanje u ploče ili listove, kvadratnog ili kružnog oblika za duge proizvode, ili čak "koska" oblika za I ili H grede.

Postoji mnogo različitih vrsta procesa kontinualnog livenja. Na slici 1.17 su prikazani neki od najvažnijih procesa. Vertikalne mašine se koriste za livenje aluminijuma i bakra i njihovih legura, kao i za neke druge metale specijalne namene. Zakrivljene mašine se koriste u većini za livenje čelika. Horizontalno livenje ima kraću konstrukciju i koristi se kako za obojene metale, tako i za čelik. Livenje tankih traka predstavlja noviji proces za livenje čelika i drugih materijala. Ovaj process je bitan kako bi se smanjio process dalje prerade valjanjem.



Slika 1.17 Različiti procesi kontinualnog (neprekidnog) livenja (Thomas, B.G., 2001)

Za kontinualno livenje bakra obično se koristi vertikalni ili horizontalni proces, sa kojim se proizvode okrugli profili za naknadnu ekstruziju, kovanje ili izvlačenje žice (R. Wilson,

1999). Postoji još širok spektar procesa kontinualnog livenje za specijalne namene. Pretapanje pod elektro-šljakom (Electro-slag remelting (ESR)) i pretapanje pod vakuumskim lukom (vacuum arc remelting (VAR)) su dva oblika vertikalnog kontinualnog livenja korišćena za obojene metale, superlegure, i specijalne legure do 1,5m prečnika. Toplota se dobija iz elektrode iznad rastopa a gornja površina je zaštićena debelim slojem šljake (ESR), ili vakuumom (VAR).

Ovim postupcima se izbegavaju oksidni uključci i lako se uklanjaju nečistoće kao što je sumpor, proizvodi se rafinirani metal sa manje segregacije i manje drugih defekata nego kod konvencionalnih postupaka kontinualnog livenja. Proizvodi izrađeni ovim postupcima su dosta skuplji, ali su potrebni za kritične delove koji se mogu koristiti u avio i sličnim industrijama.

### ***1.9.1. Beskonačni kalup***

Za izbor odgovarajuće mašine za livenje na raspolaganju su različite vrste procesa. Vertikalno polu-kontinualno livenje zahteva nisku investiciju i niže veštine operatera, zahteva uglavnom manuelne operacije i transport i postoji velika verovatnoća nestabilnih uslova produkcije sa smanjenjem kvaliteta. Ovi nedostaci se prevazilaze sa potpuno kontinualnom vertikalnom mašinom, koja međutim zahteva veću investiciju. Kao alternativa, proces horizontalnog livenja se može smatrati kao prednost zbog neprekidnog rada i manjeg ulaganja, manjih troškova radne snage, međutransporta sirovog materijala ili livenih profila. Pored toga, prostorni zahtevi su znatno niži nego kod tipičnog vertikalnog postrojenja za livenje.

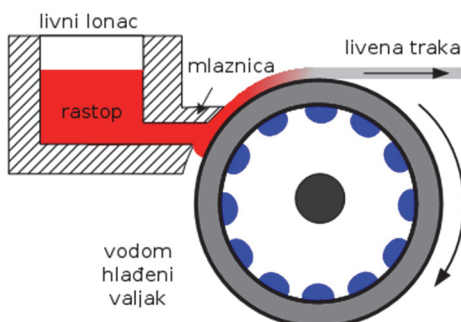
Kontinualno livenje u beskonačni kalup se odlikuje nula relativnim kretanjem između kalupa i livene površine. Trake i ploče izlivene takvim metodama imaju nizak defekt površine. Odlivci mogu biti namotavani u koturove i dalje prerađivani bez površinske obrade, za razliku od onih koji su izliveni u stacionarnim kalupima. Većina beskonačnih kalupa obezbeđuje visok stepen hlađenja, zbog veoma malog vazdušnog procepa između kalupa i livene površine. Efektivni prenos toplote kroz metalni, vodom hlađen kalup, takođe daje prednost brzom očvršćavanju.

Najpoznatije metode kontinualnog livenja u beskonačni kalup su:

- sa jednim valjkom
- sa dva valjka
- sa dva kaiša
- pokretni blokovi
- rotacioni model

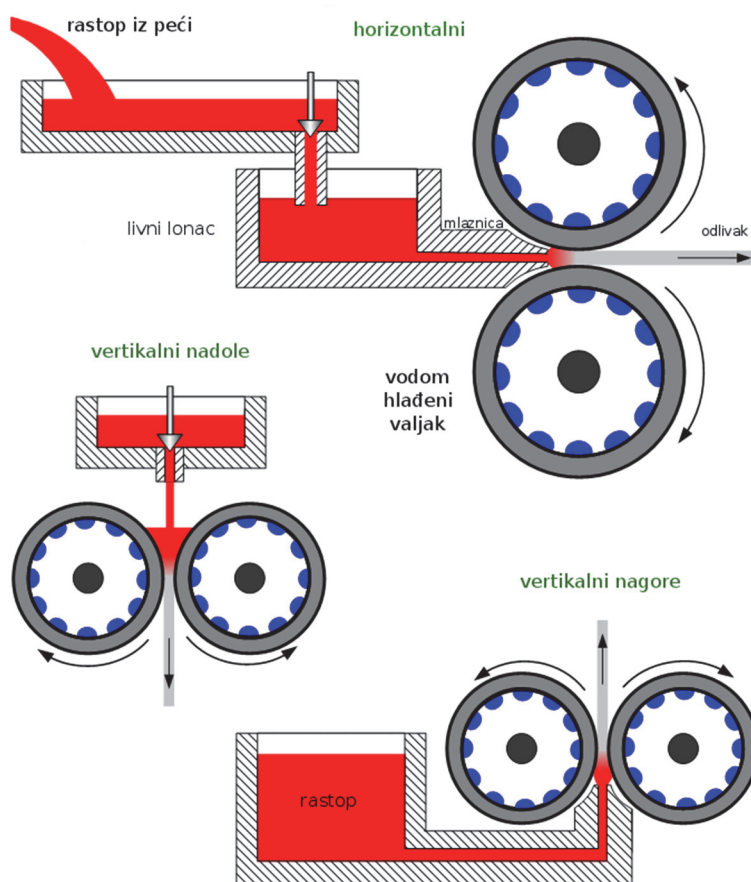
Kod metode sa jednim valjkom, tečni metal se uliva na površinu vodom hlađenog rotirajućeg valjka. Rastop se pri kontaktu sa rotirajućom površinom hladi i očvršćava formirajući tanku neprekidnu traku. Prednosti ove metode neprekidnog livenja su: visoka produktivnost, mogućnost livenja veoma tankih traka i niska cena investicije. Linearna brzina površine valjka je 15-120 m/min, i mogu se izlivati tanki preseći 1-3 mm. Niska varijacija debljine odlivka postiže se ravnomernim hlađenjem površine valjka. Šema ove metode

neprekidnog livenja je prikazana na slici 1.18.



**Slika 1.18.** Kontinualno livenje u beskonačni kalup, sa jednim valjkom (<http://www.substech.com>)

Kod metode sa dva valjka, rastop se uliva kroz keramičku diznu u procep između dva rotirajuća, vodom hlađena valjka. Rastop se hladi i očvršćava između valjaka. Postoje tri konfiguracije metode sa dva valjka: vertikalno livenje na dole, vertikalno livenje na gore i horizontalno livenje, slika 1.19.



**Slika 1.19.** Šematski prikaz tri različite konfiguracije kontinualnog livenja sa dva vodom hlađena valjka (<http://www.substech.com>)

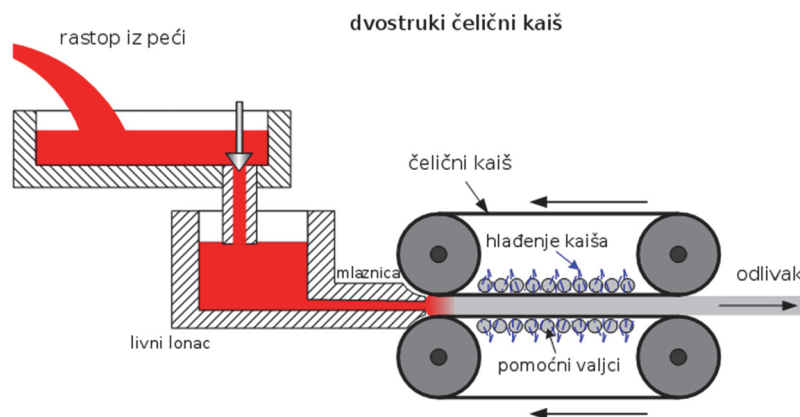
Dimenzije valjka mogu varirati od prečnika 300-1500mm i širine 150-2184mm. Vodom hlađeni valjci se izrađuju od čelika, bakra, ili bakar-nikl legura. Lepljenje između valjka i očvrstnute trake se sprečava pomoću razređivačkog sredstva, koje se nanosi na površinu valjka. Sredstvo obično sadrži grafit ili magnezijum hidroksid.

Proces livenja sa dva valjka obezbeđuje izuzetno visok stepen hlađenja, do 550°C/s. Brzo hlađenje dozvoljava da se postignu visoke stope livenja, što je 0.9-38m/min za legure aluminijuma, i 5-460m/min za čelik. Debljina livenih traka može biti vrlo niska, do 0.1mm. Maksimalna debljina dostiže 5mm za čelik i 10mm za aluminijum (Ir.P.F.Cuypers, 1987).

U procesu livenja sa dva kaiša, rastop se uliva kroz keramičku diznu u procep između dva rotaciona tanka kaiša, koji se održavaju u tenziji. Kaiševi se hlade vodenim mlazom sa suprotne strane od površine kontakta sa odlivkom. Rastop se hladi i očvršćava između kaiša. Širina odlivka se određuje pomoću dva lanca čeličnih blokova, koji se kreću zajedno sa kaiševima, i sprečavaju curenje nestvrdnutog rastopa. Izlivena ploča ili traka se povlači sinhronizovano sa pogonom kaiševa.

Maksimalna brzina livenja je 9m/min, a maksimalna širina livenih ploča je 2000mm. Tipična debljina livenja je od 12,5-25mm. Ploča koja napušta dvostruki kaiš još uvek je topla i može biti toplo valjana u liniji na 2,5-5mm a potom namotavana u kotur (J.S. Colton, 2011).

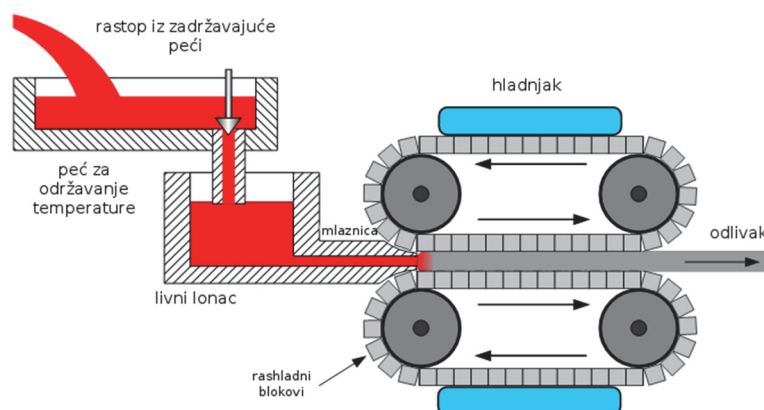
Šematski prikaz ove metode kontinualnog livenja, sa dva pokretna kaiša je prikazana na slici 1.20.



**Slika 1.20.** Kontinualno livenje sa dva pokretna kaiša (<http://www.substech.com>)

Na slici 1.21 prikazan je model sa pokretnim blokovima. Kod ovog modela rastopljen metal se uliva kroz keramičku mlaznicu u prostor formiran od dva lanca čeličnih blokova, koji se kreću kao gusenica. Blokovi se hlade pri prolasku pored rashladnih uređaja. Rastop se hladi i očvršćava između blokova, koji se usko graniče međusobno i tako sprečavaju prodiranje tečnog metala u procep. Livena ploča ili traka se povlače sinhronizovano sa kretanjem blokova. Maksimalna širina livenih ploča je 1750mm a brzina livenja 0,5-10m/min. Ova tehnologija livenja se najčešće koristi za većinu aluminijumskih legura koje sadrže do 5% magnezijuma. Stopa hlađenja se kontroliše temperaturom blokova i brzinom livenja. Ovaj metod livenja

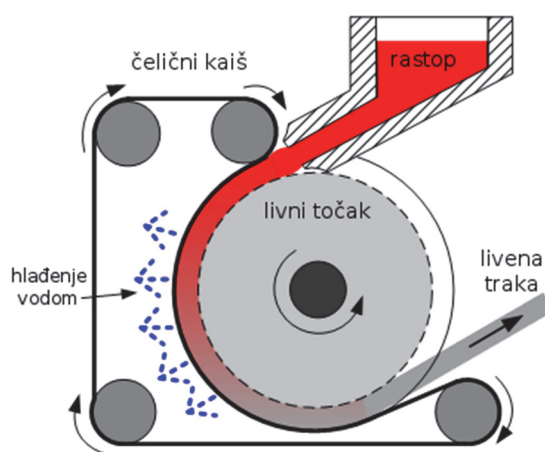
omogućava da se liju legure podložne naprslinama zbog brzog hlađenja.



Slika 1.21. Šema modela neprekidnog livenja sa pokretnim čeličnim blokovima (<http://www.substech.com>)

Rotacioni model neprekidnog livenja je kombinacija modela sa valjkom i kaišem. Sastoji se od čeličnog točka, prečnika do 2600mm sa perifernim žljebom, i beskrajne čelične trake koja zatvara žljeb i obrazuje prostor za livenje. Žljeb može biti trouglastog, trapezoidnog ili pravougaonog preseka. Točak i traka se rotiraju linearnom brzinom oko 14m/min, a traka se hladi vodenim mlazom. Kada se rastop uliva u prostor između žljeba i trake, dolazi do hlađenja i očvršćavanja. Kada livena ploča, traka ili šipka napusti rotacioni točak, još uvek je topla, pa se može toplo valjati u liniji, pa potom namotavati.

Ovom metodom livenja se mogu izlirati aluminijumske legure, legure bakra za električnu primenu (žice, provodnici), legure aluminijuma sa magnezijumom i silicijumom. Šema rotacionog modela livenja je prikazana na slici 1.22.



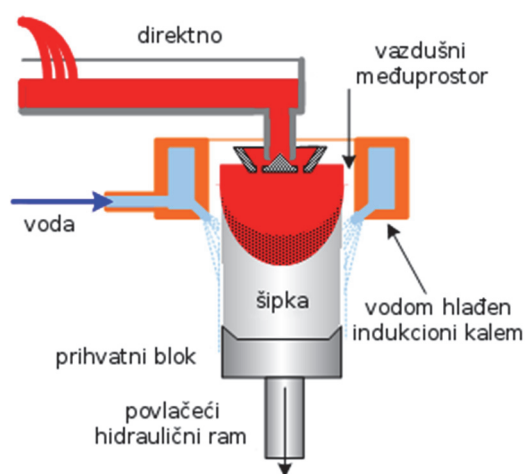
Slika 1.22. Rotacioni model kontinualnog livenja (<http://www.substech.com>)

### 1.9.2. Livenje direktnim hlađenjem u elektromagnetnoj kokili, kristalizatoru

Livenje direktnim hlađenjem u elektromagnetnoj kokili (kristalizatoru) je prikazano na slici 1.23. Elektromagnetni kristalizator koristi naizmenično elektromagnetno polje, generisano od strane samog kristalizatora. Kristalizator zapravo predstavlja petlju indukcionog namotaja, odnosno induktor, priključen na generator naizmenične struje. Naizmenična struja koja protiče kroz induktor, indukuje vrtložne struje u rastopu. Vrtložne struje su u interakciji sa magnetnim poljem koje generiše induktor (M. Matovic i dr., 2012). Lorencova sila, nastala kao rezultat takve interakcije zadržava rastop odvojen od zida kokile, formira odlivak oblika kokile, ali ne odvodi toplotu. Sva toplota se odvodi pomoću vodenog mlaza koji izlazi iz kristalizatora i prska po površini odlivka (E.M. Dunn, 1979).

Glavne prednosti ovog načina livenja su:

- Dobar kvalitet površine zbog odsustva direktnog kontakta i trenja između površine odlivka i površine kalupa,
- Fina struktura zrna usled brzog hlađenja koje obezbeđuje uređaj za direktno hlađenje (bez prenosa toplote kroz zid kalupa) i agitacija rastopa proizvedena elektromagnetnom silom.



Slika 1.23. Livenje direktnim hlađenjem u elektromagnetnom kristalizatoru (kalupu)  
(<http://www.substech.com>)

### 1.9.3. Proces polu-neprekidnog livenja sa direktnim hlađenjem

Proces livenja sa direktnim hlađenjem je vertikalni, polu-neprekidni proces livenja, koji se koristi za izradu cilindričnih ili pravougaonih odlivaka, od obojenih metala, kao što su legure aluminijuma, bakra i magnezijuma. Odlivci liveni ovim procesom se dalje obrađuju ekstrudiranjem, valjanjem ili kovanjem.

Očvršćavanje livenog metala kod procesa livenja sa direktnim hlađenjem počinje u vodom hlađenom kristalizatoru (kalupu) (R. Schwartz, 2011). Rastopljeni metal se uliva u kokilnu šupljinu kroz vertikalnu i na dole usmerenu mlaznicu. Protok rastopa se kontroliše plutajućim



ventilom, i povećava se otvaranjem izlazne mlaznice kada nivo rastopa ide na dole, i opada kada nivo rastopa raste (J. Sengupta i dr., 2004; J. Sengupta, 2005).

Kokila je napravljena od aluminijumskih ili bakarnih legura i ima rupe raspoređene duž donje strane. Oko 80% toplote se izdvoji sekundarnim hlađenjem, odnosno preko uređaja za hlađenje, a 20% se ukloni prenosom toplote kroz zid kokile. Dubina komore za tečni metal je oko 200-500mm, a kristalizator za livenje direktnim hlađenjem je obično veoma kratak, 75-150 mm. Brzina livenja je obično 50-150mm/min.

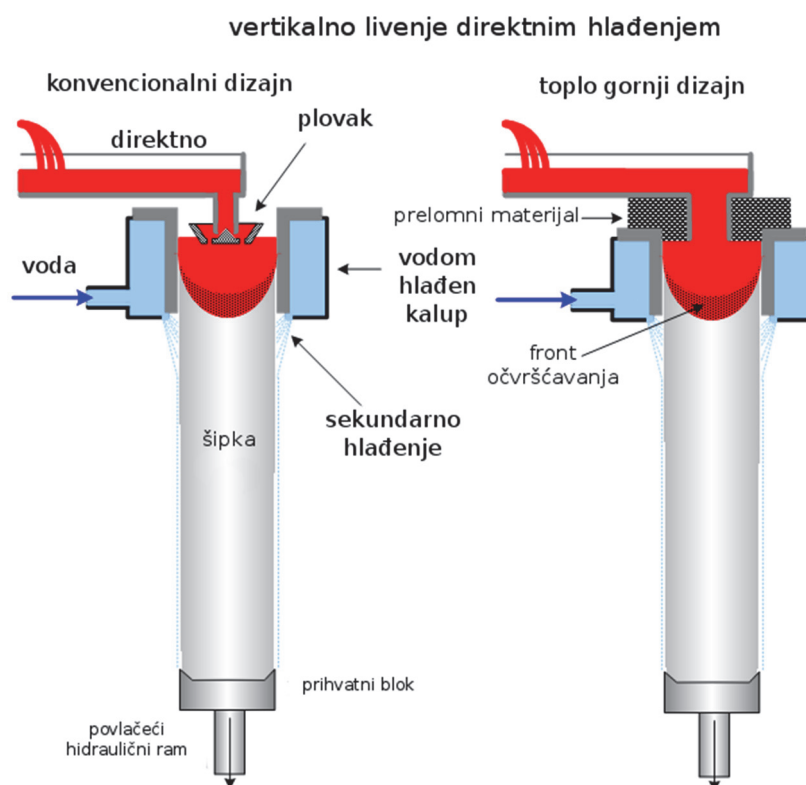
Dimenzije okruglih odlivaka su prečnika 50-500mm i dužine 4-8m. Najčešći prečnik je 200mm. Pravougaoni profili su dimenzija do 1500×500mm i dužine do 10m.

Šema dve osnovne konstrukcije kristalizatora za livenje direktnim hlađenjem je prikazana na slici 1. 24:

- plivajući kontrolisan protok rastopa (konvencionalan dizajn)
- toplo gornji dizajn

Prednosti toplog gornjeg dizajna su:

- Nije potrebna kontrola protoka,
- Rastop je zaštićen od oksidacije,
- Redukovani toplotni gubici.



**Slika 1.24.** Šematski prikaz dva osnovna dizajna kalupa za livenje direktnim hlađenjem (<http://www.substech.com>)

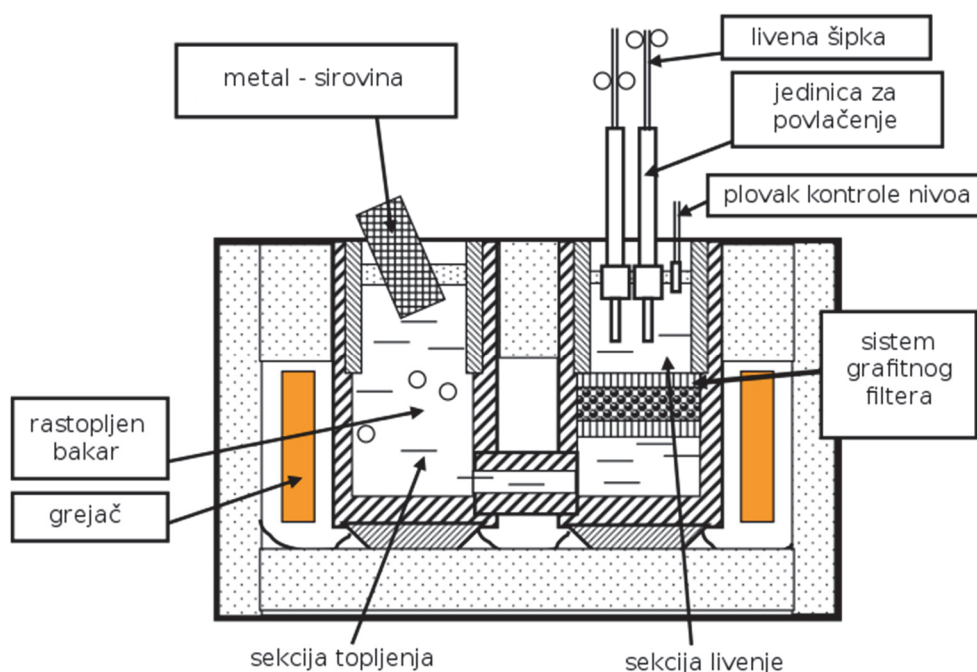
#### 1.9.4. Kontinualno livenje vertikalno nagore

Horizontalni ili vertikalno naniže proces kontinualnog livenja nije pogodan za proizvodnju odlivaka visoko kvalitetnog bakra i legura oslobođenih kiseonika. Sadržaj kiseonika u rastopu od 150 – 550ppm brzo uništava površinu grafitne kokile, zbog opšte reakcije:



Sile izvlačenja, zajedno sa efektom trenja metalostatičkog pritiska sa zidom kokile, dovode do površinskih pukotina koje se pomeraju duž cele kokile.

Proces kontinualnog livenja nagore, sa svojim negativnim metalostatičkim pritiskom unutar kokile, je jedini način za proizvodnju bakra i pojedinih legura oslobođenih od kiseonika, kao i čistog, visoko elektroprovodnog bakra (oxygen free, Cu-OF). Žice i šipke odlivene ovim postupkom imaju čistu i glatku površinu, bez pukotina (Johnson A i dr., 1990).



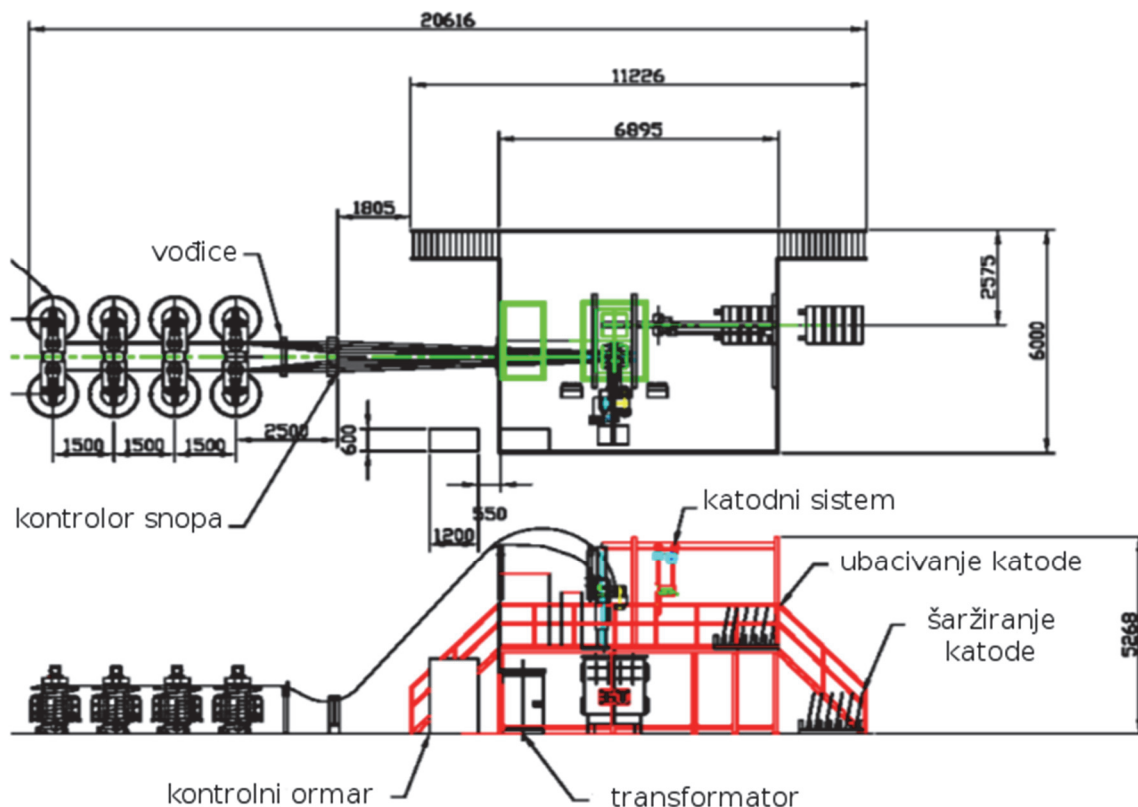
**Slika 1.25.** Šematski prikaz vertikalnog kontinualnog livenja na gore za proizvodnju Cu-OF (Arderiu, OG., 1996)

Slika 1.25 prikazuje šemu procesa neprekidnog livenja za proizvodnju Cu-OF bakarne žice, dok je na slici 1.26 prikazana opšta razmera jednog takvog postrojenja za proizvodnju Cu-OF bakarne žice sa 8 livnih jedinica.

Hladnjak sa kristalizadorom, zaštićen specijalnom ugljeničnom čaurom, uronjen je na zadatu i kontrolisanu dubini u rastop. Usled metalostatičkog pritiska rastopljenog metala, rastop ulazi u grafitnu kokilu, koja je preko bakarnog kristalizatora hlađena vodom i očvršćava. Novoformirani odlivak se povlači kontrolisanim stani-kreni pokretima. U sekundarnoj rashladnoj zoni kristalizatora unutar hladnjaka, temperature odlivka se dodatno spušta da bi se izbegla oksidacija površine. Kada odlivak izađe van hlađenog prostora na otvoreni prostor,



njegova temperatura je manja od  $80^{\circ}\text{C}$ . Cu-OF odlivak iz procesa kao poluproizvod je spreman za neposredno izvlačenje ili valjanje u razne finalne proizvode (Arderiu, OG, 1996).



**Slika 1.26.** Proizvodna instalacija mašine za kontinualno livenje nagore 8 istovremenih bakarnih šipki (Arderiu, OG, 1996)

Sistem peći se sastoji od dve zasebne komore. Jedna komora za topljenje, a druga za livenje. Termoelektrični senzori koji se nalaze unutar sistema se koriste kao deo mikroprocesorskog sistema za kontrolu snage. Temperature u komori za livenje se održavaju po koracima od  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  da bi se izabrala željena temperatura.

Povlačenje žice se vrši pomoću dvostruko stiskajućeg obrtnog mehanizma, smeštenog iznad hladnjaka sa kristalizatorom. Mehanizam se sastoji od pogona i profilisanog para valjaka za povlačenje koji su montirani na osovinama i svaki ima individualno podešavanje. Standardni pogon za povlačenje je konfigurisan da radi u stani-kreni pulsirajućem modu, i može da dostigne preko 1000 impulsa u minuti, odnosno manje od 15Hz.

Iako je vertikalna mašina za kontinualno livenje prevashodno namenjena za proizvodnju Cu-OF bakarne žice, može se koristiti za proizvodnju šipki od bakarnih legura, kao što su CuCd1, CuMg0.4, CuAl10Fe1, Cu64.5Zn, Cu64.5Ni18Zn, CuSn6, CuSi3 i tako dalje. Neke od legirajućih komponenti mogu biti uvedene u rastop i pomešane pomoću inertnog gasa, azota ili argona.

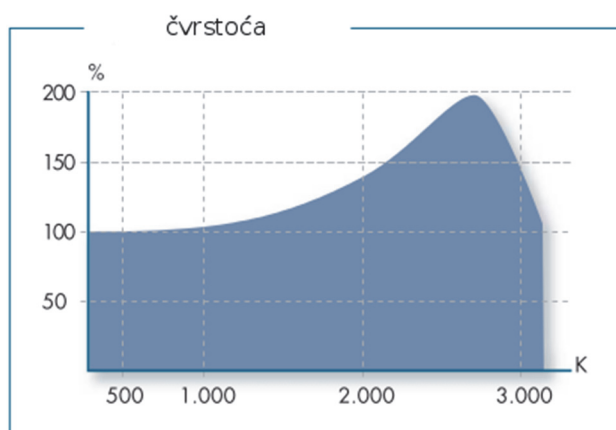
## 1.10. Grafit

Dva faktora čine grafit vrlo neophodnim materijalom za tehnologije kontinualnog livenja. Prvo je jedinstvena kombinacija izuzetnih osobina i drugo, mogućnost usklađivanja specifičnih osobina materijala na osnovu zadatih specifikacija kupca.

Najvažnije osobine grafita su:

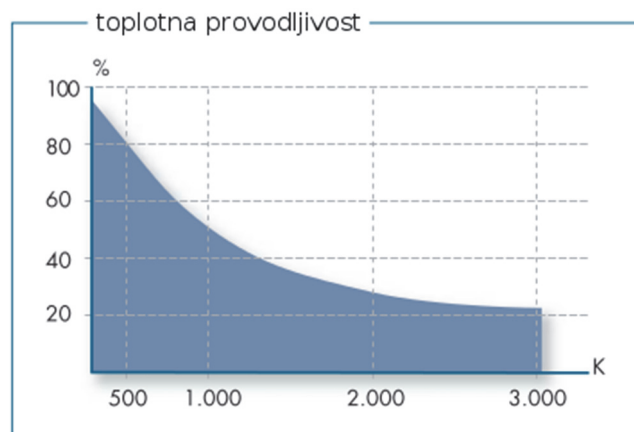
- visoka termička i hemijska otpornost
- odlična otpornost na termički šok
- povećanje čvrstoće sa porastom temperature
- visoka toplotna provodljivost
- visoka električna provodljivost
- jednostavna obrada
- mogućnost proizvodnje veoma visoke čistoće

Za razliku od većine materijala, zatezna i pritisna čvrstoća, kao i čvrstoća na savijanje grafita su u porastu sa povećanjem temperature do 2700K, iza koje će ponovo pasti, kao što je prikazano na dijagramu (slika 1.27). Na 2700K grafit ima približno dvostuko veću čvrstoću nego na sobnoj temperaturi.



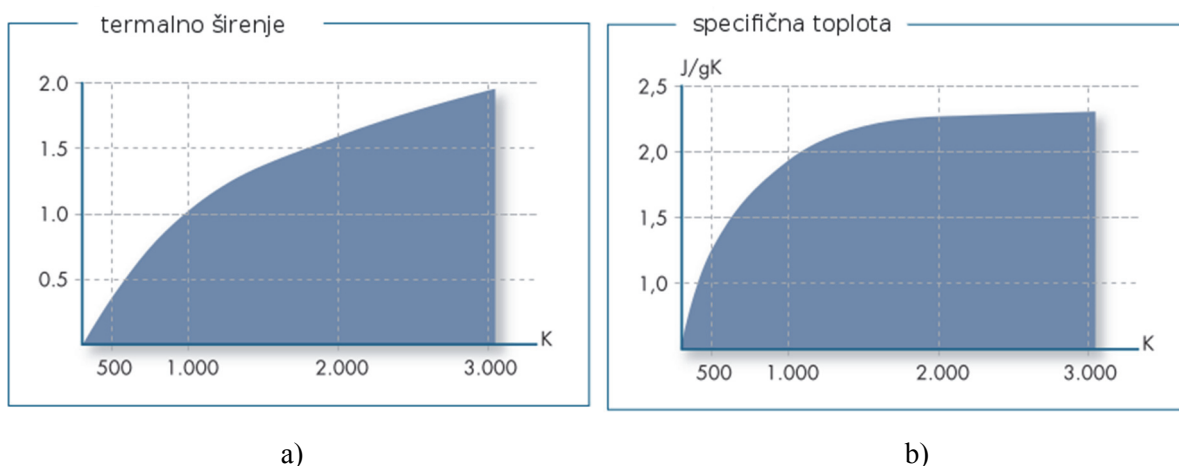
**Slika 1.27.** Zavisnost čvrstoće grafita od temperature (Materials and Products for Continuous Casting Technology, 2010)

Temperaturni koeficijent električne otpornosti grafita je negativan, za razliku od metala. Grafit ima dobru električnu provodljivost. U blizini apsolutne nule, grafit ima samo nekoliko slobodnih elektrona i deluje kao izolator. Sa porastom temperature raste i električna provodljivost. Toplotna provodljivost grafita je veća nego kod mnogih metala i opada sa povećanjem temperature, kao što je prikazano na dijagramu (slika 1.28). Toplotna provodljivost zavisi od jednog do drugog razreda grafita, ali isto tako i od stepena grafitizacije (Materials and Products for Continuous Casting Technology, 2010).



**Slika 1.28.** Zavisnost toplotne provodljivosti od temperature (Materials and Products for Continuous Casting Technology, 2010)

Koeficijent termalnog širenja je reda veličine  $3 \times 10^{-6} K^{-1}$ , kao što je ilustrovano na dijagramu (slika 1.29a), i zavisi od procesnih uslova i osobina polaznih sirovina. Zavisnost specifične toplote od temperature je prikazana na dijagramu (slika 1.29b).



**Slika 1.29.** Zavisnost termalnog širenja (levo) i specifične toplote (desno), od temperature (Materials and Products for Continuous Casting Technology, 2010)

Grafit se ne topi, već sublimira na približno 3900K. Na vazduhu, grafit je stabilan do temperature od oko 750K. Teorijska gustina monokristala grafita je  $2.26 g/cm^3$ . Gustina sintetičkog grafita je obično između 1,5 i  $1,9 g/cm^3$ . Gustina grafita visoke čistoće se definiše kao količnik mase i zapremine, uključujući sve pore.

Specijalne vrste grafita se koriste u metalurgiji za izradu delova koji su u direktnom kontaktu sa rastopljenim metalom. Zbog dobre toplotne i elektro provodljivosti, otpornosti na visoke temperature, nereaktivnost sa mnogim rastopljenim metalima i troskama, grafit je nezamenljiv u metalurgiji (M. Arsenović i dr., 2001).

Karakteristike grafita koje su bitne za njegovu primenu u metalurgiji su:

- nereaktivnost sa mnogim rastopljenim metalima (cink, aluminijum, magnezijum,

bakar i legure bakra) i troskama

- u dodiru sa rastopljenim metalom, ne dolazi do lepljenja metala za grafit prilikom očvršćavanja rastopa
- sa povećanjem temperature povećava mu se zatezna čvrstoća
- nisko termičko širenje i visoka dimenzionalna stabilnost
- visoka otpornost na termičke šokove u kombinaciji sa visokom toplotnom provodljivošću, niskim Jungovim modulom, niskim koeficijentom termičkog širenja i visokom čvrstoćom
- ne topi se na visokim temperaturama pod običnim pritiscima
- dobra mašinska obradljivost
- radni režim na visokim temperaturama

Za izradu kokila za kontinualno livenje se primenjuju sitnozrni grafiti. Sitnozrni grafit je izostatički presovan grafit sa sitnozrnim strukturom. Ovi grafiti se lako mašinski obrađuju do vrlo malih tolerancija, sa finom završnom obradom. Sitnozrni grafiti se odlikuju vrlo visokom toplotnom i elektro provodljivošću, imaju nisku propustljivost i otporni su na eroziju.

## 1.11. Prilozi

Prilog 1

## Nominalni hemijski sastav i mehaničke osobine tipične za prvu grupu legura

Tip legure	UNS broj	Sastav, %										Granica elastičnosti, %		Zatezna čvrstoća, %		Izduženje, %
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	Al	Mn	Si	drugo	MPa	ksi	MPa	ksi	
Bakar	C81100	100	...	...	...	...	...	...	...	...	...	28	4	124	18	40
Hrom bakar	C81500	99	...	...	...	...	...	...	...	1.0 Cr	276	40	34	5	17	
Žuti mesing	C85200	72	1	3	24	...	...	...	...	...	90	13	262	38	35	
	C85400	67	1	3	29	...	...	...	...	...	83	12	234	34	35	
	C85700	61	1	1	37	...	...	...	...	...	124	18	345	50	40	
	C85800	62	1	1	36	...	...	...	...	...	207	30	379	55	15	
	C87900	65	...	...	34	...	...	...	...	1	...	241	35	483	70	25
Mn bronza	C86200	63	...	...	27	...	3	4	3	...	331	48	654	95	20	
	C86300	61	...	...	27	...	3	6	3	...	476	69	793	115	15	
	C86400	58	1	1	38	...	1	5	5	...	172	25	448	65	20	
	C86500	58	...	...	39	...	1	1	1	...	207	30	489	71	30	
	C86700	58	1	1	34	...	2	2	2	...	290	42	586	85	20	
	C86800	55	...	...	36	3	2	1	3	...	290	38	565	82	22	
Al bronza	C95200	88	...	...	...	...	3	9	...	...	186	27	552	80	35	
	C95300	89	...	...	...	...	1	10	...	...	186-290	27-42	517-586	75-85	25-18	
	C95400	86	...	...	...	...	4	10	...	...	241-317	35-46	586-758	85-110	20-12	
	C95410	84	...	...	...	2	4	10	...	...	248-400	36-58	662-800	96-116	15-10	
	C95500	81	...	...	...	4	4	11	...	...	303-496	44-72	717-827	104-120	12-6	
	C95600	91	...	...	...	...	...	7	...	2	...	234	34	517	75	18
	C95700	75	...	...	...	2	3	8	12	...	...	310	45	655	95	26
	C95800	81	...	...	...	4,5	4	9	1,5	...	...	262	38	655	95	25
Ni bronza	C97300	57	2	9	20	12	...	...	...	...	117	17	241	35	30	
	C97600	64	4	4	8	20	...	...	...	...	165	24	310	45	20	
	C97800	66	5	2	2	25	...	...	...	...	207	30	379	55	15	
Beli mesing	C99700	58	...	2	22	5	...	1	12	...	...	172	25	379	55	25
	C99750	58	...	1	20	...	...	1	20	...	...	221	32	448	65	30

**Prilog 2****Nominalni hemijski sastav i mehaničke osobine tipične za drugu grupu legura**

Tip legure	UNS broj	Sastav, %								Granica elastičnosti, %		Zatezna čvrstoća, %		Izduženje %
		Cu	Zn	Ni	Fe	Mn	Si	Nb	Drugo	Mpa	Ksi	Mpa	ksi	
Berilijum Bakar	C81400	99,1							0,6 Be	248	36	365	53	11
										0,8 Cr	...	...	...	
	C82000	97							0,5 Be	121	17,6	243	35,2	20
										2,5 Co	517	75	689	100
	C82200	98							0,5 Be	145	21,1	276	40,1	20
										...	517	75	654	95
	C82400	97,8							1,7 Be	179	26,0	349	50,6	20
										0,5 Co	96,5	140	103,5	150
	C82500	97,2							2,0 Be	208	31,6	387	56,2	20
										0,5 Co	...	1105	160	1
C82600	96,6							2,4 Be	228	33,0	397	57,6	20	
									0,5 Co	1070	155	1140	165	1
C82800	96,6							2,6 Be	267	38,7	470	68,2	20	
									0,5 Co	1000	145	1140	165	1
Si mesing	C87500	82	14	...	...	...	4	...	...	462	67	145	21	...
Si bronza	C87300	9,5	...	...	...	1	4	...	...	400	58	241	35	...
	C87600	91	5	...	...	...	4	...	...	455	66	138	20	...
	C87610	92	4	...	...	...	4	...	...	400	58	207	30	...
	C87800	82	14	...	...	...	4	...	...	586	85	172	25	...
Bakar nikel	C96200	87	...	10	1,5	1	...	1	...	345	50	152	22	...
	C96400	66	...	30,5	0,5	1	...	1	...	469	68	193	28	...

**Prilog 3****Nominalni hemijski sastav i mehaničke osobine tipične za treću grupu legura**

Tip legure	UNS broj	Sastav, %					Granica elastičnosti, %		Zatezna čvrstoća, %		Izduženje, %
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Mpa	ksi	Mpa	ksi	
Crveni olovni mesing	C83450	88	2,5	2	6,5	1	103	15	255	37	34
	C83600	85	5	5	5	...	110	16	248	36	32
	C83800	83	4	6	7	...	110	16	241	35	28
Polucrveni olovni mesing	C84400	81	3	7	9	...	96	14	234	34	28
	C84800	76	2,5	6,5	15	...	103	15	255	37	29
Kalajna bronza	C90300	88	8	...	4	...	138	20	310	45	30
	C90500	88	10	...	2	...	152	22	317	46	30
	C90700	89	11	...	...	...	152	22	303	44	20
	C91100	84	16	...	...	...	172	25	241	35	2
	C91300	81	19	...	...	...	241	35	207	30	0,5
Olovno kalajna bronza	C92200	86	6	1,5	4,5	...	110	16	283	41	45
	C92300	87	8	1	4	...	138	20	290	42	32
	C92600	87	10	1	2	...	138	20	303	44	30
	C92700	88	10	2	...	...	142	21	300	42	20
Visoko-olovna kalajna bronza	C92900	84	10	2,5	...	3,5	179	26	324	47	20
	C93200	83	7	7	3	...	117	17	262	38	30
	C93400	84	8	8	...	...	110	16	248	36	25
	C93500	85	5	9	1	...	110	16	221	32	20
	C93700	80	10	10	...	...	124	18	276	40	30
	C93800	78	7	15	...	...	110	16	221	32	20
	C94300	70	5	25	...	...	110	16	207	30	18

## **2. EKSPERIMENTALNI DEO**

Sva eksperimentalna istraživanja su urađena u firmi KMM Metals ([www.kmmmetals.com](http://www.kmmmetals.com)) u Rigi (Latvia), na opremi koju je osmislio autor ovog rada. Oprema je projektovana i proizvedena u firmi SIA MARS Casting technologies iz Rige ([www.marsconticast.com](http://www.marsconticast.com)) u saradnji sa firmama JIM Tim iz Gornjeg Milanovca, Eling iz Loznice i Mikrokontrol iz Beograda.

### **2.1. Cilj eksperimenta**

Dugotrajnim istraživanjima, autora ovog rada u oblasti kontinualnog livenja, počevši od 1992 godine, sa istraživanjima dok je bio zaposlen u Institutu za bakar u Boru, pa do 25 maja 2005 godine, kada otvara svoju firmu, pod prvobitnim nazivom SIA MARS Conticast Technologies, koja kasnije menja naziv u SIA MARS Casting technologies, razvijena je oprema i tehnologija za vertikalno kontinualno livenje na dole i prodana firmi KMM Metals iz Rige. Autor je razvio u saradnji sa gore navedenim firmama, opremu za ceo proces vertikalnog kontinualnog livenja, za industrijsku proizvodnju, počevši od briketiranja špona, topljenja metala, vertikalnog kontinualnog livenja na dole i ispravljanja livenih profila. Sva ta oprema je instalirana u firmi KMM Metals u Rigi. Od 2010 godine, autor kreće u razvoj opreme za vertikalno kontinualno livenje na gore u standardnim i elektromagnetnim kristalizatorima. Prvo ovakvo postrojenje je takođe instalirano u firmi KMM Metals.

Postojeća oprema u firmi KMM Metals radi poslednjih nekoliko godina sa proizvodnjom od oko 5000 tona livenih profila na godišnjem nivou.

Iz navedenih razloga, cilj ovog eksperimenta je bio, da se na karakterističnim livenim profilima, koji se proizvode u ovoj firmi, sa promenom parametara livenja dođe do nekih naučnih i stručnih saznanja koji bi unapredili postojeću proizvodnju, kako bi ona bila još efikasnija i ekonomičnija. Akcenat ovih istraživanja je postavljen na tehnologiji za vertikalno kontinualno livenje na dole, a samo jedan mali deo ovih istraživanja je posvećen tehnologiji za vertikalno kontinualno livenje na gore. Razlog je u velikoj ceni ovih eksperimentalnih istraživanja.

Svi uzorci su uzeti u industrijskim uslovima, kako na tehnologiji za vertikalno kontinualno livenje na dole tako i na tehnologiji za vertikalno kontinualno livenje na gore.

Pored uzimanja uzoraka za dalja ispitivanja, u toku eksperimentalnih istraživanja praćeni su i uticaji konstrukcije opreme, počevši od parametara livenih peći i kristalizatora do livne mašine, na kvalitet i brzinu livenja.

Zbog preobimnosti ovih istraživanja mnogi parametri nisu detaljno opisani, nego su dati u rezultatima istraživanja i zaključku ovog rada. Parametri koji se zbog komercijalnih važnosti nemogu javno publikovati biće izneti na nivou koji neugrožava komercijalnu tajnu.



## **2.2. Postrojenje za vertikalno kontinualno livenje profila na dole MARS 13–66**

Postrojenje za vertikalno kontinualno livenje na dole, prikazano je na slici 2.1. Sastoji se od srednjefrekventne lončaste livne peći, platforme koja nosi livnu peć, kristalizatora i livne mašine.

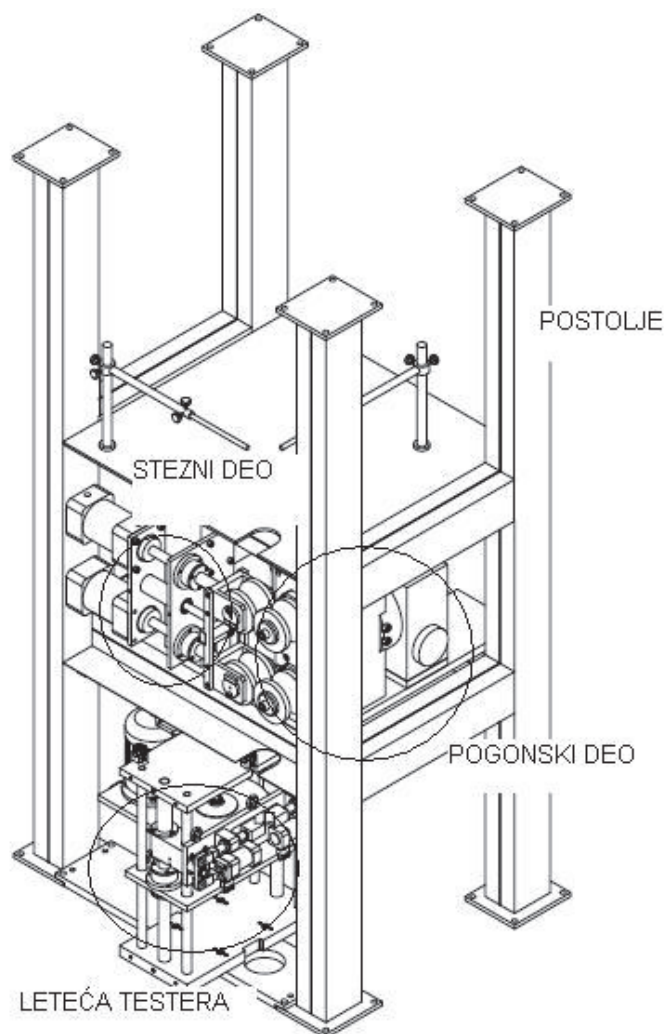


**Slika 2.1.** Postrojenje za vertikalno kontinualno livenje na dole

U daljem tekstu zbog preobimnosti podataka, i ograničenosti broja stranica ovog rada, veći deo će biti posvećen livnoj mašini i samoj tehnologiji, a manji deo ostalim delovima postrojenja.

### **2.2.1. Livna mašina**

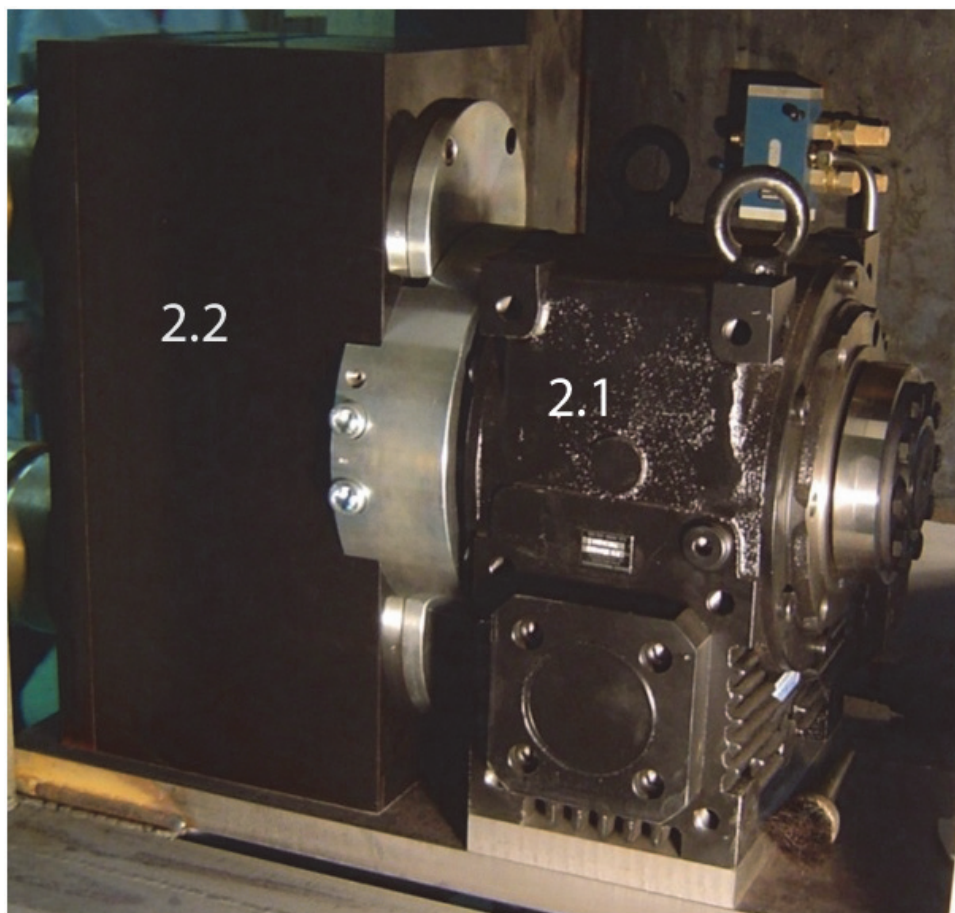
Mašina se sastoji iz četiri osnovna dela: postolja mašine, pogonskog dela sa vučnim valjcima, steznog sklopa sa pritiskim valjcima i leteće cirkularne testere (slika 2.2.).



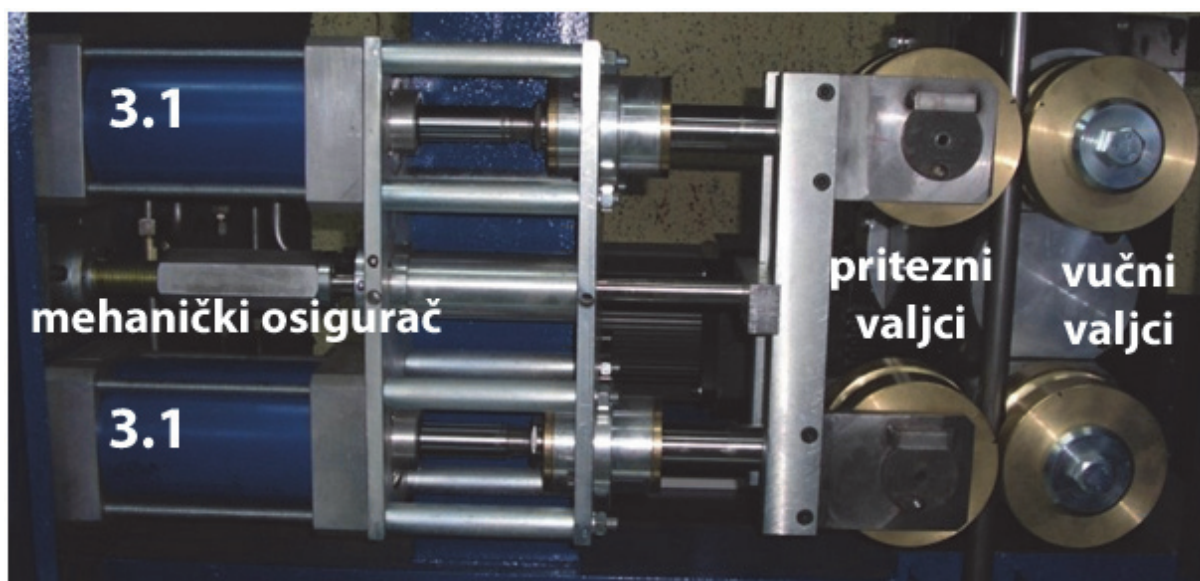
**Slika 2.2.** Mašina za kontinualno livenje profila na dole MARS 13 – 66

Postolje mašine je izrađeno kao varena konstrukcija čeličnih U profila. Pogonski deo sa vučnim valjcima sa sastoji iz pužnog servo reduktora DYNABOX (na slici 2.3, oznaka 2.1) i reduktora (na slici 2.3, oznaka 2.2) sa dva izlazna vratila na kojima su postavljeni vučni valjci i steznog sklopa sa pritisnim valjcima (slika 2.4) .

Zadatak pogonskog dela je da moment sa servo motora prenese preko vučnih valjaka na profil koji se lije.



**Slika 2.3.** Pužni servo reduktor DYNABOX i reduktor sa dva izlazna vratila



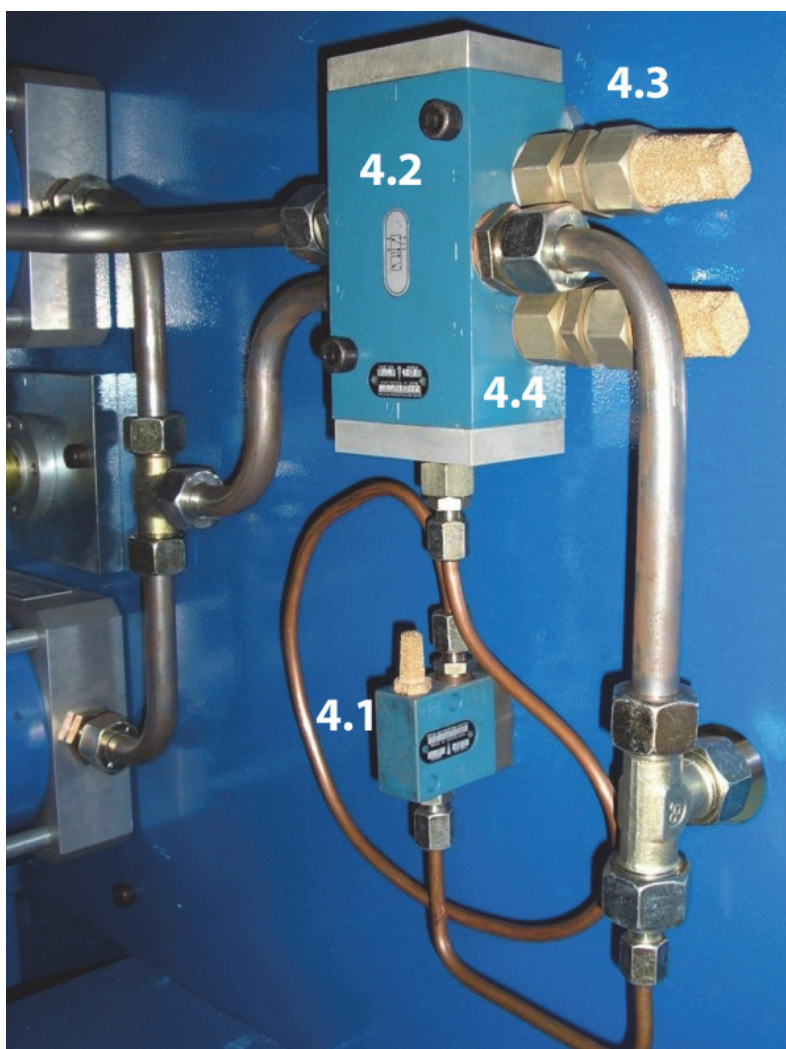
**Slika 2.4.** Stezni sklop sa pritisknim valjcima



Uloga steznog sklopa je da preko pneumatskih cilindara (na slici 2.4, oznaka 3.1) i pritezni valjaka obezbedi silu pritezanja profila između steznih i vučnih valjaka, kako bi se izbeglo proklizavanje profila između valjaka i dobio jednoznačan odnos ugao obrta valjka – linearno pomeranje profila.

Za slučaj nestanka vazduha postavljen je mehanički osigurač pritezanja valjaka (slika 2.4).

Za kontrolu smera pneumatskog cilindra koristi se ručni pneumatski razvodnik (slika 2.5, oznaka 4.1) i pneumatski aktivirani razvodnik (slika 2.5, oznaka 4.2). Pomeranjem poluge razvodnika na gore (cilindri stežu profil između valjaka) i dole (klipnjače cilindra se uvlače) reguliše se stezanje i otpuštanje livenog profila. Odvijanjem i zavijanjem prigušno nepovratnog ventila (slika 2.5, oznaka 4.3) reguliše se brzina kretanja steznih cilindara prilikom stezanja, tj brzina izvlačenja klipnjače cilindra (slika 2.4, oznaka 3.1). Odvijanjem i zavijanjem prigušno nepovratnog ventila (slika 2.5, oznaka 4.4) reguliše se brzina kretanja steznih cilindara prilikom otpuštanja profila, tj. brzina uvlačenja klipnjače cilindra (slika 2.4, oznaka 3.1).



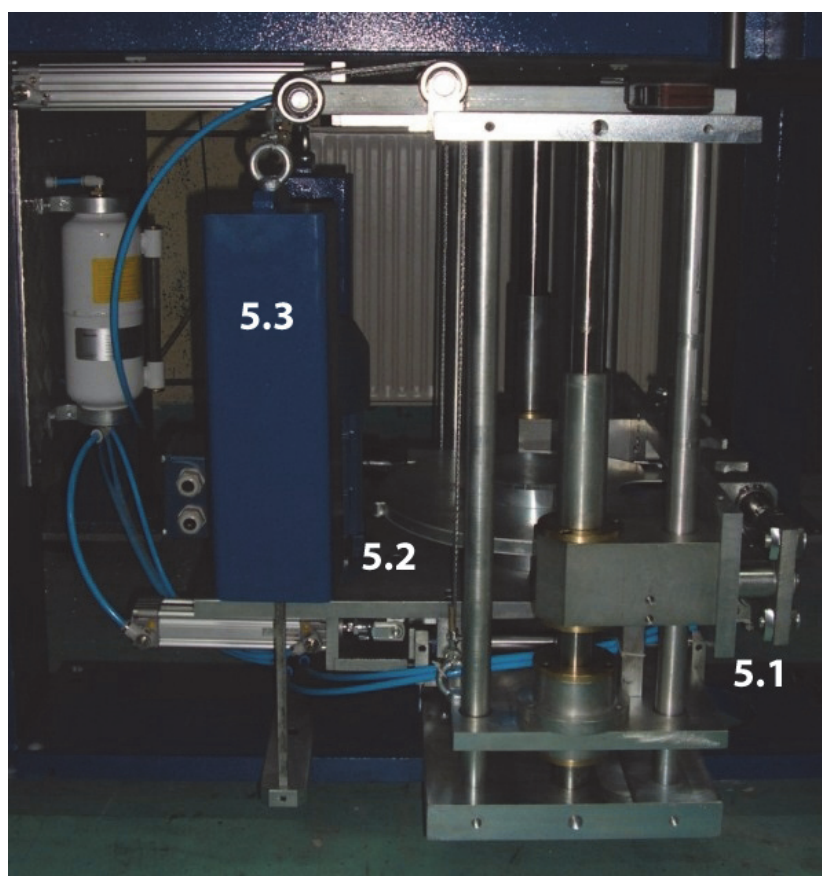
**Slika 2.5.** Ručni i pneumatski aktivirani razvodnik steznog sklopa

Leteća cirkularna testera (slika 2.6) služi da na zadatu komandu iz PLC-a odseče profil na zadatu dužinu. Sastoji se iz tri osnovna dela: steznog (slika 2.6, oznaka 5.1), reznog (slika 2.6,

oznaka 5.2) i podiznog sklopa (slika 2.6, oznaka 5.3).

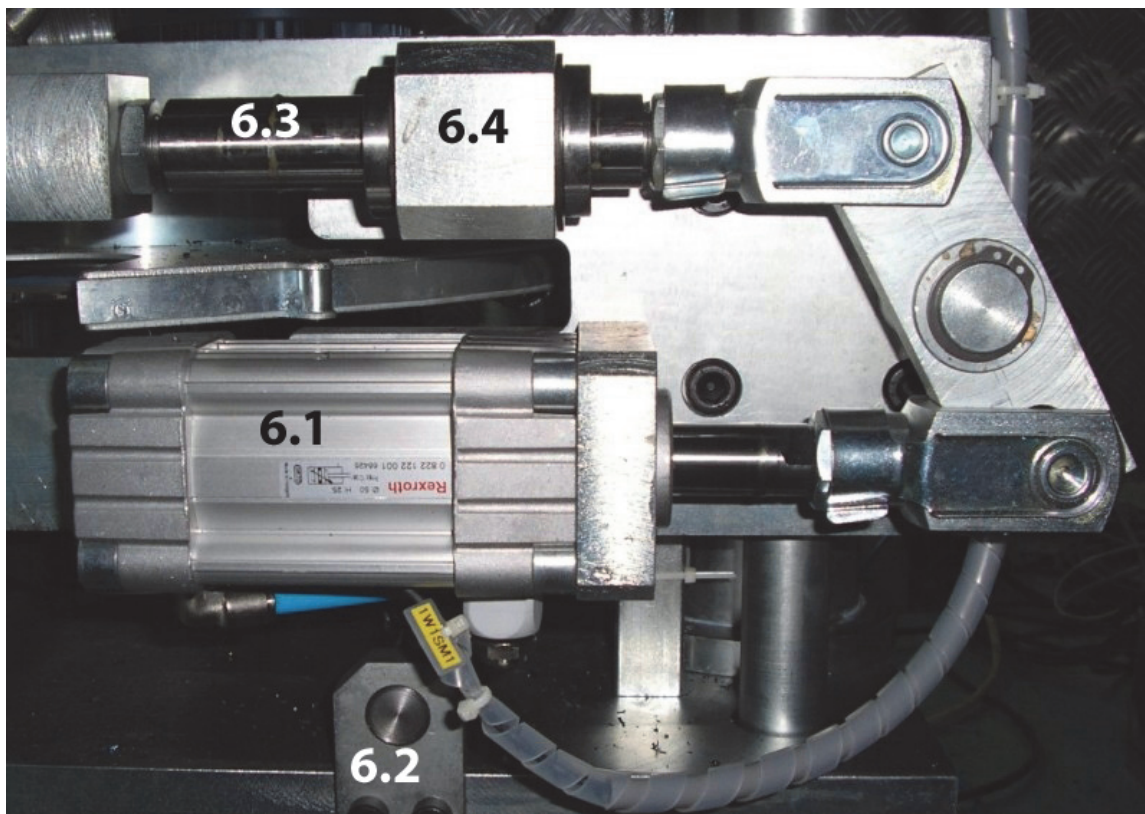
Stezni sklop (slika 2.7) obezbeđuje stezanje profila putem pneumatskih cilindara (slika 2.7, oznaka 6.1), pri čemu je omogućeno vertikalno kretanje testere zajedno sa profilom. Za kontrolu smera pneumatskog cilindra koristi se elektro pneumatski razvodnik (slika 2.8, oznaka 7.1). Aktiviranjem špulne razvodnika vrši se izvlačenje klipnjače pneumatskih cilindara i stezanje profila. Za kontrolu sile stezanja služi regulator pritiska (slika 2.8, oznaka 7.2) na čijem manometru se može očitati pritisak stezanja. Pritisni prekidač (slika 2.8, oznaka 7.3). služi da PLC-u da povratnu informaciju o trenutku postizanja zadatog pritiska stezanja.

Zadavanje pritiska na kojem pritisni prekidač prebacuje kontakt se vrši odvijanjem i zavijanjem zavrtnja na pritisnom prekidaču. Beskontaktni prekidač (slika 2.7, oznaka 6.2) šalje povratnu informaciju PLC –u da su stezni cilindri u zadnjem položaju i on se nalazi u žlebu pneumatskih cilindara. Pomeranje prekidača se vrši odvijanjem zavrtnja na prekidaču i njegovim pomeranjem duž cilindra. Odvijanjem i zavijanjem prigušno nepovratnog ventila, reguliše se brzina kretanja steznih cilindara prilikom stezanja. Horizontalno vođenje steznih paknova je obezbeđeno lineranim vođicama (slika 2.7, oznaka 6.3) i linernim ležajevima (slika 2.7, oznaka 6.4).

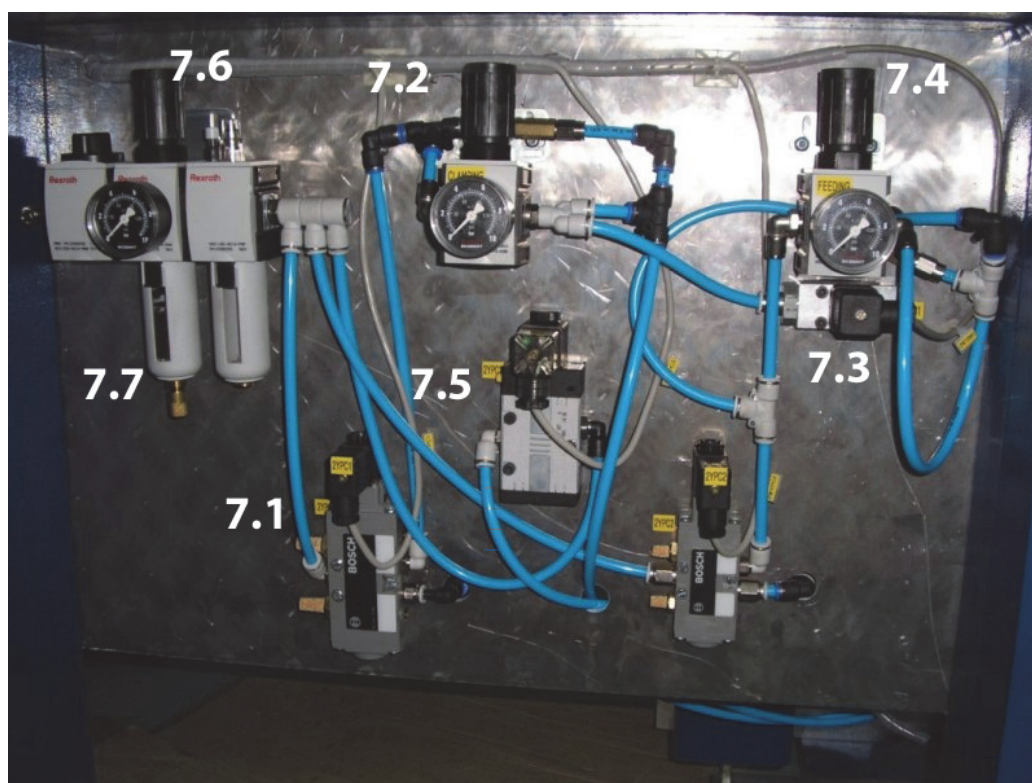


**Slika 2.6.** Leteća cirkularna testera





Slika 2.7. Stezni sklop leteće cirkularne testere



Slika 2.8. Kontrolna tabla sa pneumatskim razvodom leteće cirkularne testere

Rezni deo obezbeđuje horizontalno kretanje cirkularne testere (slika 2.9, oznaka 8.1) putem hidro – pneumatskog sistema. Hidro pneumatski sistem se sastoji iz pneumatskog cilindra (slika 2.9, oznaka 8.2) i uljnog rezervora (slika 2.9, oznaka 8.3).

Za kontrolu smera pneumatskog cilindra (slika 2.9, oznaka 8.2, slika 2.11, oznaka 10.4) koristi se elektro pneumatski razvodnik (slika 2.8, oznaka 7.3). Aktiviranjem špulne ovog razvodnika testera kreće prema profilu. Za kontrolu sile rezanja služi regulator pritiska (slika 2.8, oznaka 7.4) na čijem manometru se može očitati pritisak rezanja.

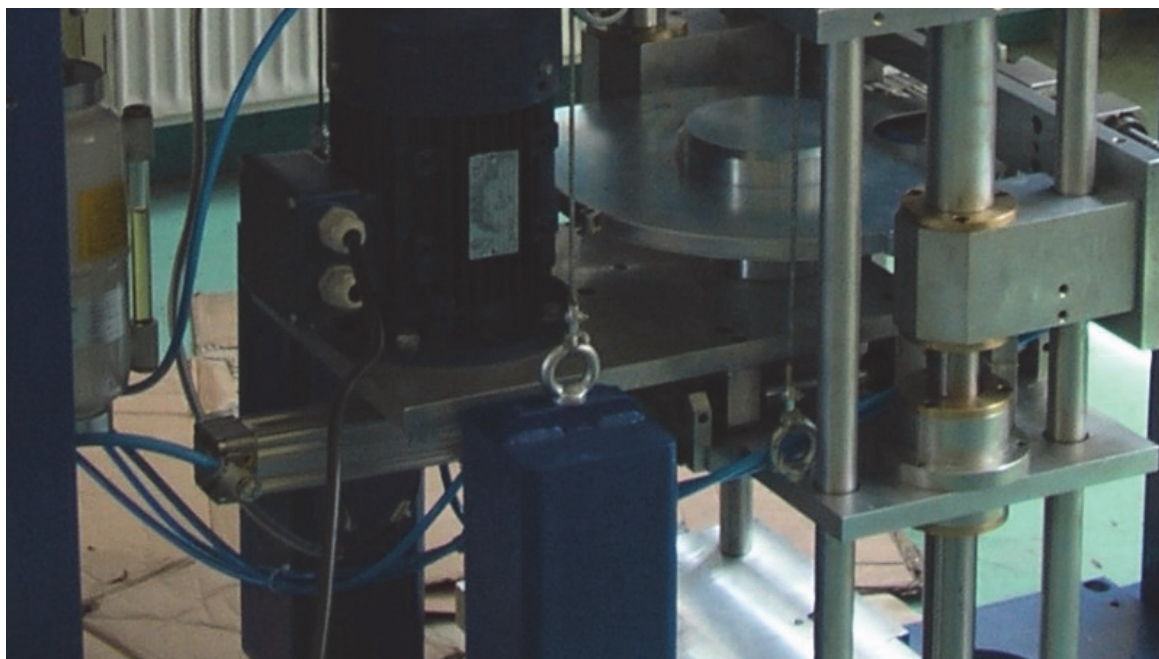
Podešavanja brzine izvlačenja klipnjače cilindra (slika 2.9, oznaka 8.2, slika 2.11, oznaka 10.4), tj. brzine posmaka testere služi prigušno nepovratni ventil (slika 2.11, oznaka 10.1) čijim se odvijanjem, tj. zavijanjem reguliše brzina posmaka.

Podešavanja brzine uvlačenja klipnjače cilindra (slika 2.9, oznaka 8.2, slika 2.11, oznaka 10.4), tj. brzine uvlačenja testere služi prigušno nepovratni ventil (slika 2.11, oznaka 10.2) čijim se odvijanjem, tj. zavijanjem reguliše brzina posmaka.

Beskontaktni prekidač (slika 2.10, oznaka 9.1) daje povratnu informaciju PLC –u da je testera uvučena, tj da se nalazi u početnom položaju, a beskontaktni prekidač (slika 2.10, oznaka 9.2) daje povratnu informaciju PLC –u da je testera završila sa rezanjem. Ovi beskontaktni prekidači se nalaze na nosačima (slika 2.10, oznaka 9.3). Pomeranje prekidača se vrši odvijanjem 2 zavrtnja na nosačima i njihovim pomeranjem duž cilindra.

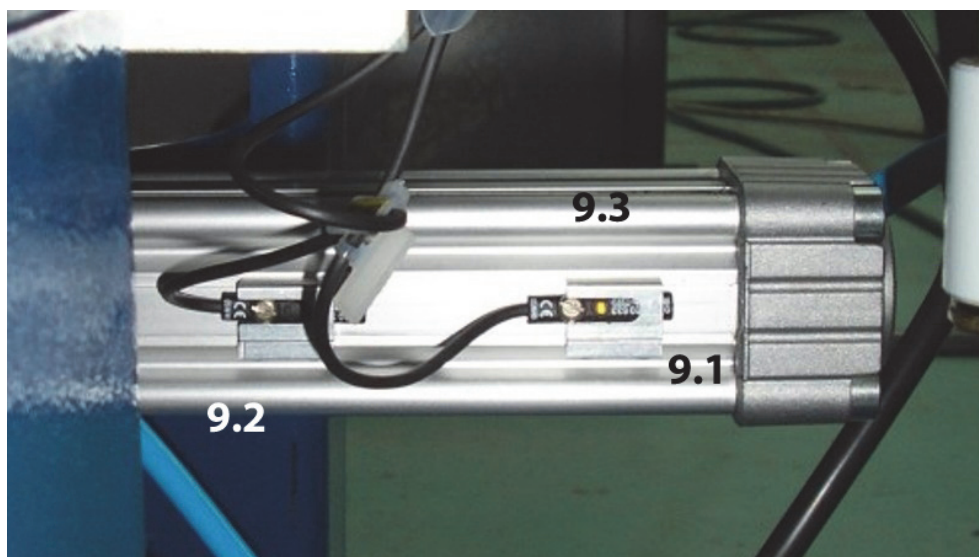
Pogon cirkularne testere se odvija kaišnim prenosom (slika 2.9, oznaka 8.4) sa elektromotora 1.5KW/4p (slika 2.9, oznaka 8.4).

Uležištenja testere su izvedena sa ležajevima, a horizontalno vođenje cirkularne testere je obezbeđeno lineranim vođicama (slika 2.9, oznaka 8.5) i linernim ležajevima (slika 2.9, oznaka 8.6).



**Slika 2.9.** Rezni deo leteće cirkularne testere





**Slika 2.10.** Beskontaktni prekidači na pneumatskom cilindru



**Slika 2.11.** Pneumatski cilindar za horizontalno kretanje leteće cirkularne testere

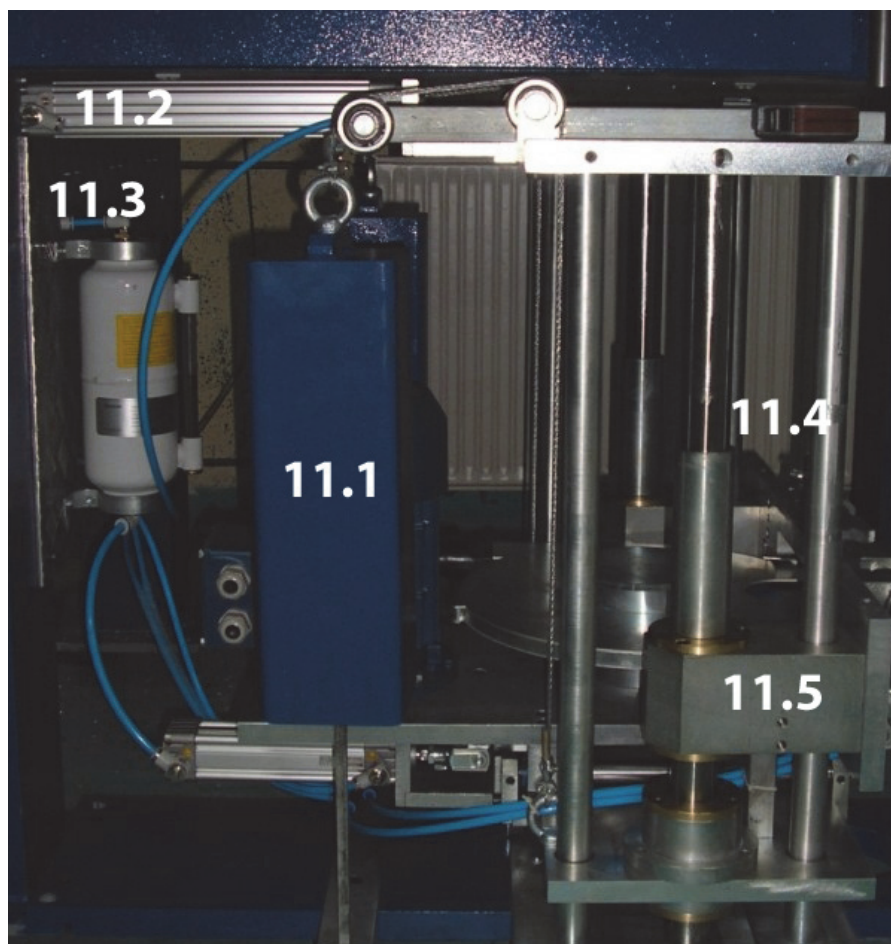
Podizni sklop testere (slika 2.12) obezbeđuje vertikalno kretanje testere kombinacijom kontra tegova (slika 2.12, oznaka 11.1) i pneumatskog cilindra (slika 2.12, oznaka 11.2) za podizanje testere u početni položaja.

Za kontrolu smera pneumatskog cilindra 11.2 koristi se elektro pneumatski razvodnik (slika 2.8, oznaka 7.5). Deaktiviranjem špulne ovog razvodnika testera se podiže u krajnji gornji položaj. Beskontaktni prekidač (slika 2.13, oznaka 12.1) daje povratnu informaciju PLC –u da je testera u krajnjem donjem položaju. Podešavanja brzine uvalčenja klipnjače cilindra za povlačenje testere u početni položaj, tj. brzine kretanja testere u krajnji gornji položaj služi prigušno nepovratni ventil (slika 2.12, oznaka 11.3) čijim se odvijanjem, tj. zavijanjem reguliše brzina podizanja. Vertikalno kretanje je obezbeđeno linearnim vođicama (slika 2.12, oznaka 11.4) i linearnim ležajevima (slika 2.12, oznaka 11.5).

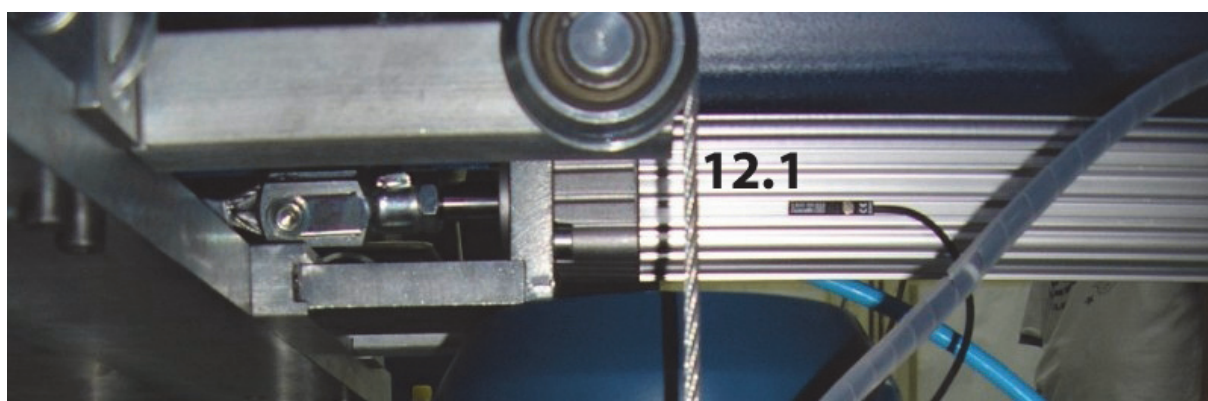
Napajanje pneumatskog sistema testere vazduhom vrši se preko pripremne grupe (slika 2.8,



oznaka 7.6) i slavine (slika 2.8, oznaka 7.7).



**Slika 2.12.** Podizni sklop letеće cirkularne testere



**Slika 2.13.** Pneumatski cilindar za podizanje testere u početni položaj

### Upravljački sistem livne mašine

Po dovođenju napajanja i uspostavljanja komunikacije između operator panela i PLC-a, na ekranu panela se pojavljuje uvodni ekran prikazan na slici 2.14.

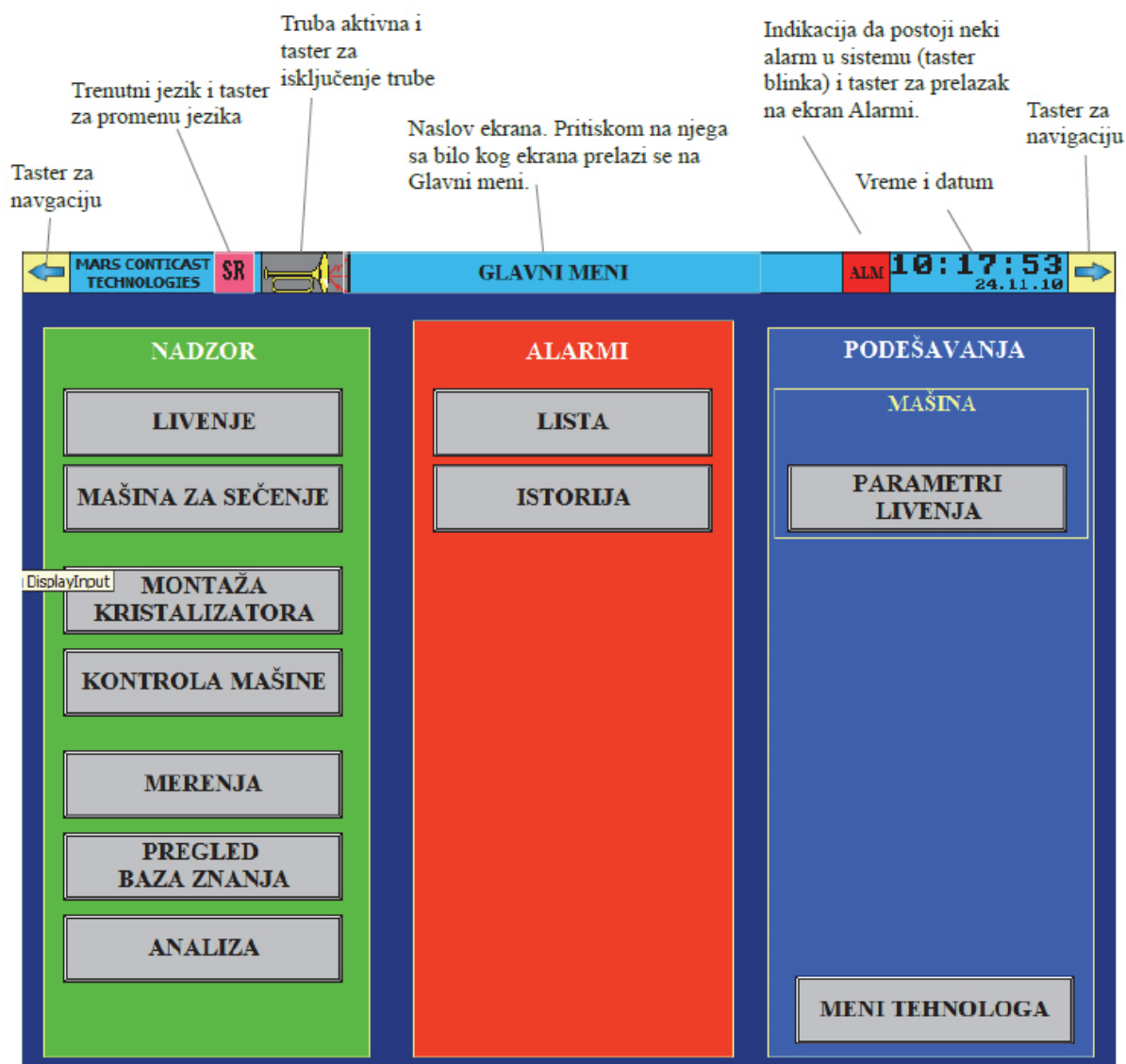


Slika 2.14. Uvodni ekran

Ovde postoji mogućnost promene jezika pritiskom na tastere Srpski, ..., Latvijski. Pritiskom na taster Glavni Meni prelazi se na ekran Glavni Meni sa kojeg se pristupa svim ostalim ekranima panela.

#### Glavni meni

Ovaj ekran (slika 2.15) podeljen je na tri celine: prva sadrži tastere koji prikazuju ekrane za nadzor i komandovanje sistemom (celina pod nazivom NADZOR zelene boje), druga sadrži tastere za prikaz ekrana sa alarmima (celina pod nazivom ALARMI crvene boje) i treća celina sadrži tastere za prikaz ekrana koji omogućavaju razna podešavanja sistema (celina PODEŠAVANJA plave boje).

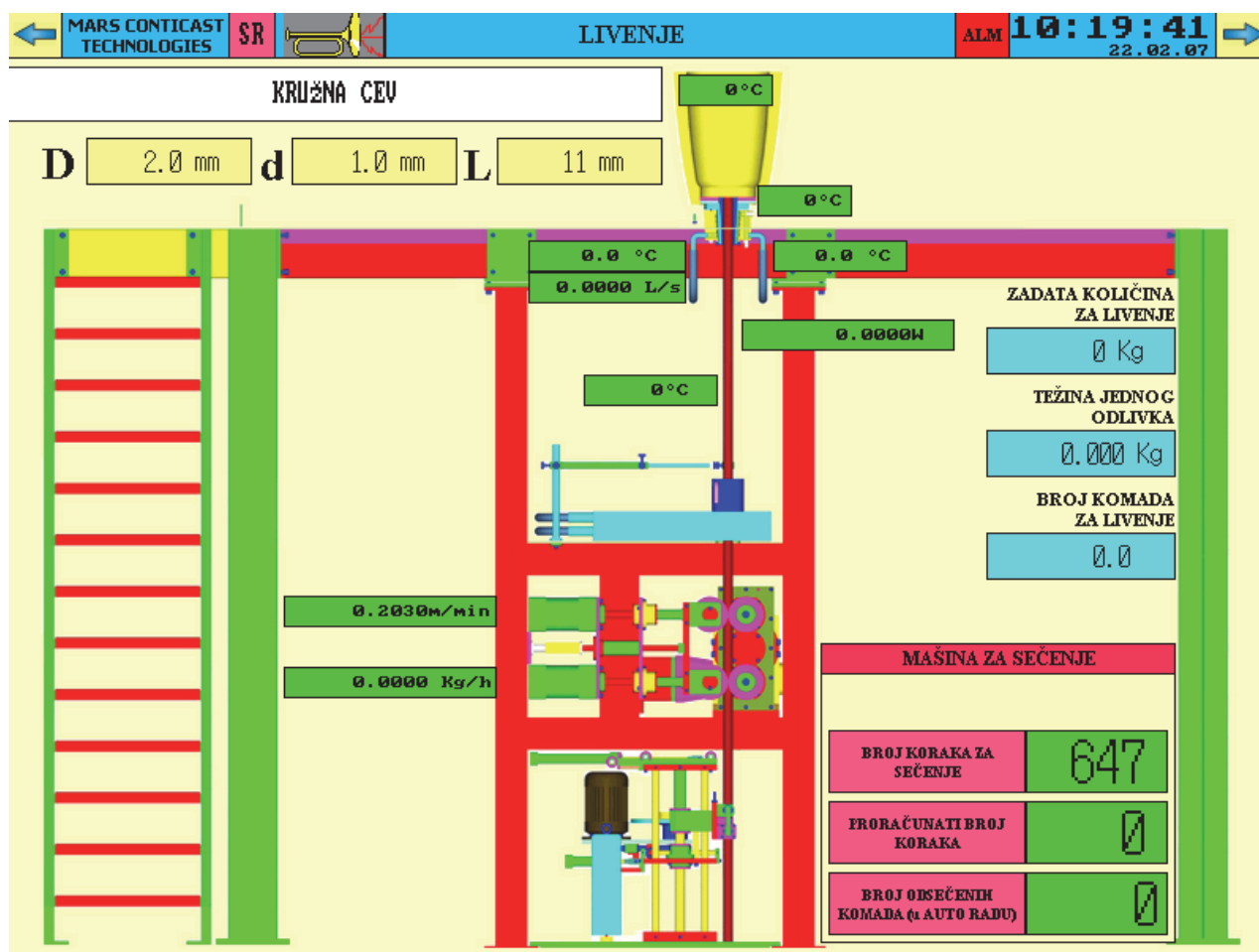


Slika 2.15. Glavni meni

U zaglavlju svakog ekrana nalazi se naslov ekrana, tasteri za navigaciju, datum i vreme, indikacija da li je truba uključena i taster za njeno isključenje, indikacija da li postoji neki alarm u sistemu i taster za prelazak na ekran sa alarmima. Pritiskom na naslov bilo kog ekrana panela prikazuje se Glavni Meni sa slike 2.15.

### Livenje

Pritiskom na taster **LIVENJE** na glavnom meniju prelazi se na ekran LIVENJE (slika 2.16) koji sadrži prikaz mašine i veličina od interesa za operatera. Prikazane su temperature, protoci, brzine livenja, trenutno izabrani profil sa dimenzijama itd.



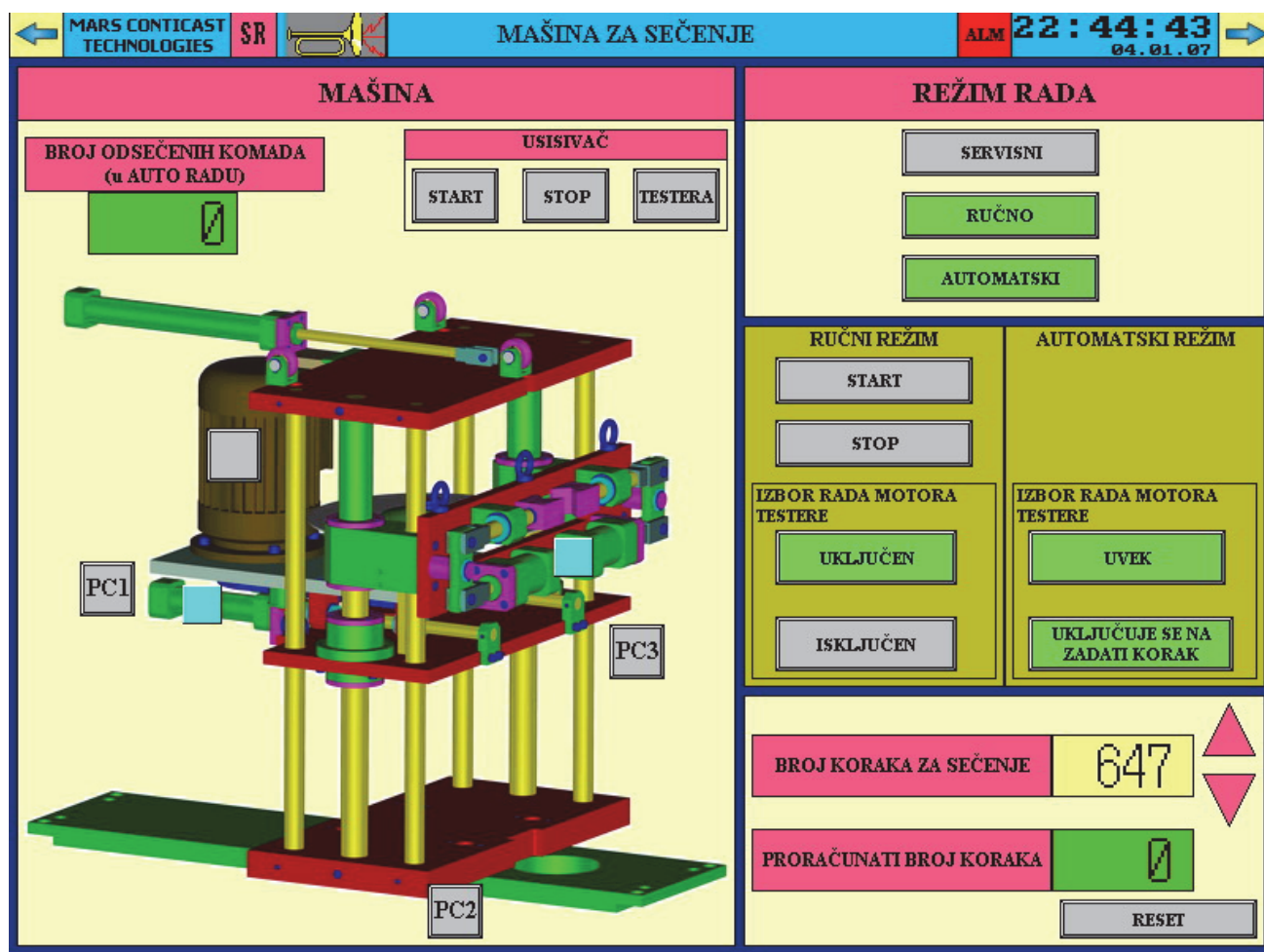
Slika 2.16. Ekran „Livenje“

Na ekranu je data slika mašine sa prikazom svih veličina od interesa. U donjem desnom uglu prikazani su i neki osnovni parametri mašine za sečenje.

### Mašina za sečenje

Pritiskom na taster MAŠINA ZA SEČENJE na glavnom meniju prelazi se na ekran MAŠINA ZA SEČENJE (slika 2.17) koji sadrži prikaz mašine za sečenje i veličine vezane za nju. Uz sliku mašine nalaze se zelene lampice za indikaciju položaja cilindra (uvučen, izvučen) i lampice za prikaz alarma svakog od cilindra. Cilindri su obeleženi oznakama PC1, ..., PC3. Za motor postoji taster za Start/Stop za indikacijom da li motor radi (zeleno) ili ne (sivo).

Ovde je data mogućnost izbora režima rada mašine za sečenje (servisni, ručni, automatski). U zavisnosti od izabranog režima postaju vidljivi tasteri za ručni (START i STOP, UKLJUČEN, ISKLJUČEN) ili tasteri za automatski režim (izbor rada motora testere). Sa ovog ekrana je moguće komandovati usisivačem preko tastera START, STOP i TESTERA.



Slika 2.17. Mašina za sečenje

U donjem desnom delu ekrana prikazan je proračunati broj korak koji se može resetovati pritiskom na taster RESET.

Broj korak za sečenje može da se menja pritiskom na strelice gore dole u inkrementima po 1, ili pritiskom na samo polje prikaza kada se otvara numerička tastatura za unos nove vrednosti. Ovo je slučaj sa svim ostalim poljima za unos u aplikaciji.

### Montaža kristalizatora

Tasterom MONTAŽA KRISTALIZATORA sa glavnog menija prelazi se na ekran MONTAŽA KRISTALIZATORA (slika 2.18) na kojem je data mogućnost unosa linijske brzine kretanja odlivka na dva načina: strelicama gore dole (u inkrementima po 0.1) ili pritiskom na taster prikaza kada se otvara numerička tastura za slobodan unos. Tasterima GORE i DOLE komanduje se smerom kretanja odlivka tako što je komanda aktivna samo dok je taster pritisnut.



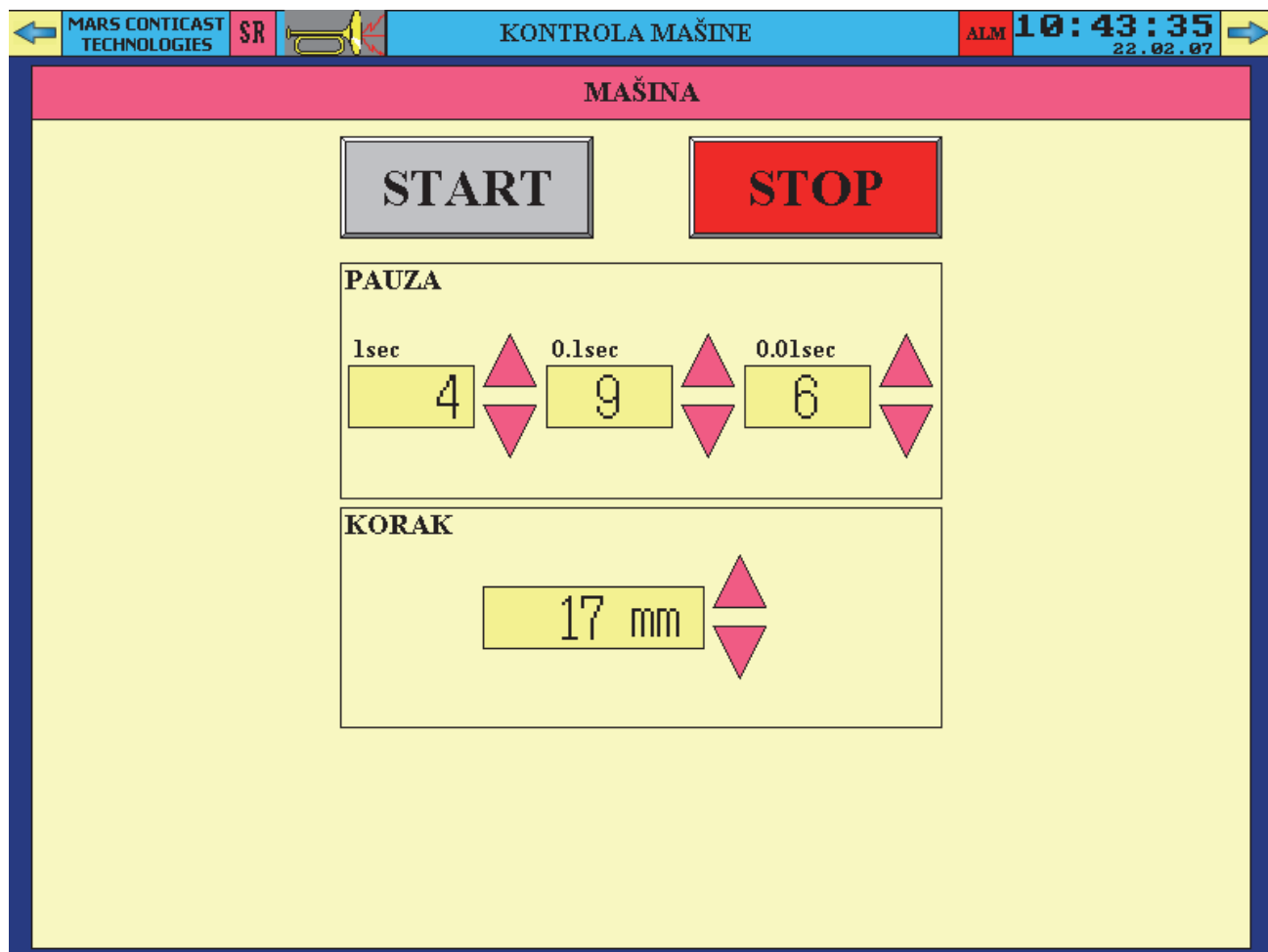


Slika 2.18. Ekran „Montaža kristalizatora“

### Kontrola mašine

Tasterom KONTROLA MAŠINE sa glavnog menija prelazi se na ekran KONTROLA MAŠINE (slika 2.19) na kojem je data mogućnost startovanja i zaustavljanja mašine (tasteri START i STOP) i zadavanje parametara PAUZA (u 0.01, 0.1 i 1 delovima sekunde), KORAK i TEMPERATURE (unos se temperatura livenja i parametar dT). Nakon pritiska na taster START, ukoliko je mašina startovana bez alarma, taster svetli zeleno sve vreme rada.

Većina polja za unos su žute boje dok su polja koja su samo za prikaz su zelene boje. Kako je već rečeno, polja za unos mogu da se menjaju preko strelica ili pritiskom na to polje kada se otvara numerička tastatura prikazana na slici 2.20. Preko tastera se unese željena vrednost i potvrdi se pritiskom na ENTER kada se vrednost učitava u PLC. Odustaje se sa CANCEL, briše ceo unos sa CLR, a vraćanje unazad uz brisanje po jednog karaktera sa BS. Na tastaturi su prikazane MIN i MAX vrednosti izvan kojih ne možemo upisati novu vrednost.



Slika 2.19. Ekran „Kontrola mašine“



Slika 2.20. Numerička tastatura

### Merenja

Tasterom MERENJA sa glavnog menija prelazi se na ekran MERENJA (slika 2.21). Na ovom ekranu dat je prikaz svih analognih veličina u procesu livenja sa indikacijom maksimalne

ili minimalne vrednosti kao i indikacijom da li je došlo do prekida ulaza analognog signala (dešava se u slučaju kvara senzora ili prekida žice) u odeljku UPOZORENJE.

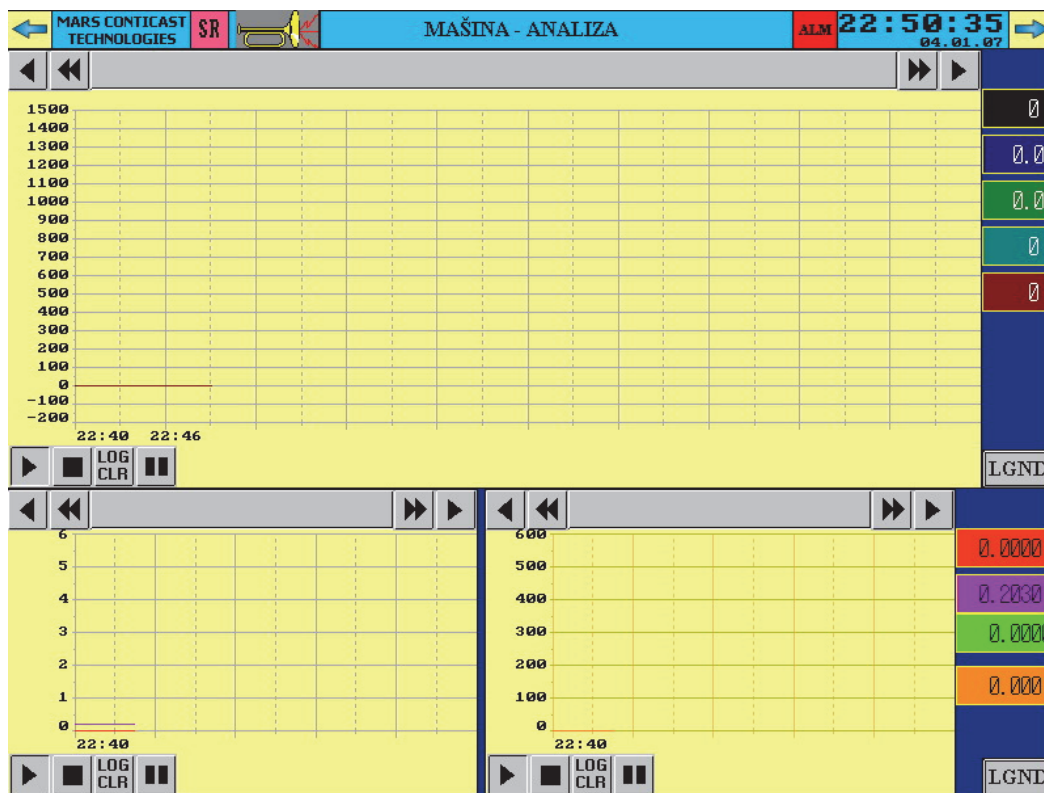
MAŠINA		
VELIČINA	VREDNOST	UPOZORENJE
TEMPERATURA RASTOPLJENOG METALA U LIVNOM LONCU	0 °C	
TEMPERATURA VODE NA ULAZU U KRISTALIZATOR	0.0 °C	
TEMPERATURA VODE NA IZLAZU IZ KRISTALIZATORA	0.0 °C	
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA	0 °C	
TEMPERATURA GRAFITNE KOKILE	0 °C	
PROTOK VODE ZA HLAĐENJE KRISTALIZATORA	0.0000 L/s	
TOPLOTNI FLUKS	0.0000W	
BRZINA LIVENJA	0.0000m/min	
BRZINA LIVENJA	0.0000 Kg/h	
ZADATA KOLIČINA ZA LIVENJE	0 Kg	
TEŽINA JEDNOG ODLIVKA	0.000 Kg	
BROJ KOMADA ZA LIVENJE	0.0	

Slika 2.21. Ekran „Merenja“

### Analiza

Tasterom ANALIZA sa glavnog menija prelazi se na ekran MENI ANALIZA sa kojeg je moguće izabrati ekrane za logovanim podacima. Pritiskom na taster ANALIZA 1 otvara se ekran sa prikazanim svim veličinama od interesa (slika 2.22) bez potrebe za dodatnim pritiskanjem tastera. Tasterom LGND otvara se pop-up ekran (slika 2.23) sa objašnjenjem koja boja na grafiku šta predstavlja.

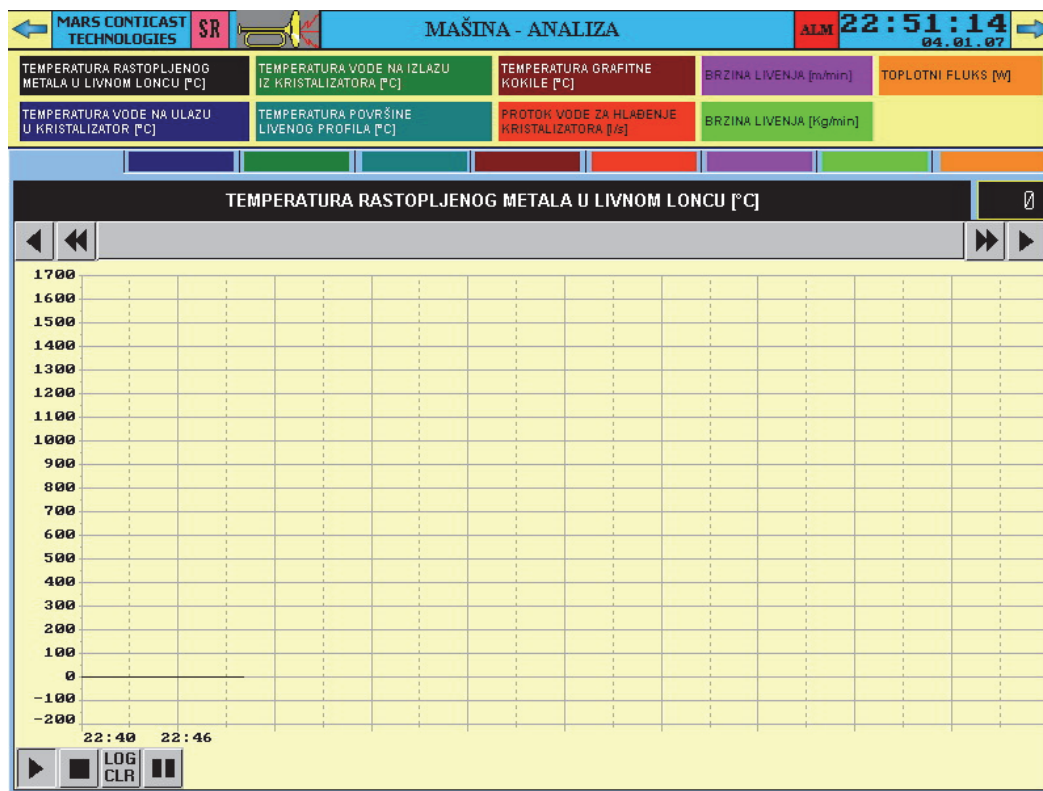




Slika 2.22. Ekran „Analiza 1“



Slika 2.23 Objašnjenje boja na grafiku



Slika 2.24. Ekran „Analiza 2“

Pritiskom na taster ANALIZA 2 otvara se ekran sa slike 2.24 gde je svaka veličina prikazana na svom grafiku unutar jednog taba. Pritiskom na drugi tab (tabovi se razlikuju po bojama) otvara se grafik druge analogne veličine.

#### LISTA ALARMA I ISTORIJA ALARMA

Tasterom LISTA sa glavnog menija prelazi se na ekran ALARMA (slika 2.25). Na ovom ekranu je prikazano vreme kada se alarm dogodio. Kad alarm nestane, briše se automatski sa spiska. Za potvrdu alarma koristi se taster KVIT.



Slika 2.25. Ekran „Lista alarma“

Tasterom ISTORIJA sa glavnog menija prelazi se na ekran ISTORIJA ALARMA (slika 2.26) na kojem je prikazan lista svih alarma u sistemu, aktivnih ili nestalih, sa vremenom nastanka i vremenom prestanka. Ova se lista ne može brisati i radi po principu FIFO bafera od 1024 unosa.

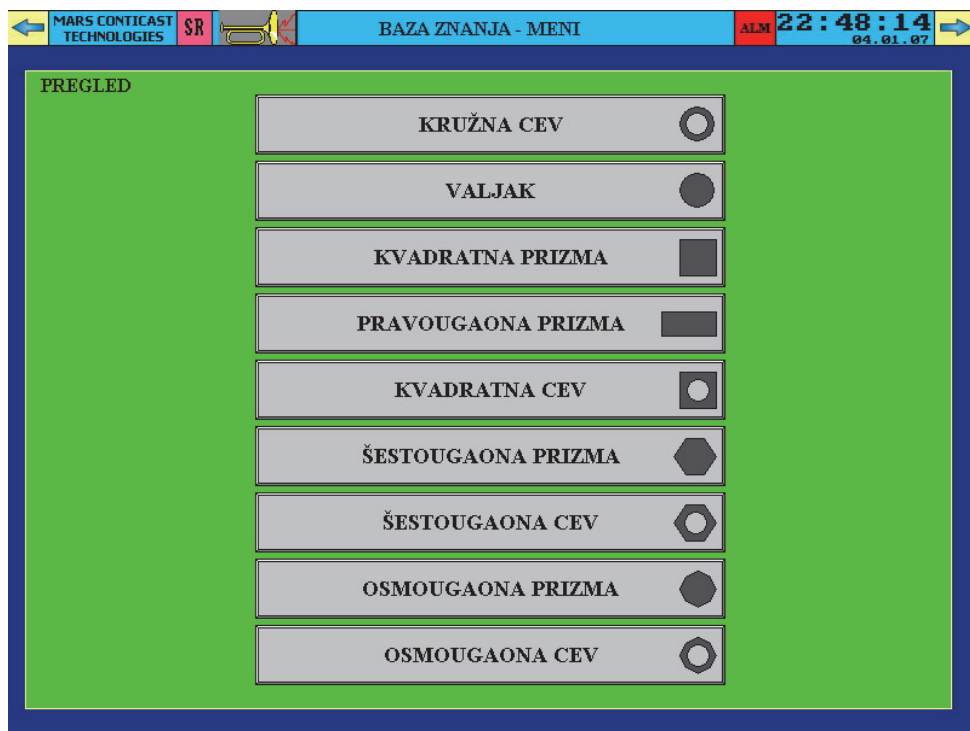
MARS CONTICAST TECHNOLOGIES		SR	ISTORIJA ALARMA		ALM	22:52:28
04.01.07						
MAŠINA						
04.01.07	22:52:22				ALARM	uključenja ventila testere pri uvlacenju
04.01.07	22:52:22				ALARM	uključenja ventila makaza pri otvaranju
04.01.07	22:52:20	04.01.07	22:52:22		ALARM	uključenja ventila testere pri uvlacenju
04.01.07	22:52:20	04.01.07	22:52:20		ALARM	uključenja ventila makaza pri otvaranju
04.01.07	22:40:46	04.01.07	22:52:20		ALARM	uključenja ventila testere pri uvlacenju
04.01.07	22:40:46	04.01.07	22:52:20		ALARM	uključenja ventila makaza pri otvaranju
04.01.07	22:40:46					Pritisnut SVE STOP taster
04.01.07	22:40:46					MAX Temperatura na površini odlivka 1
04.01.07	22:40:46					MIN protok goriva za gorionik
04.01.07	22:40:46					MIN Temperatura vode na ulazu u kristalizator
04.01.07	22:40:46					MAX Temperatura grafitne kokile
04.01.07	22:40:46					ALARM servo regulatora masine

Slika 2.26. Ekran „Istorija alarma“

### Baza znanja

Tasterom BAZA ZNANJA PREGLED sa glavnog menija prelazi se na ekran BAZA ZNANJA MENI (slika 2.27) na kojem je dat pregled svih profila koji se rade na mašini. Pritiskom na neki od njih otvara se tabela sa 100 unosa podeljenih na 5 tabove (u svakom tabu postoji tabela sa 20 unosa) sa parametrima izabranog profila. Kada se na ovaj opisani način dođe do baze znanja ona ne može da se menja što je naznačeno natpisom PREGLED koji blinka na ekranu BAZA ZNANJA MENI.

Kada se bazi znanja pristupi preko menija tehnologa (sto zahteva unos password-a) tada ekran BAZA ZNANJA MENI ima natpis IZMENA sto znači da se izborom profila otvara ekran baze znanja za taj profil sa mogućnošću izmene (slika 2.29).



Slika 2.27. Baza znanja pregled meni

PROFIL	D [mm]	d [mm]	Pauza [sec]	Pauza [0.1 sec]	Pauza [0.01 sec]	Korak [mm]
Test na simulatoru	11.3	8.3	7	2	5	3
I ovo	23.6	0.0	0	0	0	0
gfn	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	2.6	26.9	88	7	4	5
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0	0	0	0

Slika 2.28. Baza znanja – kružna cev pregled

PROFIL	D [mm]	d [mm]	Pauza [sec]	Pauza [0.1 sec]	Pauza [0.01 sec]	Korak [mm]
Test na simulatoru		8.3	7	2	5	3
I ovo			0	0	0	0
gfn			0	0	0	0
			0	0	0	0
			88	7	4	5
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0

Slika 2.29. Baza znanja – kružna cev izmena

### Parametri livenja

Tasterom PARAMETRI LIVENJA sa glavnog menija prelazi se na ekran PARAMETRI LIVENJA (slika 2.30) na kojem je data mogućnost podešavanja svih parametara livenja. Ekran je podeljen na tabove. Na prvom tabu POPREČNI PRESEK PROFILA bira se profil za livenje prostim pritiskom pored slike profila. Data je mogućnost unosa dimenzija profila i pretraga baze znanja da li je profil takvih dimenzija već u bazi znanja, pritiskom na taster PRETRAŽI.

Na drugom tabu (slika 2.31), KORAK, PAUZA I PREČNIK VUČNOG VALJKA, data je mogućnost unosa parametara koraka, pauze i prečnika vučnog valjka.

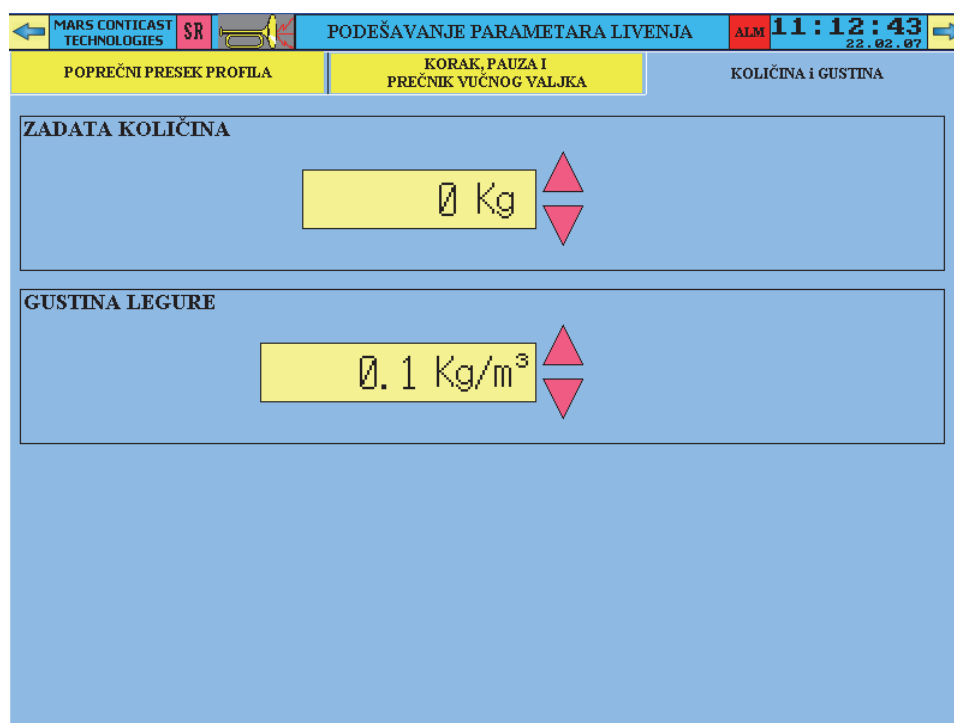
Na trećem tabu (slika 2.32), KOLIČINA, GUSTINA, data je mogućnost unosa količine i gustine.

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES		SR		PODEŠAVANJE PARAMETARA LIVENJA		ALM 11:23:38	
POPREČNI PRESEK PROFILA		KORAK, PAUZA I PREČNIK VUČNOG VALJKA		KOLIČINA I GUSTINA			
	D	2.0 mm	d	1.0 mm	L	11 mm	PRETRAŽI
	D	0.1 mm			L	1 mm	
	A	0.0 mm			L	1 mm	
	A	0.0 mm	B	0.3 mm	L	2 mm	
	A	0.0 mm	d	0.0 mm	L	0 mm	
	Sok	0.0 mm			L	0 mm	
	Sok	0.0 mm	d	0.2 mm	L	0 mm	
	Ook	0.0 mm			L	0 mm	
	Ook	0.0 mm	d	0.0 mm	L	0 mm	

Slika 2.30. Parametri livenja – poprečni presek profila

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES		SR		PODEŠAVANJE PARAMETARA LIVENJA		ALM 11:24:13	
POPREČNI PRESEK PROFILA		KORAK, PAUZA I PREČNIK VUČNOG VALJKA		KOLIČINA I GUSTINA			
<b>PAUZA</b>							
s	4	0.1s	9	0.01s	6		
<b>KORAK</b>							
17 mm							
<b>PREČNIK VUČNOG VALJKA</b>				<b>PRENOSNI ODNOS REDUKTORA</b>			
7 mm				8.33			

Slika 2.31. Parametri livenja – korak, pauza i prečnik vučnog valjka



Slika 2.32. Parametri livenja – količina, gustina

### Meni tehnologa

Tasterom MENI TEHNOLOGA sa glavnog menija prelazi se na ekran MENI TEHNOLOGA (slika 2.33) na kojem su dati tasteri za prelazak na ekran baze znanja sa pravom izmene i na ekran PODEŠAVANJA.

Ekran baze znanja sa pravom izmene je dat na slici 2.30.

Pritiskom na taster podešavanja prelazi se na ekran PODEŠAVANJA (slika 2.34) koji podeljen na 4 taba. U tabu 1 data je mogućnost podešavanja opsega merenja pri čemu se samo žuta polja mogu menjati dok su zelena polja samo za pregled. U tabu 2 (slika 2.35) ALARMNE VREDNOSTI MERENJA unose se ekstremne vrednosti analognih veličina i dozvola rada analognih ulaza (ako neki analogni ulaz nije ožičen ovde se može isključiti) kao i indikacija o prekidu analognog ulaza. U tabu 3 VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREĐAJA podešavanju se vremenski parametri mašine za sečenje. Kod mašine za sečenje može se resetovati broj odsečenih komada u automatskom radu. U tabu 4 PODEŠAVANJE SERVO MOTORA unose se parametri servo motora, bira se režim rada (ručno, automatski).





Slika 2.33. Meni tehnologa

PODEŠAVANJE OPSEGA MERENJA		ALARMNE VREDNOSTI MERENJA	VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREĐAJA	PODEŠAVANJE SERVO MOTORA
<b>MAŠINA</b>				
VELIČINA	OD	DO		
TEMPERATURA RASTOPLJENOG METALA U LIVNOM LONCU	0 °C	0 °C		
TEMPERATURA VODE NA ULAZU U KRISTALIZATOR	0 °C	0 °C		
TEMPERATURA VODE NA IZLAZU IZ KRISTALIZATORA	0 °C	0 °C		
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 1	55 °C	88 °C		
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 2	4 °C	58 °C		
TEMPERATURA GRAFITNE KOKILE	0 °C	0 °C		
PROTOK GORIVA ZA GORIONIK, L/h	0 L/h	2 L/h		
PROTOK VODE ZA HLAĐENJE KRISTALIZATORA	0 L/s	6.3274 L/s		

Slika 2.34. Podešavanje opsega merenja

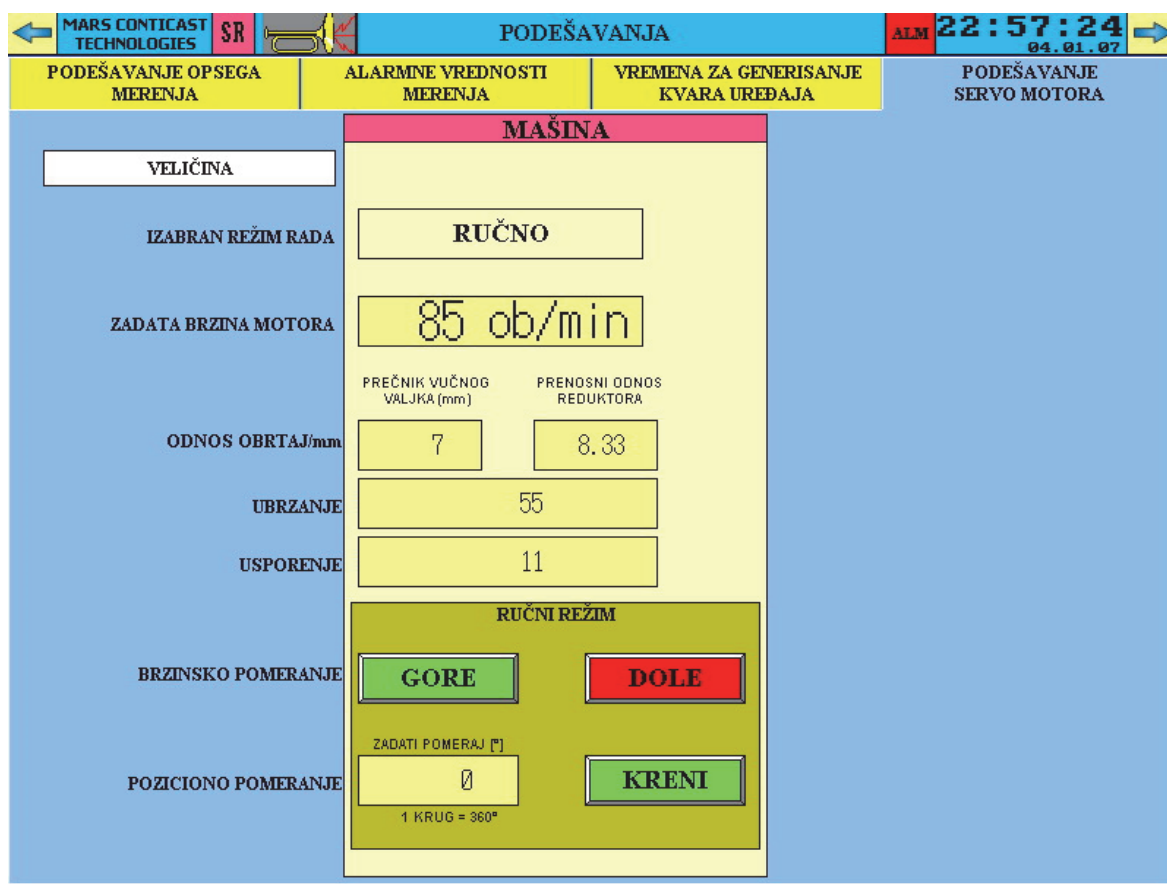
Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES SR		PODEŠAVANJA		ALM 10:21:02 24.11.18
PODEŠAVANJE OPSEGA MERENJA	ALARMNE VREDNOSTI MERENJA	VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREĐAJA	PODEŠAVANJE SERVO MOTORA	
<b>MAŠINA</b>				
VELIČINA	EXTREMNA VREDNOST	DA LI SE KORISTI?	PREKID ULAZA	
TEMPERATURA RASTOPLJENOG METALA U LIVNOM LONCU	MAX 0 °C	NE	<input type="checkbox"/>	
TEMPERATURA VODE NA ULAZU U KRISTALIZATOR	MIN 0.0 °C	NE	<input type="checkbox"/>	
TEMPERATURA VODE NA IZLAZU IZ KRISTALIZATORA	MAX 0.0 °C	NE	<input type="checkbox"/>	
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 1	MAX 0 °C	NE	<input type="checkbox"/>	
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 2	MAX 0 °C	NE	<input type="checkbox"/>	
TEMPERATURA GRAFITNE KOKILE	MAX 0 °C	NE	<input type="checkbox"/>	
PROTOK VODE ZA HLAĐENJE KRISTALIZATORA	MIN 0.0000 L/s	NE	<input type="checkbox"/>	

Slika 2.35. Alarmne vrednosti merenja

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES SR		PODEŠAVANJA		ALM 10:48:32 22.02.07
PODEŠAVANJE OPSEGA MERENJA	ALARMNE VREDNOSTI MERENJA	VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREĐAJA	PODEŠAVANJE SERVO MOTORA	
<b>MAŠINA ZA SEČENJE</b>				
VREME KVARA MOTORA MAKAZA	9.0s			
VREME KVARA VENTILA MAKAZA MAŠINE ZA SEČENJE	55.0s			
VREME KVARA VENTILA TESTERE MAŠINE ZA SEČENJE	0.0s			
HAVARIJSKO VREME ČEKANJA SENZORA TESTERA IZVUČENA MAŠINE ZA SEČENJE	6.0s			
BROJ KORAKA PRE SEČENJA ZA UKLJUČENJE MOTORA TESTERE	4			
ZADATI BROJ ODSEČENIH KOMADA	<input type="checkbox"/>			
BROJ ODSEČENIH KOMADA	<input type="checkbox"/>	RESET		
RAD MAKAZA SA 2 SIGNALA				

Slika 2.36. Vremena za generisanje kvara uređaja



Slika 2.37. Podešavanje servo motora

### Promena jezika

Tasterom na naslovnoj liniji svakog ekrana ili tasterima sa uvodnog ekrana (Srpski, ..., Latvijski) otvara se pop-up ekran (slika 2.38) koji da je mogućnost promene jezika aplikacije. Izborom jezika ekran se automatski zatvara. Ukoliko odustanemo od izmene jezika prozor se zatvara tasterom ODUSTANI.



Slika 2.38. Promena jezik

## SCADA Softver za livnu mašinu

### SCADA Softver

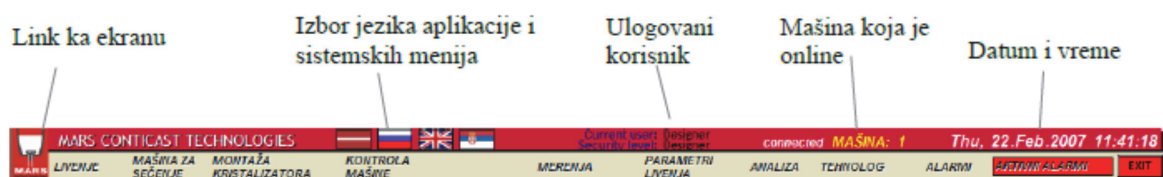
SCADA aplikacija namenjena praćenju rada mašine za livenje sastoji se iz više ekrana na kojima je izvršen nadzor i vizuelizacija rada mašine i akvizicija podataka. Osnovni ekrani su:

- LIVENJE
- MAŠINA ZA SEČENJE
- MONTAŽA KRISTALIZATORA
- KONTROLA MAŠINE
- MERENJE
- PARAMETRI LIVENJA
- BAZA ZNANJA
- PODEŠAVANJA
- ALARMI
- DATA LOG VIEWER aplikacija

U daljem tekstu biće prikazani i opisani napred navedeni ekrani. Daćemo i kratko uputstvo za rukovanje i održavanje logova podataka.

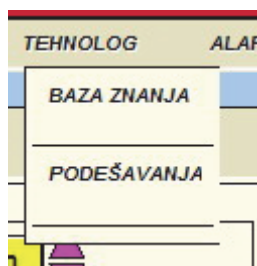
### Osnovni meni

Na slici 2.39 je prikazan osnovni meni aplikacije. Na njemu su smešteni tasteri-putanje. Klikom na njih dolazi se do pojedinih ekrana aplikacije.



Slika 2.39. Osnovni meni

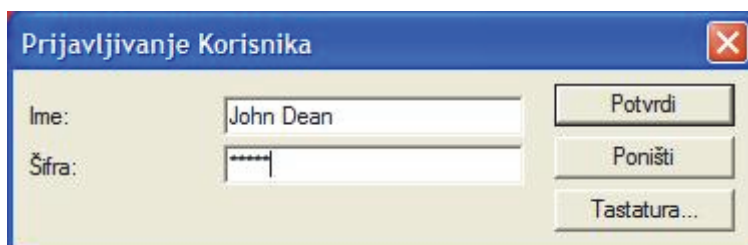
Tako na primer, do ekrana ALARMI se može doći klikom na levi taster miša na tekst ALARMI. Osim tastera za prelaz na pojedine ekrane aplikacije u ovom delu ekrana su smešteni i taster za otvaranje prozora sa aktivnim alarmima koji omogućava štampanje (taster AKTIVNI ALARMI) i tekst TEHNOLOG koji daje padajući meni sa kojeg se pristupa ekranima za podešavanje koja unosi tehnolog. Padajući meni je prikazan na slici 2.40.



Slika 2.40. Padajući meni tehnologa

U padajućem meniju nalaze se tasteri za pristup setup ekranima BAZA ZNANJA i PODEŠAVANJA.

Klikom na sredinu osnovnog menija sa slike 2.39 na tekst Current User: aktivira se prozor za logovanje korisnika, u kome korisnik unosi ime i lozinku. Izgled ekrana za logovanje je prikazan na slici 2.41. U prvom polju korisnik unosi ime, a u drugom lozinku. Svaki otkucani znak u polju lozinke prati pojavljivanje znaka \*.



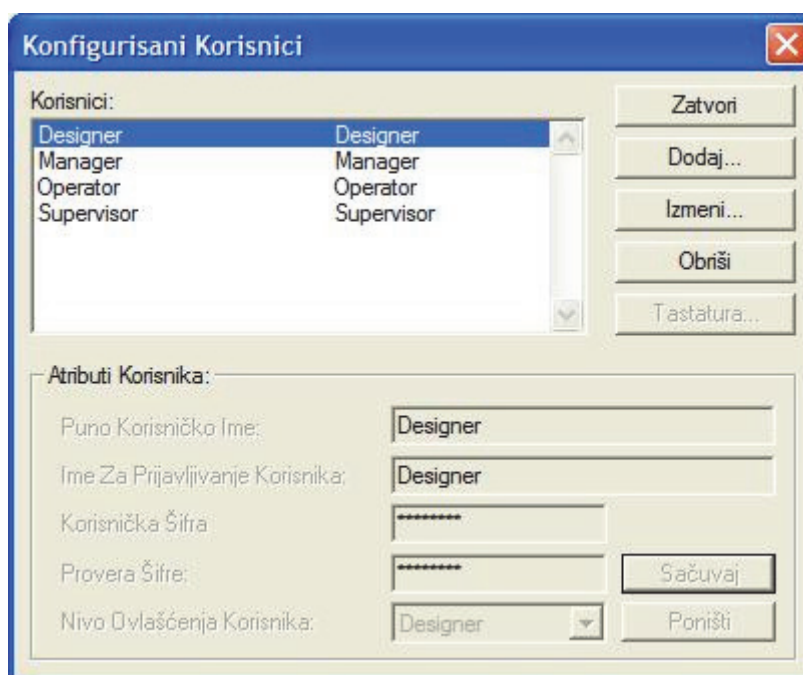
Slika 2.41. Logovanje korisnika

### O korisnicima

U sistemu postoje četiri nivoa privilegija (korisnika) i to: Operator, Supervisor, Manager i Designer. Standardno su kreirana i četiri korisnika: Operator sa nivoom privilegija Operator, Supervisor sa nivoom privilegija Supervisor, Manager sa nivoom privilegija Manager i Designer sa nivoom privilegija Designer. Svaki od korisnika može da kreira korisnike nižih privilegija od njegovih. Proces kreiranja, brisanja, promene lozinke (password-a) korisnika u runtime režimu rada se obavlja u prozoru do koga se dolazi preko pop-up menija (koji se pojavljuje klikom desnim tasterom miša na površinu ekrana) izborom opcije Setup users... .

Klikom na taster Dodaj... moguće je dodati nove korisnike sa privilegijama nižim od privilegija trenutno ulogovanog korisnika.

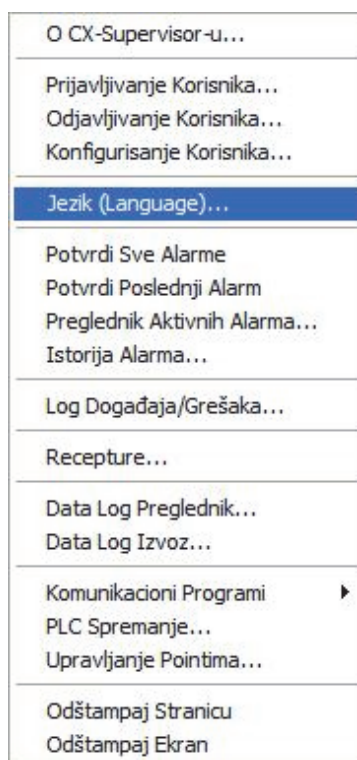
Klikom na taster Izmeni... moguće je menjati izabranog korisnika privilegija nižih od privilegija trenutno ulogovanog korisnika.



Slika 2.42. Konfigurisanje korisnika

Klikom na taster Obriši brišemo izabranog korisnika privilegija nižih od privilegija trenutno ulogovanog korisnika.

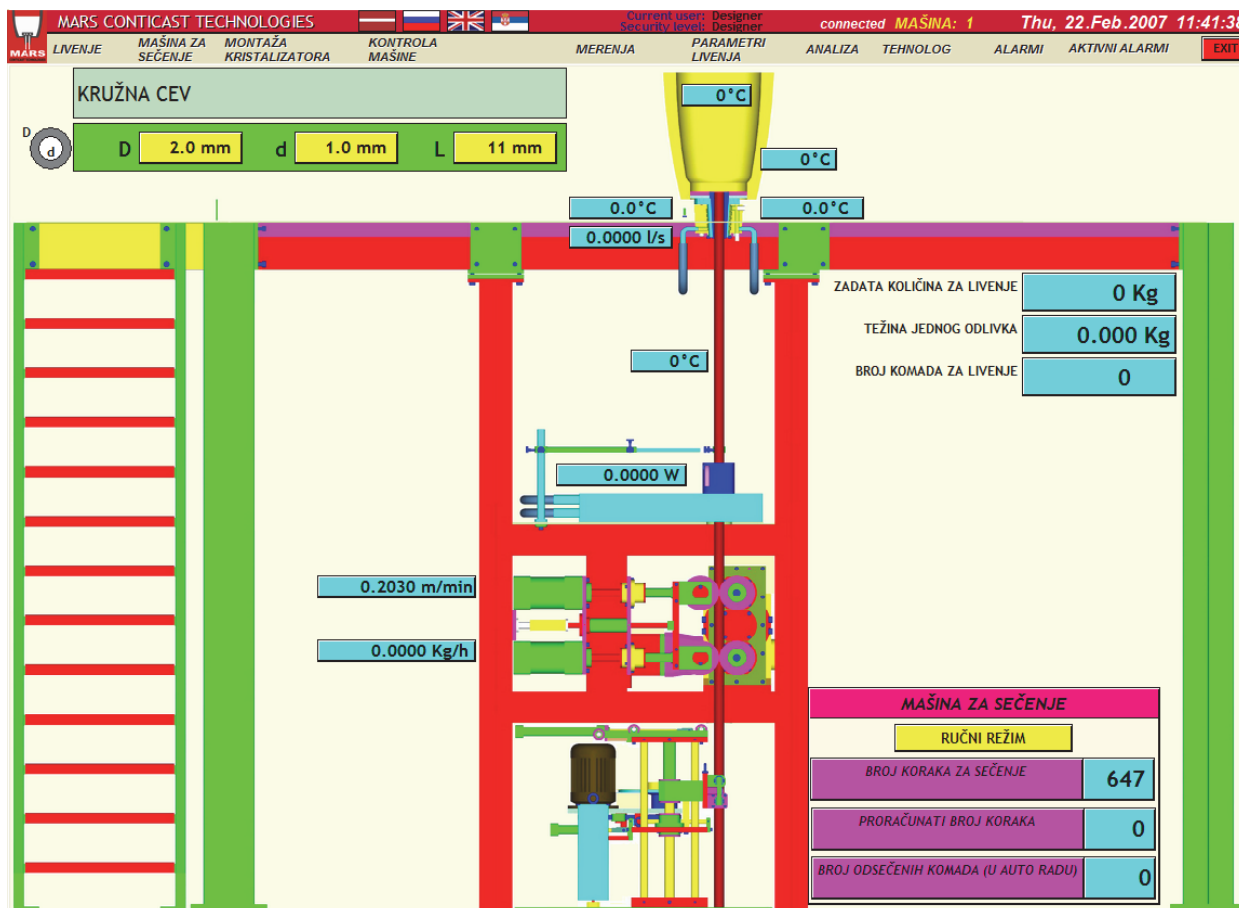
Izbor raspoloživih opcija u desnom kliku zavisi od korisnika koji je trenutno ulogovan. Na slici 2.43 prikazane su sve opcije koju su dostupne kada je ulogovan korisnik za privilegijama Designer.



Slika 2.43. Opcije desnog klika

Livenje

Pritiskom na tekst LIVENJE na osnovnom meniju prelazi se na ekran LIVENJE (slika 2.44) koji sadrži prikaz mašine i veličina od interesa za operatera. Prikazane su temperature, protoci, brzine livenja, trenutno izabrani profil sa dimenzijama itd.



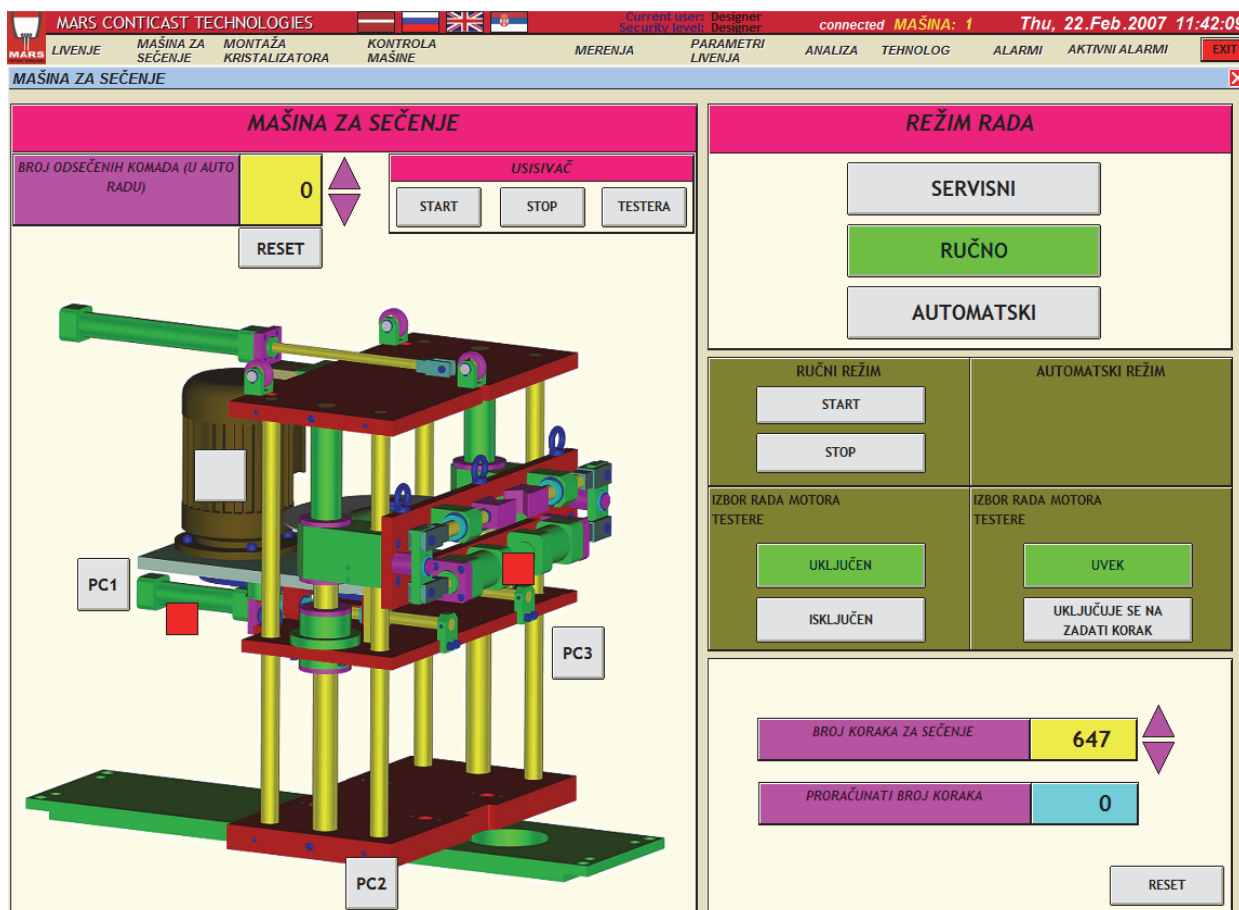
Slika 2.44. Ekran „Livenje“

Na ekranu je data slika mašine sa prikazom svih veličina od interesa. U donjem desnom uglu prikazani su i neki osnovni parametri mašine za sečenje.

Mašina za sečenje

Pritiskom na tekst MAŠINA ZA SEČENJE na osnovnom meniju prelazi se na ekran MAŠINA ZA SEČENJE (slika 2.45) koji sadrži prikaz mašine za sečenje i veličine vezane za nju. Uz sliku mašine nalaze se zelene lampice za indikaciju polazaja cilindara (uvučen, izvučen) i lampice za prikaz alarma svakog od cilindara. Cilindri su obeleženi oznakama PC1, ..., PC3. Za motor postoji taster za Start/Stop za indikacijom da li motor radi (zeleno) ili ne (sivo).

Ovde je data mogućnost izbora režima rada mašine za sečenje (servisni, ručni, automatski). U zavisnosti od izabranog režima postaju vidljivi tasteri za ručni (START i STOP, UKLJUČEN, ISKLJUČEN) ili tasteri za automatski režim (izbor rada motora testere). Sa ovog ekrana je moguće komandovati usisivačem preko tastera START, STOP i TESTERA.



Slika 2.45. Mašina za sečenje

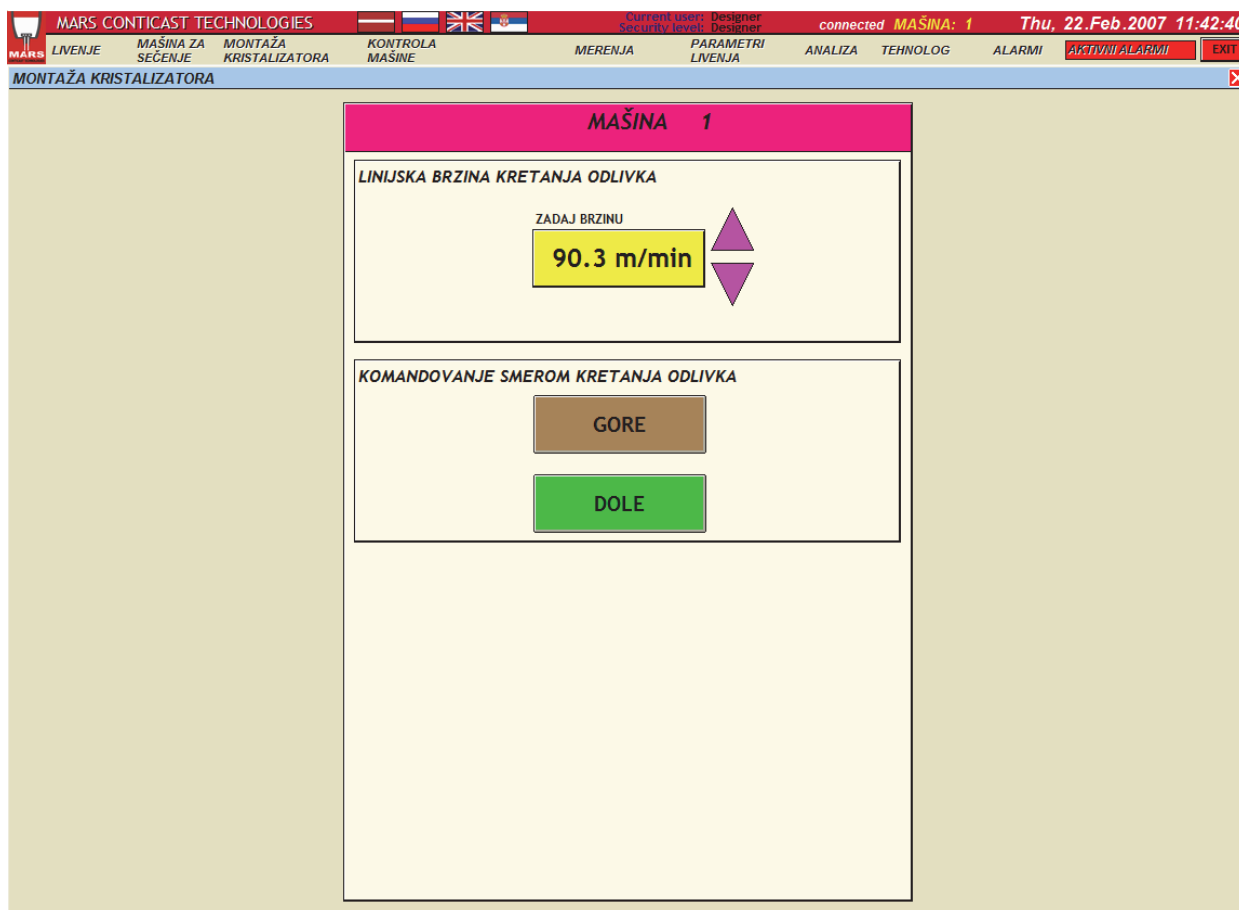
U donjem desnom delu ekrana prikazan je proračunati broj korak koji se može resetovati pritiskom na taster RESET.

Broj korak za sečenje može da se menja pritiskom na strelice gore dole u inkrementima po 1, ili pritiskom na samo polje prikaza kada se otvara numerička tastatura za unos nove vrednosti. Ovo je slučaj sa svim ostalim poljima za unos u aplikaciji.

### Montaža kristalizatora

Pritiskom na tekst MONTAŽA KRISTALIZATORA na osnovnom meniju prelazi se na ekran MONTAŽA KRISTALIZATORA (slika 2.46) na kojem je data mogućnost unosa linijske brzine kretanja odlivka na dva načina: strelicama gore dole (u inkrementima po 0.1) ili pritiskom na taster prikaza kada se otvara numerička tastura za slobodan unos. Tasterima GORE i DOLE komanduje se smerom kretanja odlivka tako što je komanda aktivna samo dok je taster pritisnut.



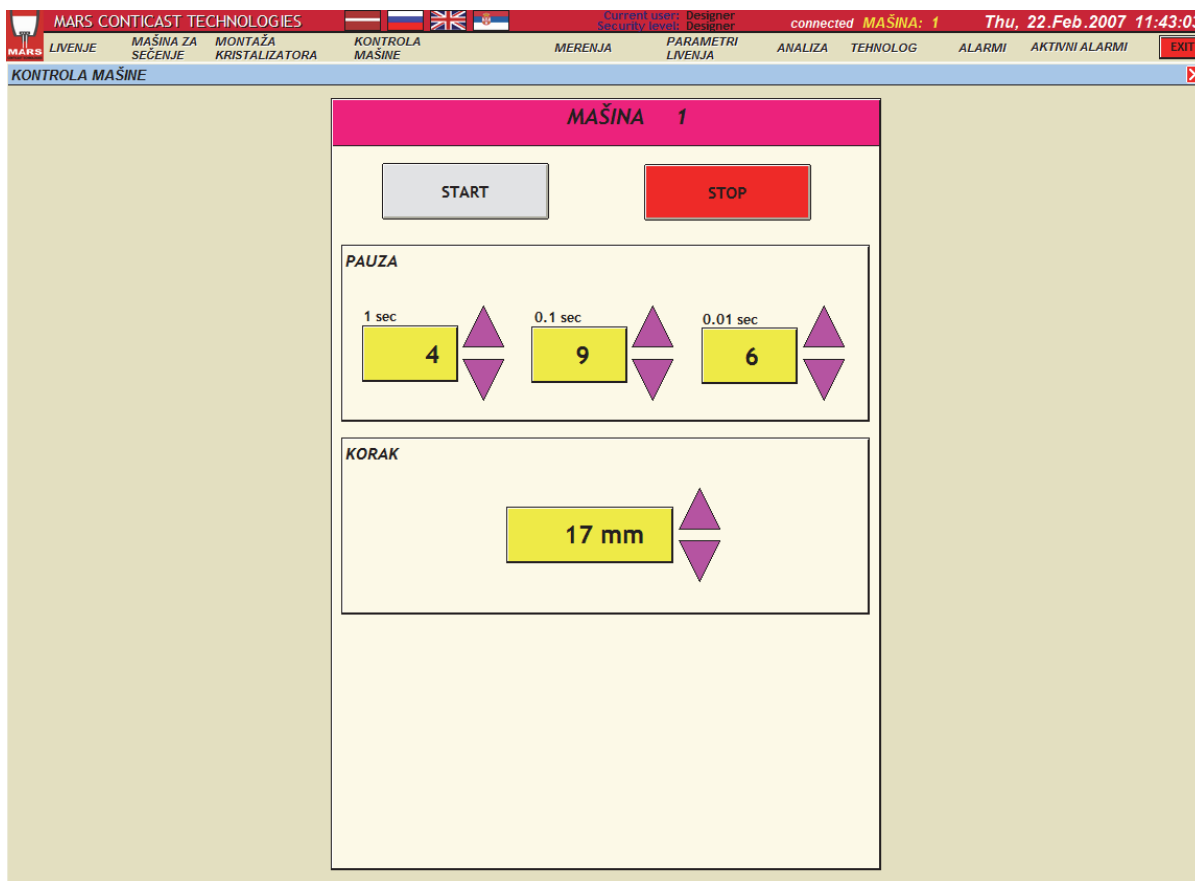


Slika 2.46. Montaža kristalizatora

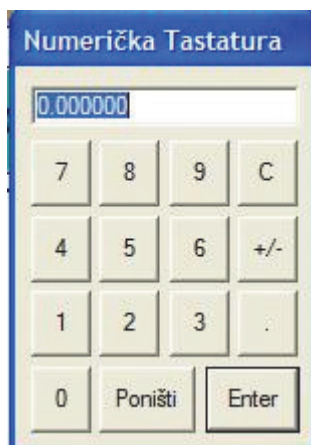
### Kontrola mašine

Pritiskom na tekst KONTROLA MAŠINE sa osnovnog menija prelazi se na ekran KONTROLA MAŠINE (slika 2.47) na kojem je data mogućnost startovanja i zaustavljanja mašine (tasteri START i STOP) i zadavanje parametara PAUZA (u 0.01, 0.1 i 1 delovima sekunde), KORAK i TEMPERATURE (unos se temperatura livenja i parametar dT). Nakon pritiska na taster START, ukoliko je mašina startovana bez alarma, taster svetli zeleno sve vreme rada.

Većina polja za unos su žute boje dok su polja koja su samo za prikaz su zelene boje. Kako je već rečeno, polja za unos mogu da se menjaju preko strelica ili pritiskom na to polje kada se otvara numerička tastatura prikazana na slici 2.48. Preko tastera se unese željena vrednost i potvrdi se pritiskom na ENTER kada se vrednost učitava u PLC. Odustaje se sa CANCEL, briše ceo unos sa CLR, a vraćanje unazad uz brisanje po jednog karaktera sa BS. Na tastaturi su prikazane MIN i MAX vrednosti izvan kojih ne možemo upisati novu vrednost.



Slika 2.47. Kontrola mašine



Slika 2.48. Numerička tastatura

### Merenja

Pritiskom na tekst MERENJA sa glavnog menija prelazi se na ekran MERENJA (slika 2.49). Na ovom ekranu dat je prikaz svih analognih veličina u procesu livenja sa indikacijom maksimalne ili minimalne vrednosti kao i indikacijom da li je došlo do prekida ulaza analognog signala (dešava se u slučaju kvara senzora ili prekida žice) u odeljku UPOZORENJE.

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES		
Current user: Designer		connected MAŠINA: 1
Security level: Designer		Thu, 22.Feb.2007 11:43:27
LIVENJE	MAŠINA ZA SEČENJE	MONTAŽA KRISTALIZATORA
KONTROLA MAŠINE	MERENJA	PARAMETRI LIVENJA
ANALIZA	TEHNOLOG	ALARMI
AKTIVNI ALARMI	EXIT	
MERENJA		
<b>MAŠINA 1</b>		
VELIČINA	VREDNOST	UPOZORENJE
TEMPERATURA RASTOPLJENOG METALA U LIVNOM LONCU	0 °C	
TEMPERATURA VODE NA ULAZU U KRISTALIZATOR	0.0 °C	MAX VREDNOST
TEMPERATURA VODE NA IZLAZU IZ KRISTALIZATORA	0.0 °C	
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA	0 °C	MAX VREDNOST
TEMPERATURA GRAFITNE KOKILE	0 °C	MAX VREDNOST
PROTOK VODE ZA HLADENJE KRISTALIZATORA	0.0000 l/s	
TOPLOTNI FLUKS	0.0000 W	
BRZINA LIVENJA	0.2030 m/min	
BRZINA LIVENJA	0.0000 Kg/h	
ZADATA KOLIČINA ZA LIVENJE	0 Kg	
TEŽINA JEDNOG ODLIVKA	0.000 Kg	
BROJ KOMADA ZA LIVENJE	0	

Slika 2.49. Merenja

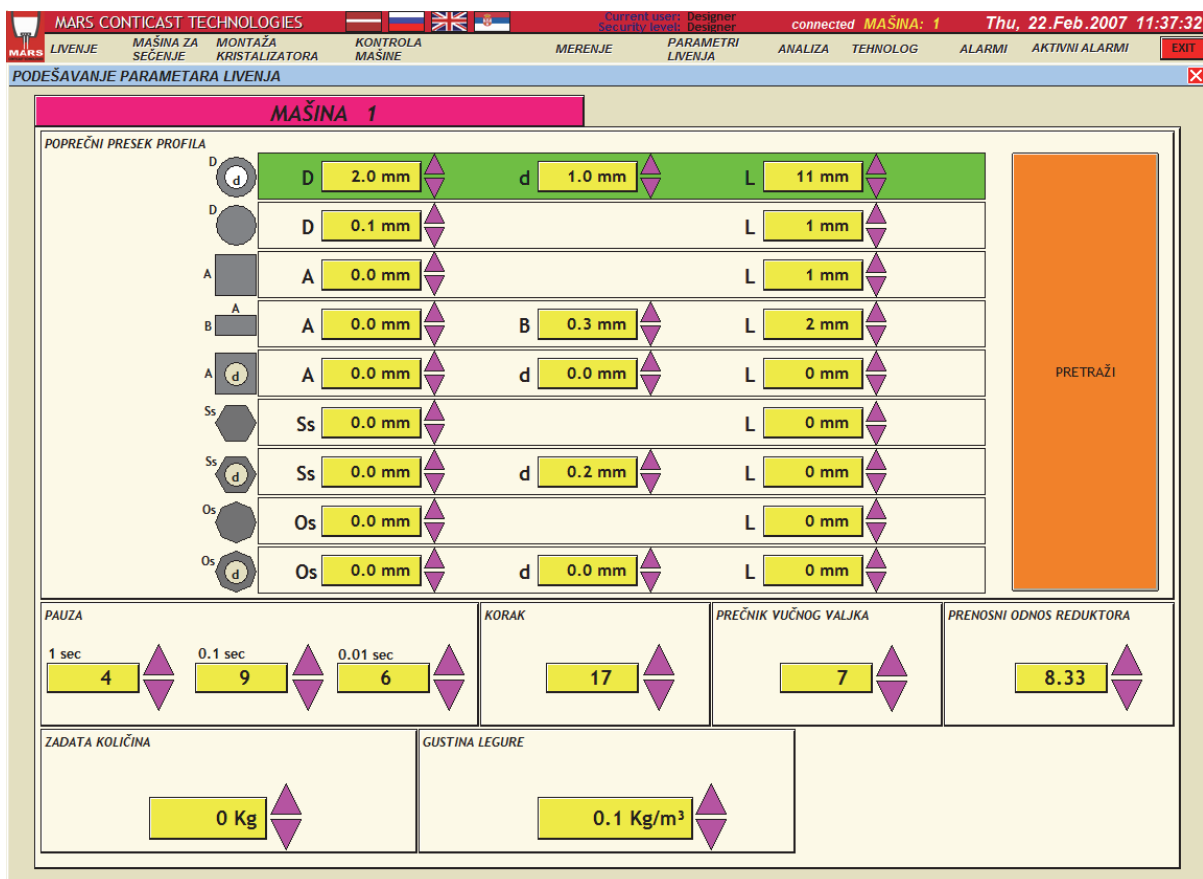
### Parametri livenja

Pritiskom na tekst PARAMETRI LIVENJA sa glavnog menija prelazi se na ekran PARAMETRI LIVENJA (slika 2.50) na kojem je data mogućnost podešavanja svih parametara livenja. Na ovom ekranu bira se profil za livenje prostim pritiskom pored slike profila. Data je mogućnost unosa dimenzija profila i pretraga baze znanja da li je profil takvih dimenzija već u bazi znanja, pritiskom na taster PRETRAŽI.

Moguće je menjati ostale parametre, korak, pauzu i prečnik vučnog valjka, zatim količinu, gustinu i temperaturu livenja.

### Analiza

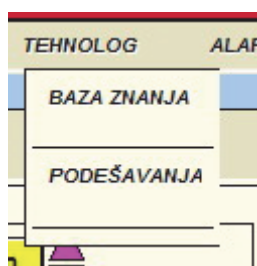
Pritiskom na tekst ANALIZA otvara se aplikacija Data Log Viewer u kojoj se mogu videti logovani podaci odn. analogne veličine koje su od interesa. Više o ovoj aplikaciji navedeno je u odeljku Logovanje podataka.



Slika 2.50. Parametri livenja – poprečni presek profila

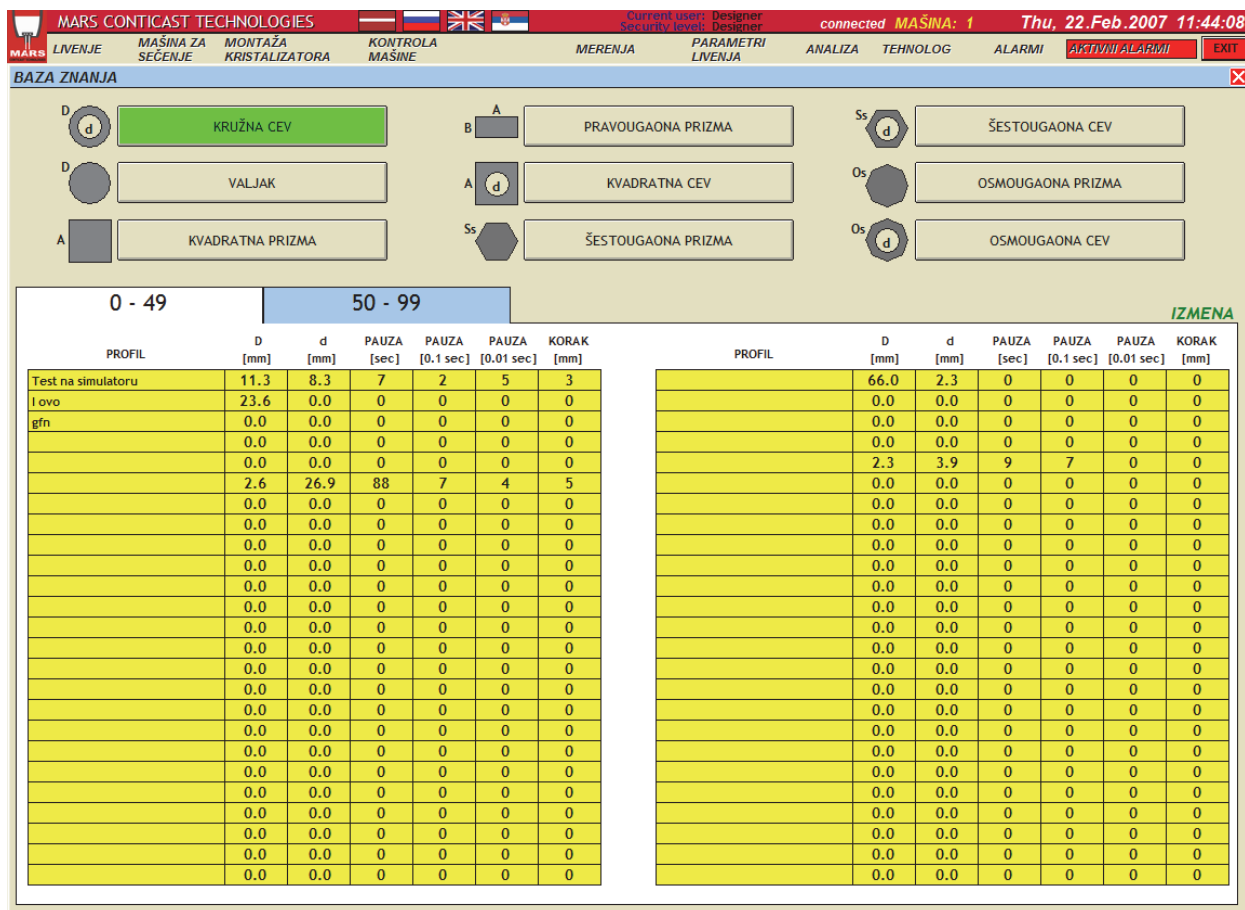
### Meni tehnologa

Pritiskom na tekst MENI TEHNOLOGA sa glavnog menija pojavljuje se padajući meni (slika 2.51) na kojem su dati tasteri za prelazak na ekran BAZA ZNANJA i na ekran PODEŠAVANJA. Klikom bilo gde izvan ovog menija, on se zatvara.



Slika 2.51. Meni tehnologa

Klikom na tekst BAZA ZNANJA otvara se ekran baze znanja dat na slici 2.52, na kojem možemo izabrati profil i dobiti pregled baze znanja za njega. Ako je trenutno ulogovani korisnik nema privilegije Supervisora tabele se mogu samo pregledati, što je naznačeno tekстом PREGLED iznad desnog gornjeg ugla tabele. Kad je ulogovan korisnik sa nivo privilegija Supervisora ili veće, podaci u bazi znanja se mogu menjati i to je naznačeno tekстом IZMENA iznad desnog gornjeg ugla tabele.



Slika 2.52. Baza znanja

Tabela je podeljena na dva taba, gde su u prvo rekordi od 0-49 a u drugom tabu 50-99. Za svaki profil postoji tabela sa 100 unosa sa podacima o tom profilu.

Pritiskom na taster podešavanja prelazi se na ekran PODEŠAVANJA (slika 2.53) koji podeljen na 4 taba. U tabu 1 data je mogućnost podešavanja opsega merenja pri čemu se samo žuta polja mogu menjati dok su zelena polja samo za pregled. U tabu 2 (slika 2.54) ALARMNE VREDNOSTI MERENJA unose se ekstremne vrednosti analognih veličina i dozvola rada analognih ulaza (ako neki analogni ulaz nije ožičen ovde se može isključiti) kao i indikacija o prekidu analognog ulaza. U tabu 3 VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREĐAJA podešavanju se vremenski parametri mašine za sečenje. Kod mašine za sečenje može se resetovati broj odsečenih komada u automatskom radu. U tabu 4 PODEŠAVANJE SERVO MOTORA unose se parametri servo motora, bira se režim rada (ručno, automatski).

## Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES Current user: Designer Security level: Designer connected MAŠINA: 1 Thu, 22.Feb.2007 11:44:34

LIVENJE MAŠINA ZA SEČENJE MONTAŽA KRISTALIZATORA KONTROLA MAŠINE MERENJA PARAMETRI LIVENJA ANALIZA TEHNOLOG ALARMI **AKTIVNI ALARMI** EXIT

PODEŠAVANJA

PODEŠAVANJE OPSEGA MERENJA ALARMNE VREDNOSTI MERENJA VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREDAJA PODEŠAVANJE SERVO MOTORA

**MAŠINA 1**

VELIČINA	OD	DO
TEMPERATURA RASTOPLJENOG METALA U LIVNOM LONCU	0 °C	0 °C
TEMPERATURA VODE NA ULAZU U KRISTALIZATOR	0 °C	0 °C
TEMPERATURA VODE NA IZLAZU IZ KRISTALIZATORA	0 °C	0 °C
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 1	0 °C	0 °C
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 2	0 °C	0 °C
TEMPERATURA GRAFITNE KOKILE	0 °C	0 °C
PROTOK VODE ZA HLAĐENJE KRISTALIZATORA	0.0000 l/s	0.0000 l/s

Slika 2.53. Podešavanje opsega merenja

MARS CONTICAST TECHNOLOGIES Current user: Designer Security level: Designer connected MAŠINA: 1 Thu, 22.Feb.2007 11:45:19

LIVENJE MAŠINA ZA SEČENJE MONTAŽA KRISTALIZATORA KONTROLA MAŠINE MERENJA PARAMETRI LIVENJA ANALIZA TEHNOLOG ALARMI **AKTIVNI ALARMI** EXIT

PODEŠAVANJA

PODEŠAVANJE OPSEGA MERENJA ALARMNE VREDNOSTI MERENJA VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREDAJA PODEŠAVANJE SERVO MOTORA

**MAŠINA 1**

VELIČINA	EKSTREMNA VREDNOST	DA LI SE KORISTI?	PREKID ULAZA
TEMPERATURA RASTOPLJENOG METALA U LIVNOM LONCU	MAX 7 °C	DA	
TEMPERATURA VODE NA ULAZU U KRISTALIZATOR	MIN 22.0 °C	DA	
TEMPERATURA VODE NA IZLAZU IZ KRISTALIZATORA	MAX 5.3 °C	DA	
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 1	MAX 0 °C	DA	
TEMPERATURA POVRŠINE LIVENOG PROFILA 2	MAX 2 °C	DA	
TEMPERATURA GRAFITNE KOKILE	MAX 0 °C	DA	
PROTOK VODE ZA HLAĐENJE KRISTALIZATORA	MIN 0 l/h	DA	

Slika 2.54. Alarmne vrednosti merenja

## Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

The screenshot shows the 'PODEŠAVANJA' (Settings) screen for 'MAŠINA ZA SEČENJE'. The interface includes a top navigation bar with various menu items and a status bar. The main content area is divided into several tabs, with 'VREMENA ZA GENERISANJE KVARA UREDAJA' (Fault generation times for the device) selected. The settings are as follows:

Parameter	Value
VREME KVARA MOTORA MAKAZA	9.0 s
VREME KVARA VENTILA MAKAZA	55.0 s
VREME KVARA VENTILA TESTERE	0.0 s
HAVARUSKO VREME ČEKANJA SENZORA TESTERA IZVUČENA	6.0 s
BROJ KORAKA PRE SEČENJA ZA UKLJUČENJE MOTORA TESTERE	4
ZADATI BROJ ODSEČENIH KOMADA	0
BROJ ODSEČENIH KOMADA (U AUTO RADU)	0

Additional controls include a 'RESET' button and a 'RAD MAKAZA SA 2 SIGNALA' button.

Slika 2.55. Vremena za generisanje kvara uređaja

The screenshot shows the 'PODEŠAVANJA' (Settings) screen for 'MAŠINA 1'. The interface includes a top navigation bar and a main content area with several tabs, with 'PODEŠAVANJE SERVO MOTORA' (Servo motor settings) selected. The settings are as follows:

Parameter	Value
IZABRAN REŽIM RADA	RUČNO
ZADATA BRZINA MOTORA	85 ob/min
ODNOS OBRTAJ/mm	7
PREČNIK VUČNOG VALJKA (mm)	7
PRENOSNI ODNOS REDUKTORA	8.33
UBRZANJE	55
USPORENJE	11
BRZINSKO POMERANJE	GORE (Up), DOLE (Down)
POZICIONO POMERANJE	ZADATI POMERAJ [°]: 0, KRENI (Turn)

Additional information includes '1 KRUG = 360°' and a 'RUČNI REŽIM' (Manual mode) section.

Slika 2.56. Podešavanje servo motora



### Promena jezika

Klikom na zastavicu na osnovnom meniju (slika 2.39) menja se jezik aplikacije u izabrani.

### Ekran alarmi

Na ovom ekranu, prikazanom na slici 2.57, data je lista aktivnih alarma sa sledećim informacijama: datum i vreme nastanka alarma, tekst alarma (Message), i Status (da li je potvrđen ili nije i ime korisnika koji je potvrdio). Na ekranu još imamo taster za otvaranje prozora istorije alarma sa prikazom svih alarma koji su se desili u sistemu sa datumom i vremenom nastanka i datumom i vremenom prestanka. Na ovom ekranu imamo i prikaz ukupnog broja alarma, ukupnog broja aktivnih alarma i broj nepotvrđenih alarma.

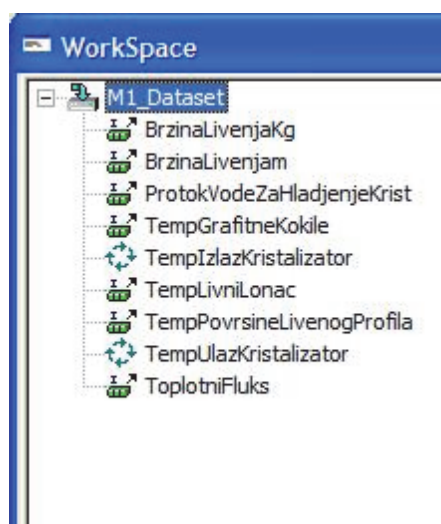
Datum	Vreme	Poruka	Status
2007.02.22	11:47:50	MAX Temperatura na površini odlivka 1	Automatski Potvrđen
2007.02.22	11:47:50	MIN protok goriva za gorionik	Automatski Potvrđen
2007.02.22	11:47:50	MIN Temperatura vode na ulazu u kristalizator	Automatski Potvrđen
2007.02.22	11:47:50	MAX Temperatura grafitne kokile	Automatski Potvrđen
2007.02.22	11:47:50	ALARM uključjenja ventila testere pri uvlačenju	Automatski Potvrđen
2007.02.22	11:47:50	ALARM uključjenja ventila makaza pri otvaranju	Automatski Potvrđen
2007.02.22	11:47:50	Pritisnut SVE STOP taster	Automatski Potvrđen

Slika 2.57. Alarmi

### Logovanje podataka

Jedan SCADA sistem je nezamisliv bez svog podsistema akvizicije podataka. Sistem akvizicije koji je realizovan baziran je na logovanju podataka. Logovanje podataka se obavlja na promenljivim koje su grupisane u skupovima podataka. Sistem sadrži više skupova podataka, a svaki skup podataka sadrži više promenljivih. Svaki skup podataka (Dataset) ima svoj skup fajlova koje sistem kreira kada izvršava aplikaciju. Količina podataka koju sadrži skup podataka zavisi od specificiranog perioda kreiranja fajlova, kao i perioda odabiranja i načina odabiranja.

Skupovi podataka koji su realizovani u aplikaciji prikazani su na slici 2.58.



Slika 2.58. Konfigurisanje Logera prilikom razvoja

Fajlovi u kojima se loguju podaci se smeštaju u zaseban folder "Data logging" odvojen od foldera u kome su smešteni fajlovi vezani za CX-Supervisor. Na primer ukoliko su CX-Supervisor fajlovi smešteni u direktorijum: C:\MarsSCADA\Masina 1\, fajlovi logovanja podataka su u folderu C:\MarsSCADA\Masina 1\Data Logging\. Ponovimo još jednom da svaki skup podataka ima svoj skup fajlova. Kao što se na slici 2.58 može videti ovde postoji samo jedan skup podataka pod nazivom M1\_Dataset. Fajlovi nose ekstenziju .dlv, skraćenica od Data Log Values, a format imena je sledeći:

<Naziv skupa podataka><Oznaka vremena>.dlv  
gde je:

<Naziv skupa podataka> - Naziv skupa podataka, npr. ProcesneVelicine

<Oznaka vremena> - Vreme kreiranja fajla u formatu [YYYYMMDDHH]

gde su:

YYYY = godina u formatu 2007

MM = Mesec 01 do 12 (January - December)

DD = Dan u mesecu u formatu 01 – 31

HH = Sat u formatu 00 –23

Primer: M1\_Dataset[2007010421].dlv

Fajl je za skup podataka M1\_Dataset i kreiran je 04.01.2007 u 21h.

Za svaki skup podataka (Dataset) je vezan jedan skup fajlova u čijem nazivu se nalazi naziv skupa podataka i odgovarajuća vremenska oznaka (Timestamp). U skupu fajlova jedan je aktivni ili živi fajl, odnosno fajl u kome se trenutno loguju podaci, dok su ostali tzv. "mrtvi" fajlovi, odnosno fajlovi u kojima je izvršeno logovanje podataka i period logovanja istekao.

Svaki fajl je vezan za vremenski period koji se definiše toku razvoja aplikacije. Za skupove podataka realizovane u ovoj aplikaciji period logovanja je 1 dan. Period logovanja može biti sat, dan ili mesec. Period loga predstavlja period vremena nakon čega sistem prestaje sa logovanjem u aktivni ili "živi" fajl, kreira novi aktivni fajl, a prethodni "živi" prevodi u pasivu i proglašava ga "mrtvim".

Broj "mrtvih" (pasivnih) fajlova koji se zadržavaju se definiše u toku razvoja aplikacije. Za skupove podataka realizovane u ovoj aplikaciji broj "mrtvih" fajlova, odnosno broj fajlova koji se čuvaju je ograničen samo veličinom slobodnog prostora na hard disku. Ukoliko se dođe u situaciju da se broj pasivnih fajlova poveća iznad nekog definisanog broja briše se najstariji fajl. Korisnik mora da vodi računa da ukoliko želi da sačuva neki od fajlova od brisanja mora da izvrši arhiviranje odnosno kopiranje na neku drugu lokaciju.

Ukoliko se prilikom razvoja SCADA-e odabere opcija da svi "mrtvi" fajlovi ostaju sačuvani, tada sistem neće brisati "mrtve" fajlove i oni će ostati sačuvani, ali ukoliko ih korisnik ne briše jednog trenutka desiće se situacija da disk bude pun.

"Živi" fajlovi mogu biti kopirani dok su kao log fajlovi otvoreni, ali ne mogu biti pomerani i brisani.

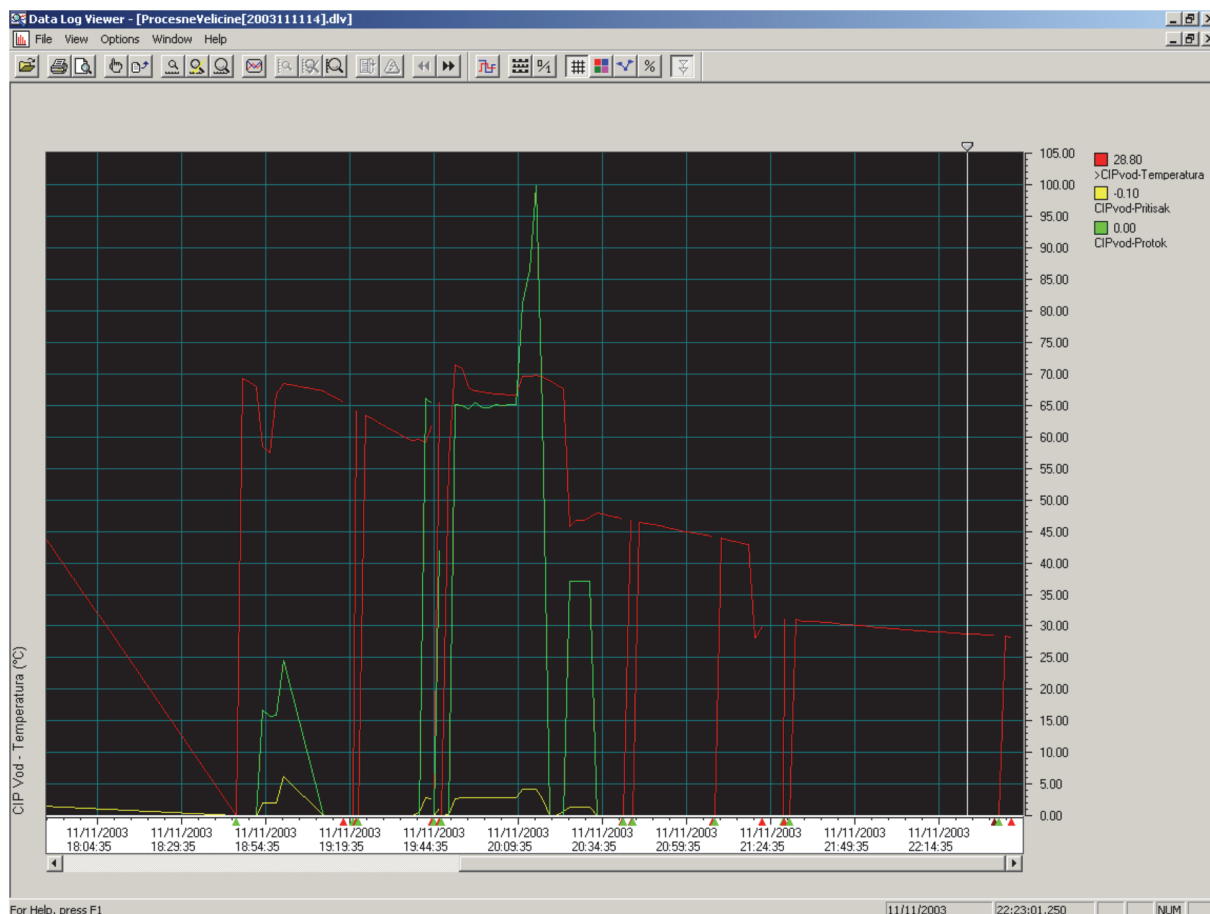
U toku procesa kreiranja aplikacije dolazi se u situaciju da se vrši izmena skupa podataka koji se loguju. Takođe moguć je neregularan proces zaustavljanja aplikacije ili računara. Iz napred navedenih razloga pri svakom startovanju aplikacija vrši proveru strukture podataka postojećeg log fajla i ukoliko je neodgovarajuća isti se stavlja u pasivu i označava kao neodgovarajući dvostrukim vitičastim zagradama { } uokvirenog vremena kreiranja log fajla. Tom prilikom se kreira novi log fajl sa trenutnim vremenom. Neodgovarajuće fajlove sistem ne briše.

#### Data log viewer aplikacija

Aplikacija Data Log Viewer služi za pregledanje logovanih veličina na disku. Dostupna je preko teksta Data Log Viewer na glavnom meniju sa slike 2.39 ili izborom opcije Data Log Viewer... u meniju desnog klika na bilo kom ekranu.

Nakon startovanja aplikacije otvara se lista dostupnih skupova podataka (ovde je samo jedan, ProcesneVelicine) u okviru kojih su definisane grupe podataka (prema celina u kojima se vrše merenja) sa veličinama koje se loguju. Ukoliko se ova lista ne otvori prilikom startovanja aplikacije možemo je otvoriti izborom File->Open i selektovanjem živog fajla (to je onaj sa aktuelnim datumom). Klikom na Show All Items in Dataset nestaje podela po grupama i omogućen je izbor svih veličina koje se loguju za prikaz. Najviše deset veličina iz jednog fajla može u jednom trenutku biti prikazano u prozoru. Nakon selektovanja željenih veličina (Ctrl+Levi Klik) i pritiskom na OK otvara se prozor sa prikazanom promenom u vremenu izabраниh veličina, kao što se na slici 2.59 može videti.

Svaka veličina ima svoju boju, sa desne strane date su trenutne vrednosti, na vremenskoj osi dati su datum i vreme a sa leve strane dat je opis veličine na kojoj je trenutno fokus.

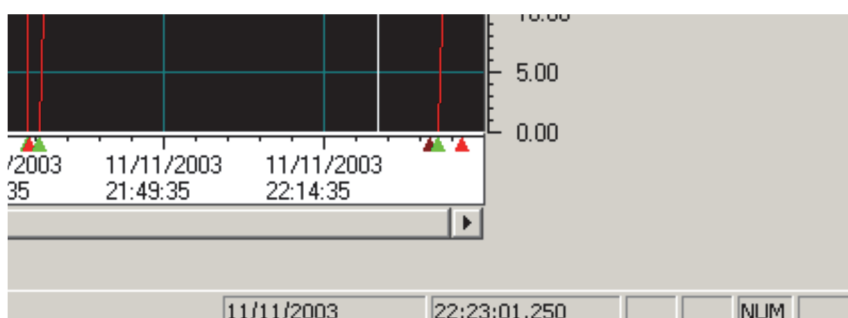


Slika 2.59. Data Log Viewer Aplikacija – pregledanje arhive podataka

Vrednosti prikazane na desnoj strani odnose se na vremenski trenutak određen položajem klizača koji je označen na slici 2.58 nalazi u na desnoj strani vremenske ose.

Ostali elementi prozora su:

- statusna linija u donjem delu prozora čiji je deo dat na slici 2.60.



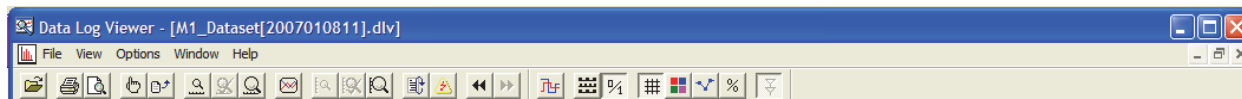
Slika 2.60. Statusna linija

Prva oznaka je datum a druga vreme na kojima se trenutno nalazi klizač. Pomeranjem klizača menjaju se vreme i datum a prema vremenima kako su logovani podaci dok se u desnom uglu prozora ispisuju vrednosti logovanih veličina za vremena određena klizačem.

Trouglovi na vremenskoj osi označavaju početak (zelena boja) i kraj (crvena boja)

logovanja podataka odn. trenutke kada je SCADA aplikacija počela i završila sa upisom podataka u fajl. Ukoliko SCADA aplikacija nije prekidana u svakom log fajlu treba da bude jedan zeleni trougao u 01:00 sati i jedan crveni u 01:00 sati sledećeg dana što znači da su podaci logovani jedan dan nakon čega je logovanje prekinuto, fajl zatvoren, potom je otvoren novi (sa novim datumom u imenu) u koji je počelo je logovanje.

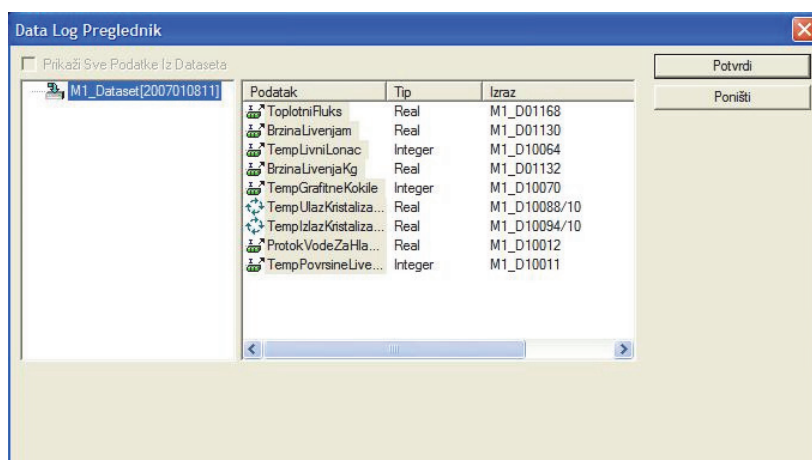
- paleta sa alatima prikazana na slici 2.61.



**Slika 2.61.** Paleta sa alatima

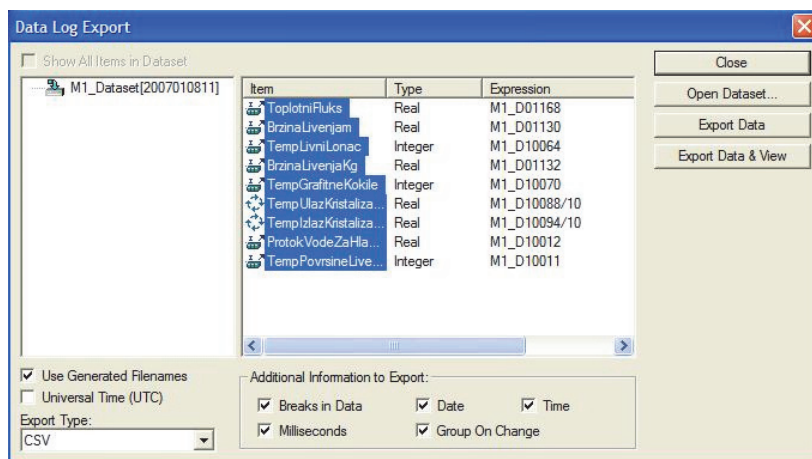
Treba napomenuti da funkcijama koje vrše svaka od ovih ikona može pristupiti i preko menija File, View i Options.

- Open; otvara neki postojeći fajl sa logovanim podacima.
- Print i Print Preview; ikone za štampanje i pregledanje dokumenta pre štampanja. Ovde je dokument onaj deo grafika koji je prikazan na ekranu.
- Select Items; ikona za izbor veličina za prikaz na grafiku. Otvara dijalog koji se otvara i prilikom startovanja aplikacija Data Log Viewer, prikazan na slici 2.62. Kada želimo da prikazemo druge veličine kliknemo na ovu ikonu.



**Slika 2.62.** Izbor logovanih veličina za prikaz

- Export Items. Ikona za izbor veličina za izvoz u \*.csv ili \*.txt fajl. Otvara dijalog Data Log Export prikazan na slici 2.63 u kojem se konfigurišu parametri izvora podataka.



Slika 2.63. Izbor podataka za izvoz i konfigurisanje

U ovom dijalogu se biraju veličine za izvoz, bira se format fajla u koji se izvozi (\*.csv ili \*.txt), dodatne informacije za izvoz (breaks in data – da se vidi kada je sve logovanje počinjalo i kada se prekidalo, to su praktično vremenski trenutci u kojima se na vremenskoj osi vide zeleni i crveni trouglovi, da li da se vide milisekunde, datum, vreme, Group On Change – da li da sve veličine selektovane za izvoz budu u istom fajlu (default opcija) ili svaka u svom fajlu). Klikom na taster Export Data podaci se izvoze u fajl čije je ime sledeće strukture:

M1\_Dataset2007010811.csv

gde je jasno da imamo ime skupa podataka (Dataset) sa datumom što nam govori iz kog fajla su podaci izvezeni, a to je fajl M1\_Dataset[2007010421].dlv, i ekstenziju \*.csv koju otvara Excel.

- Zoom Out; umanjuje vremensku skalu odn. povećava vremenski opseg koji se vidi na ekranu bez skrolovanja.
- Restore Zoom; veličinu vremenske skale vraća na podrazumevanu (default)
- Zoom In; uvećava vremensku skalu odn. smanjuje vremenski opseg koji se vidi na ekranu bez skrolovanja.
- Full Plot; prikazuje ceo fajl u jednom ekranu tako da su podaci u celosti vidljivi bez skrolovanja. Pošto su ovde fajlovi veličine jedan dan ova ikona omogućava prikaz čitavog dana na ekranu odn. od početka logovanja do trenutka pritiska na ikonu ako je u pitanju živi fajl.
- Scale Out; umanjuje vertikalnu skalu odn. povećava opseg koji se vidi na ekranu bez skrolovanja.
- Restore Scale; vraća vertikalnu skalu na podrazumevanu vrednost
- Scale In; uvećava vertikalnu skalu odn. smanjuje opseg koji se vidi na ekranu bez skrolovanja.
- Refresh Data; dodaje na grafik nove vrednosti koje su logovane za vreme dok je log bio otvoren za pregled u Data Log Viewer-u.
- Live Updates; za vreme dok je skup podataka otvoren u Data Log Viewer aplikaciji dodaje nove vrednosti na grafik istovremeno kada se te vrednosti upisuju u fajl na disku, tako da se u realnom vremenu može videti kako se puni log sa podacima.
- Previous File i Next File; prelazi se na prethodni odn. naredni fajl sa istovetnim skupom podataka. To znači da se između tri uzastopna fajla,

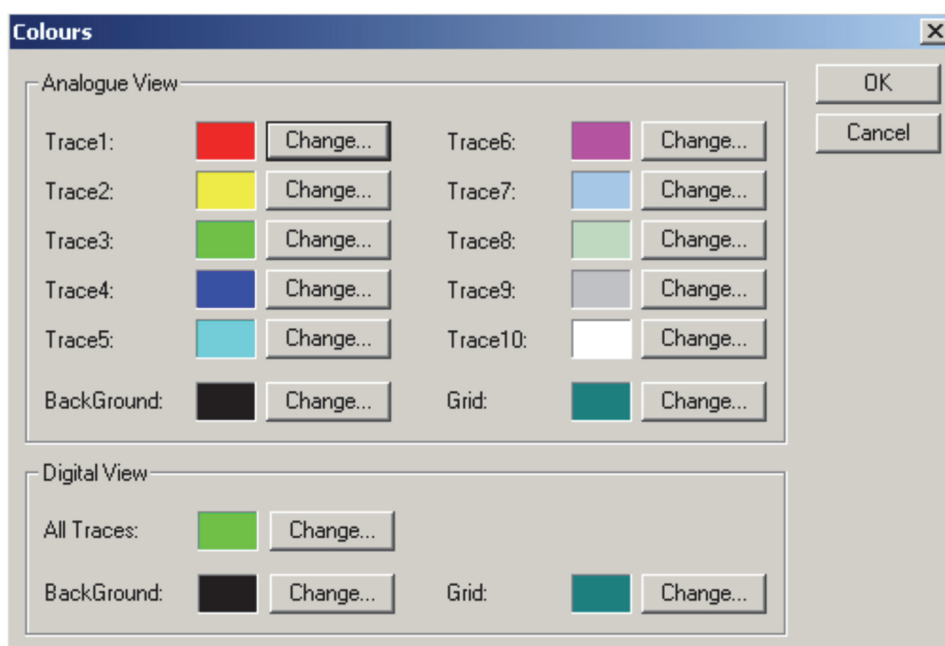
M1\_Dataset[2007010201].dlv

M1\_Dataset[2007010301].dlv

M1\_Dataset[2007010401].dlv

prelazi pomoću ova dva tastera automatski odn. ne mora da se ide na File->Open itd. Time je omogućeno da se u kontinuitetu pregleda log podataka počev od trenutnog živog fajla pa sve do poslednjeg fajla. Ovde je moguće ići onoliki broj dana u nazad koliko ima fajlova, pomoću ovih ikonica.

- Histogram Trend; uklj/isklj prikaz grafika kao histogram ili kao trend.
- Block/Outline; za promenu prikaza digitalnih podataka.
- Boolean/Text; uklj/isklj opis digitalnih vrednosti kao 0/1 ili False/True.
- Grid On/Off; Uklj/Isklj pomoćnu mrežu na grafiku.
- Change Colours; otvara dijalog za promenu boje prikazanih veličina, boje pozadine itd. dijalog je prikazan na slici 2.64.



**Slika 2.64.** Promena boja na prikazu Data Log Viewer-a

Na slici se vidi da se boja može menjati za deset prikazanih analognih veličina (Trace1 do Trace10), boju pozadine analognog prikaza i boju mreže na analognom prikazu. U digitalnom prikazu menja se odjednom boja svih digitalnih veličina, boju pozadine digitalnog prikaza i boju mreže digitalnog prikaza.

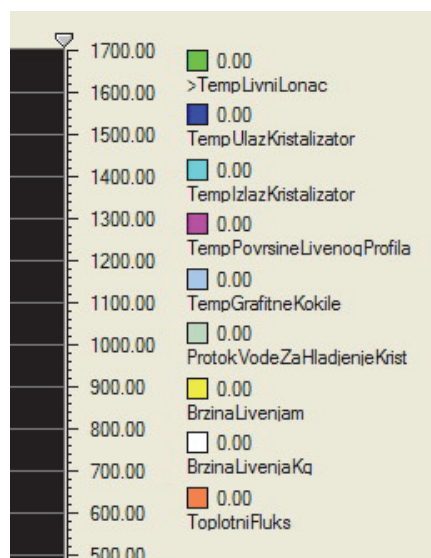
- Display Markers; uklj/isklj prikazivanje markera koji predstavljaju stvarne odbirke analognih veličina koje su upisane u log tako da se jasno može utvrditi vremenski trenutak upisivanja odbirka u log.

- Display as Percentage; uklj/isklj skaliranje vertikalne skale na 0-100%. To je korisna opcija jer se sve veličine, koje se mogu kretati u različitim opsezima, svode na 0-100% od njihovih opsega koji su inače definisani prilikom razvoja SCADA-e.

Svaka veličina koja se loguje ima definisan opseg u kojem se kreće, na pr. brzina livenja u Kg/min je u opsegu 0-400 Kg/min, dok je brzina livenja u m/min 0-6 m/min (ovo su opsezi



prikaza na grafiku). Vertikalna skala prikazuje opseg one veličine koja je selektovana levim klikom na željenu veličinu u desnom delu prozora kada se pored nje pojavljuje strelica, kao na slici 2.65.



Slika 2.65. Prikaz selektovane veličine prema kojoj se podešava vertikalna skala

Na slici je selektovana veličina Temperatura u Livnom loncu a vertikalna skala se prilagođava opsegu 0-1700. U slučaju da je selektovana veličina brzina livenja u Kg/min opseg vertikalne skale bi bio 0-400 čime se naravno ne bi videle sve vrednosti Temperatura u Livnom loncu. Da bi se to izbeglo koristi se taster Display as Percentage kako bi se sve veličine bile vidljive bez obzira na njihov opseg.

- Synchronize Cursors; sinhronizuje klizače (kursore) na digitalnom i analognom pogledu. Ako se izabere prikaz analognih i digitalnih veličina zajedno one se prikazuju u istom prozoru ali posebno u analognom i digitalnom prikazu. Pošto je nekad važno utvrditi vrednost prikazane analogne veličine u momentu kada se desi neki digitalni događaj kada se koristi ova opcija.

Sve ove opcije dostupne su preko i preko menija. U meniju Options postoje još dodatne opcije:

- Language Settings...- pomoću koje se bira jezik menija među raspoloživim jezicima.
- Universal Time (UTC) – uklj/isklj vreme na Griniču i vreme u zoni u kojoj se nalazi SCADA.
- Always On Top – opcija koja prozor Data Log Viewer aplikacije drži uvek iznad svih ostalih prozora pa i SCADA aplikacije.

U meniju Window se nalaze opcije za uređivanje otvorenih prozora u okviru Data Log Viewer-a. Ukoliko otvaramo dva različita skupa podataka (Dataset-a) oni se prikazuju u dva različita prozora u okviru jednog prozora Data Log Viewer aplikacije.

Većina ovih opcija opisanih preko ikonica dostupna je i preko desnog klika. Desni klik je dostupan bilo gde u okviru aplikacije Data Log Viewer a nazivi opcija se lako prepoznaju među opcijama koje su ovde opisane za ikone na paleti sa alatnama.

## **2.2.2. Srednjefrekventna livna peć IP 80**

### Napojna jedinica – frekventni pretvarač

Frekventni pretvarači su zasnovani na IGBT tehnologiji poslednje generacije. Nova tranzistorska tehnologija omogućuje značajno povećanje efikasnosti. Princip rada frekventnih pretvarača je sledeći: mrežni napon (380V, 50Hz) ispravlja se i filtrira u usmeraču. Zatim se jednosmerni napon pretvara u naizmenični u invertoru. Kao prekidački elementi u invertoru se koriste IGBT tranzistori. Svi energetske poluprovodnički elementi imaju izolovanu bakarnu osnovu. Invertorski panel se hladi vodom i pošto je hladnjak galvanski odvojen od napona napajanja ne postoji problem elektrolize vode.

Upravljačka jedinica definiše frekvencu invertora, precizno održavajući invertorsko kolo u rezonanci. Amplitudu izlaznog napona invertora definiše upravljačka jedinica i može se kontinualno podešavati.

Radna frekvencija invertora livne peći IP 80 je 2000 Hz. Snaga peći je 80 kW

### Livna jedinica

Peć IP80 za livenje bakarnih legura, slika 2.66, izrađena je sa grafinim loncem A300, posebno namenjenim za upotrebu u indukcionim pećima. Livni lonac na dnu ima otvor u kome se nalazi jedan deo kristalizatora, koji je učvršćen na dnu livne peći (slika 2.67). Lonac leži na dnu korpusa livne peći, zalepljen specijalnim betonom. U delu ovog rada, montaža kristalizatora, biće detaljnije opisano povezivanje kristalizatora sa livnom peći.

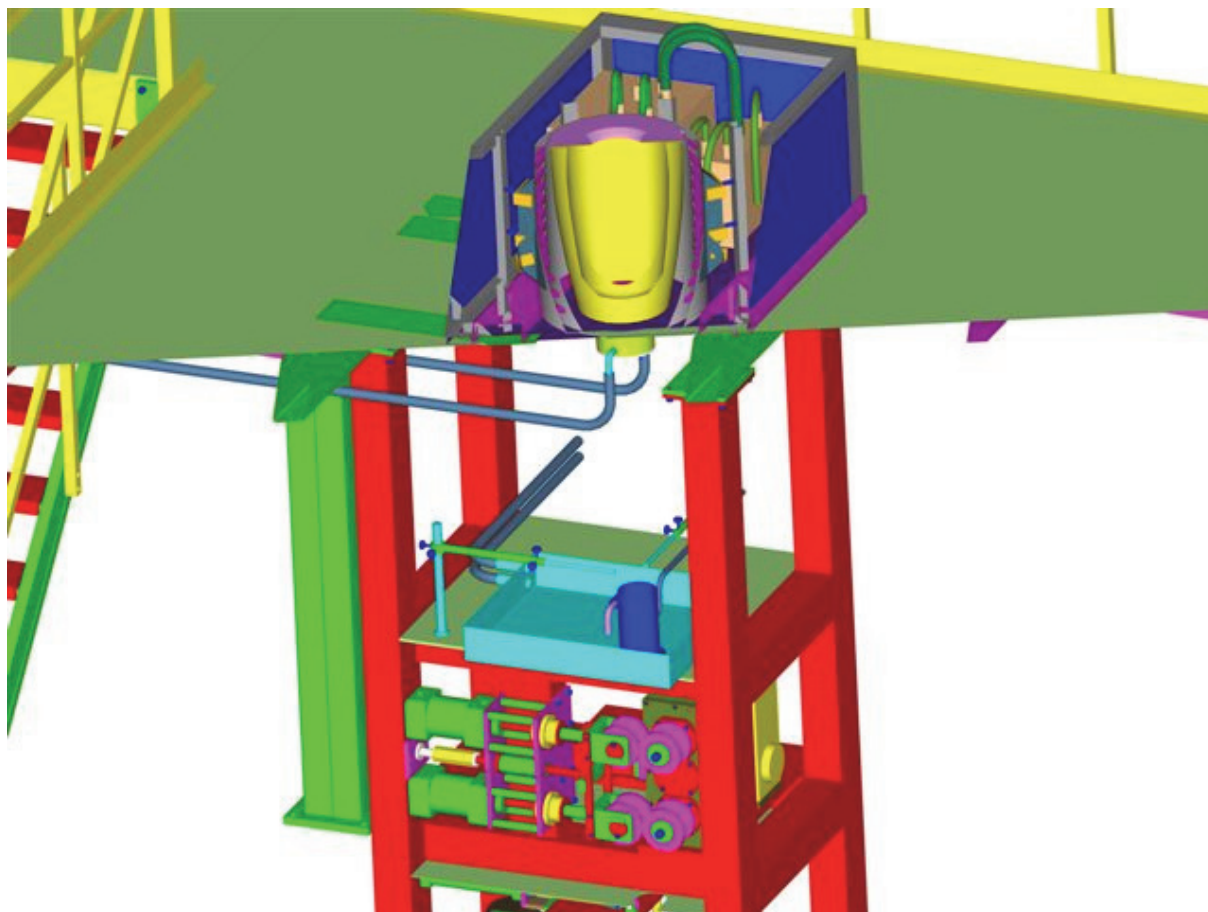
Kalem induktora je izrađen od bakarnih cevi pravougaonog poprečnog preseka koji obezbeđuje čvrstinu, dugotrajnost i veliku efikasnost kalema. Efikasno vodeno hlađenje kalema induktora obezbeđuje dug radni vek izolacione mase koja se nalazi između induktora i grafitnog lonca. Sa spoljašnje strane induktora nalaze se "elektromagnetni ekrani", paketi tankih feromagnetnih limova kojima se modifikuje oblik elektromagnetnog polja (slika 2.68). Upotrebom "elektromagnetnih ekrana" u velikoj meri se smanjuje grejanje konstrukcije peći koja potiče od elektromagnetnog polja.

Zona indukcije na induktoru, je definisana tako, da u slučaju prekida livenje, usled odvođenja toplote u kristalizatoru dođe do stvaranja takozvane pečurke na ulazu u kristalizator, koja obezbeđuje da ne dođe do prosipanja preostalog liva u loncu.

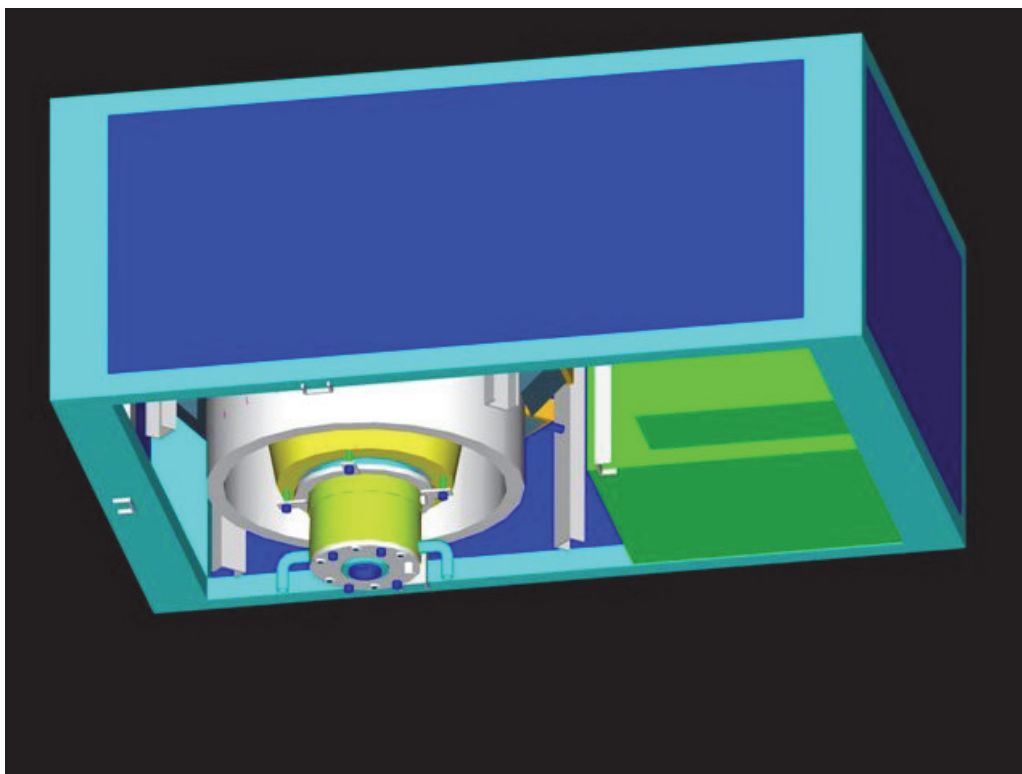
Upotrebom indukcionih peći IP80 u proizvodnji cevi i šipki od bakarnih legura metodom kontinualnog livenja postignut je:

- visok proizvodni učinak,
- dobar stepen iskorišćenja, kvalitet i čistoća liva,
- homogenost sastava i temperature,
- široka mogućnost regulacije snage,
- mala toplotna inercija peći,
- lako startovanje,

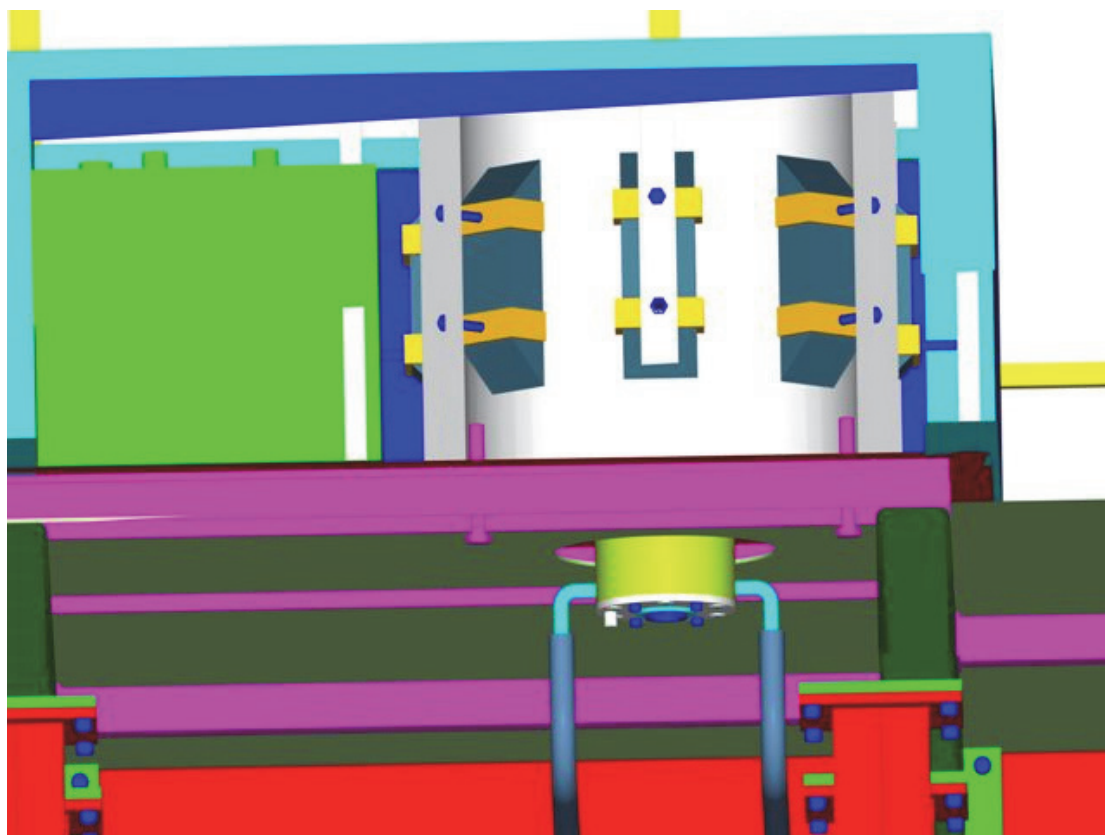
- dobre mogućnosti izmene vrste liva,
- neznatno sagorevanje materijala,
- odsustvo lokalnih pregrevanja a sa time i minimalno prisustvo gasova u livu,
- široke mogućnosti automatizacije,
- zavidna higijena i humanizacija rada u livnici



**Slika 2.66.** Livna peć IP 80 u sklopu sa livnom mašinom



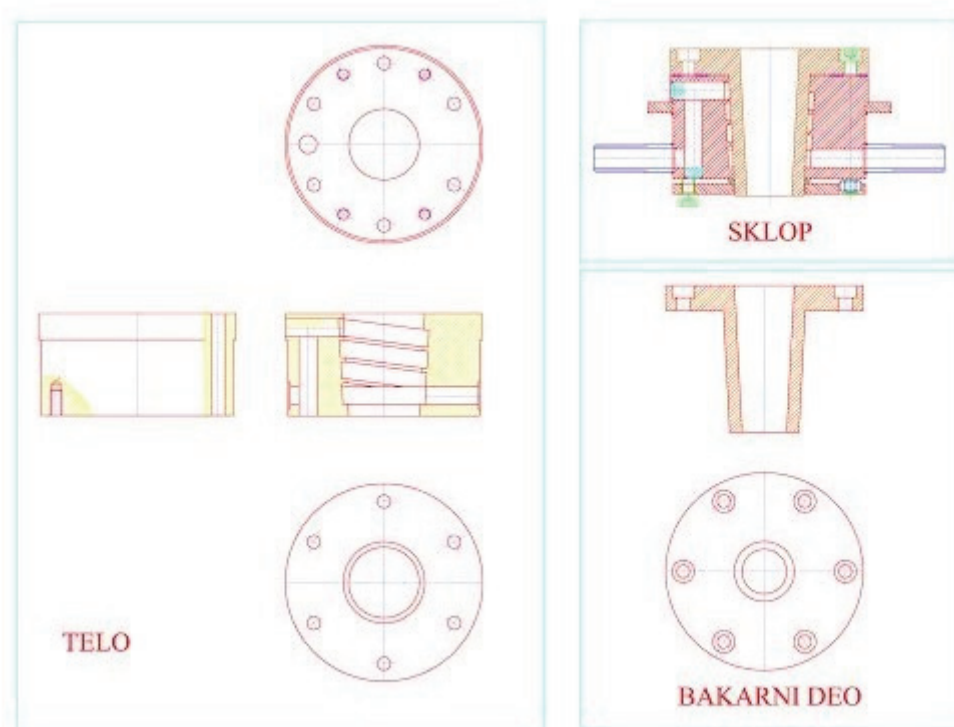
Slika 2.67. Livni lonac u sklopu sa kristalizacionom



Slika 2.68. Zaštitni ekrani na induktoru

### 2.2.3. *Kristalizator*

Kristalizator za vertikalno kontinualno livenje na dole prikazan je na slici 2.69.



**Slika 2.69.** Kristalizator za vertikalno kontinualno livenje na dole

Glavni delovi kristalizatora su telo kristalizatora i bakarni deo u koji se montira grafitna kokila. Telo kristalizatora je izrađeno od nerđajućeg čelika. Na telu kristalizatora u zoni koja je u kontaktu sa bakarnim delom urezani su spiralni kanali. Kroz ove kanale struji voda za hlađenje. Kontakt između bakarnog dela i tela kristalizatora je pod konusom od 3 stepena. Voda ulazi u kristalizator u donjoj zoni konusa i penje se ka vrhu, na završetku spirale se vraća na dole kroz specijalni vertikalni kanal, kao što je prikazano na slici 2.69. Bakarni deo kristalizatora se izrađuje od bakra visoke čistoće, bez primesa koje utiču na smanjenje toplote kroz zid bakra. Pre obrade rezanjem se obavezno bakar kuje u kalupu na potrebne predmere. Prikazana konstrukcija je najčešće korišćena kod većine proizvođača opreme za vertikalno kontinualno livenje na dole.

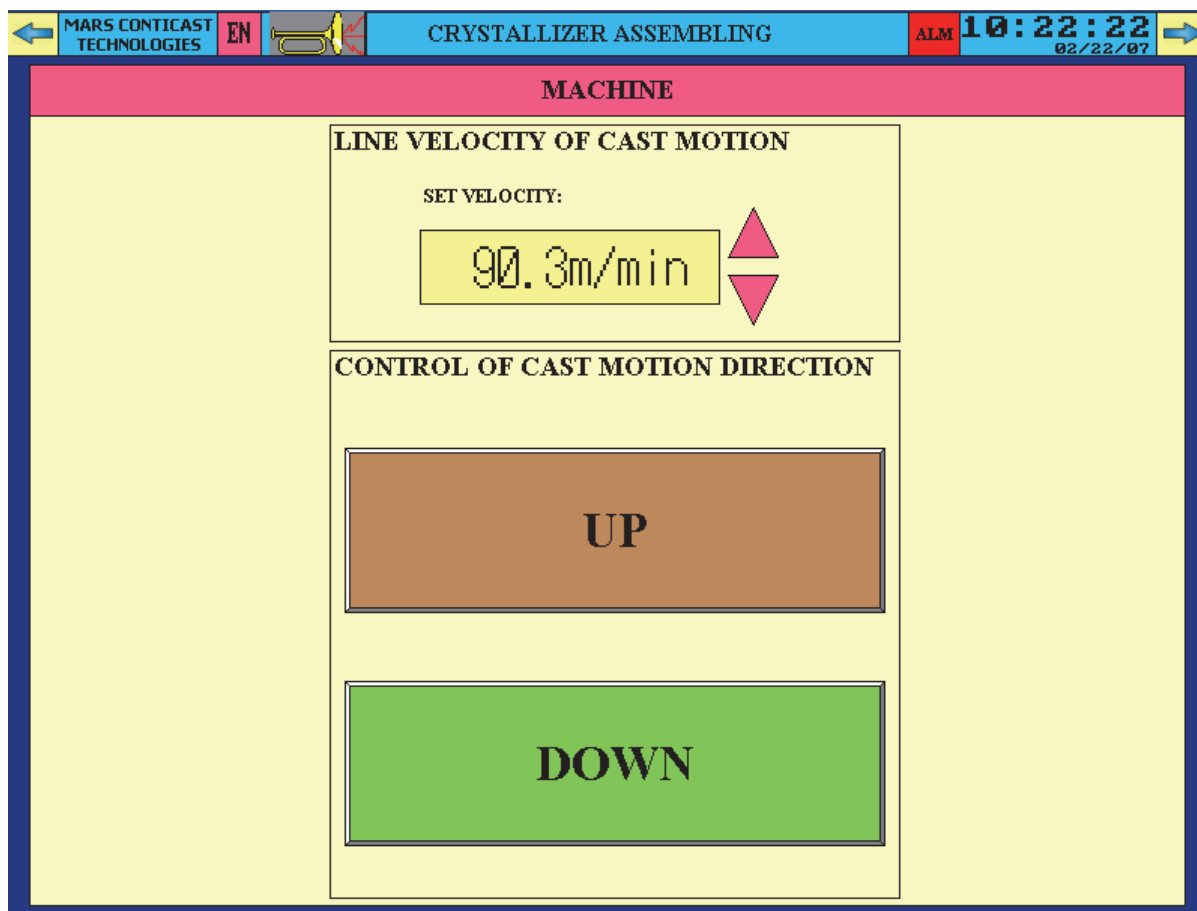
Svi uzorci, korišćeni u ovom radu, uzeti su, pri procesu vertikalnog kontinualnog livenja na dole, na ovakvoj konstrukciji kristalizatora.

### 2.2.4. *Montaža kristalizatora*

Montaža kristalizatora se vrši tako što se na tač panelu izabere ekran za montažu kristalizatora slika 2.70. Sama mašina je predviđena da se koristi kao lift za podizanje kristalizatora tako što se umesto startne šipke postavi nosač kristalizatora kao što je prikazano na slici 2.71 i korišćenjem dugmeta gore ili dole (slika 2.70) podiže se ili spušta kristalizator



(slika 2.70 i 2.71) zadanom brzinom (slika 2.70).



Slika 2.70. Ekran za montažu kristalizatora



Slika 2.71. Podizanje kristalizatora



**Slika 2.72.** Spuštanje kristalizatora

Kristalizator se postavi u otvor livnog lonca na livnoj peći i fiksira sa 6 držača kristalizatora slika 2.73. Nakon toga se uklanja nosač kristalizatora slika 2.74.



**Slika 2.73.** Fiksiranje kristalizatora za livni lonac na livnoj peći





**Slika 2.74.** Uklanjanje nosača kristalizatora

Nakon fiksiranja kristalizatora on se povezuje na vodu pomoću brzorastavljajućim spojnica slika 2.75.



**Slika 2.75.** Povezivanje kristalizatora sa sistemom za hlađenje vodom

Posle priključenja kristalizatora na vodu pristupa se formiranju dna na livnom loncu. To se radi tako što se najpre običnim peskom popuni prostor između kristalizatora i livnog lonca slika 2.76. Da nebi upao pesak u bakarni deo kristalizatora pre nasipanja peska postavlja se grafitna kokila u kristalizator ali se ona još ne nabija to se radi na kraju formiranja dna livnog lonca.



**Slika 2.76.** Popuna prostora između kristalizatora i livnog lonca peskom

Posle popune zazora između kristalizatora i livnog lonca peskom postavlja se izolacioni prsten (Unitherm firme WACHTER&CO) slika 2.77.



**Slika 2.77.** Postavljanje izolacionog prstena Unitherm

Posle postavljanja izolacionog prstena pristupa se formiranju dna livnog lonca. Najpre se kroz kristalizator pusti topla voda 90C što bi se raširio bakarni deo kristalizatora i zatim se nabije grafitna kokila. U zavisnosti dali je kokila za puni ili šuplji profil nabijanje dna iz mase EL 405 se vrši na sledeći način. Ako je u pitanju kokila za puni profil onda se masa nabija do visine grafitne kokile slika 2.78, a u slučaju kokile za livenje šupljih profila (slika 2.79) nabijanje dna vrši se do otvora za dovod metala u kokilu.





**Slika 2.78.** Nabijanje dna livnog lonca u slučaju livenja punog profila



**Slika 2.79.** Nabijanje dna livnog lonca u slučaju livenja šupljeg profila

Nakon nabijanja dna livnog lonca pristupa se postavljanju startne šipke i nivelaciji livne peći slike 2.80, 2.81 i 2.82.



**Slika 2.80.** Postavljanje startne šipke



**Slika 2.81.** Nivelacija livne peći- horizontalna





**Slika 2.82.** Nivelacija livne peći – vertikalna

Zadnja operacija je u nivelisanu peć sa kristalizadorom startna šipka se postavlja na startnu visinu slika 2.83.

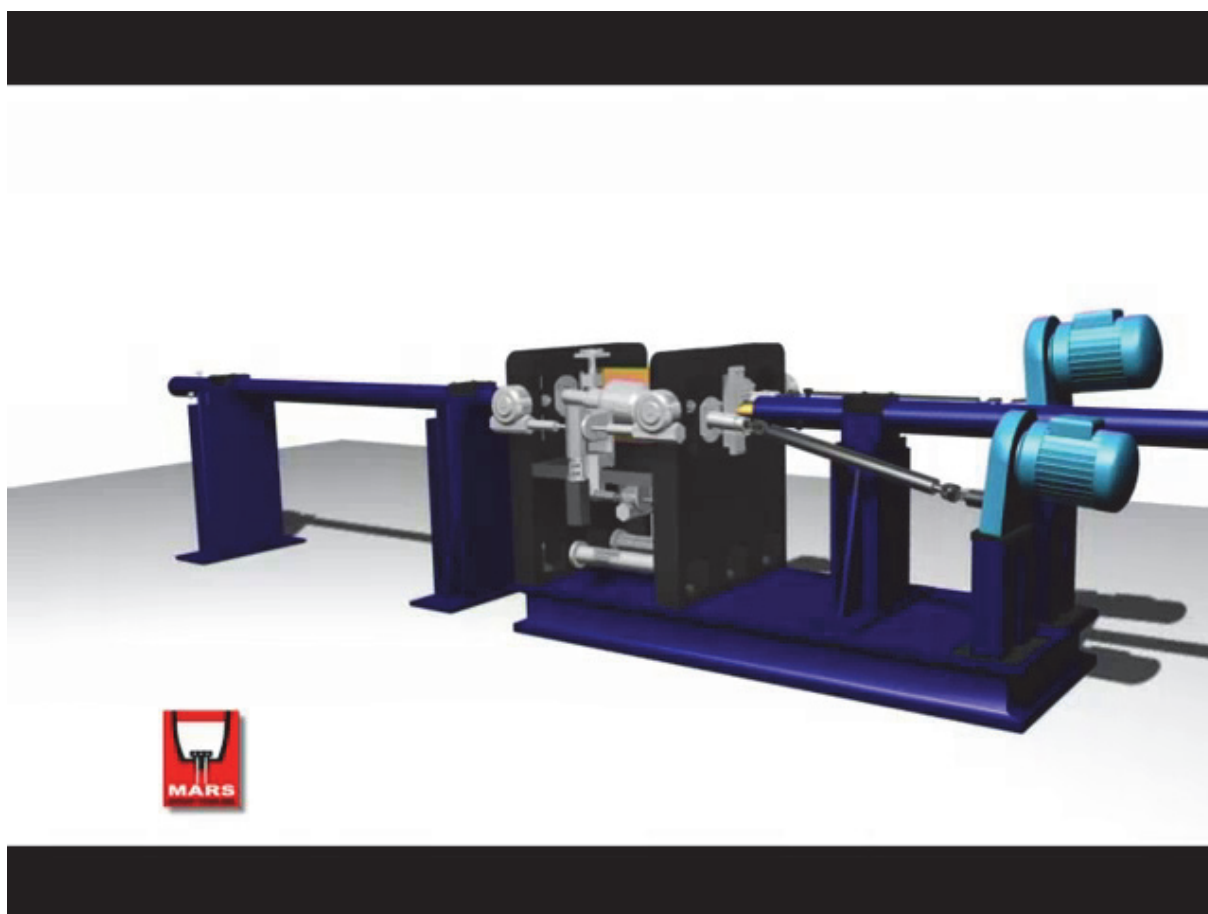


**Slika 2.83.** Postavljanje startne šipke na startnu visinu

### **2.2.5. Ispravljanje livenih profila**

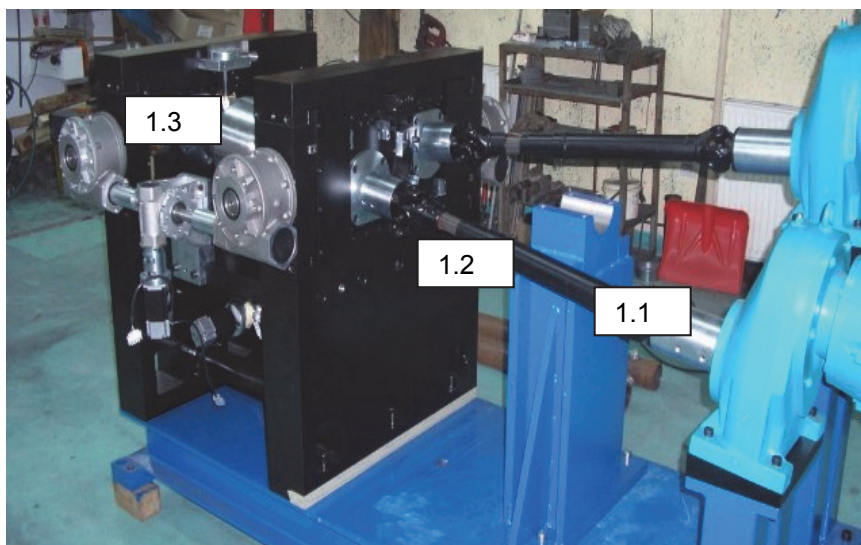
Nakon procesa kontinualnog livenja, livene profile je neophodno ispraviti i dovesti u traženu toleranciju pravosti profila koju traži kupac. Najčešća tolerancija pravosti odnosno dozvoljeno odstupanje je 1 mm na dužinu od 1 metra livenog profila. Za ispravljanje okruglih livenih profila koriste se dve vrste mašina. Mašine sa tri valjka, dva na jednom vratilu i jedan na drugom vratilu, Pri čemu se vratila nalaze pod određenim uglom, nisu paralelna i mašine sa tri i više parova heliodnih valjaka. U ovom radu biće opisana mašina za ispravljanje profila sa tri valjka.

Na slici 2.84. Prikazan je 3D model mašine za ispravljanje livenih profila za maksimalni prečnik 41 mm.



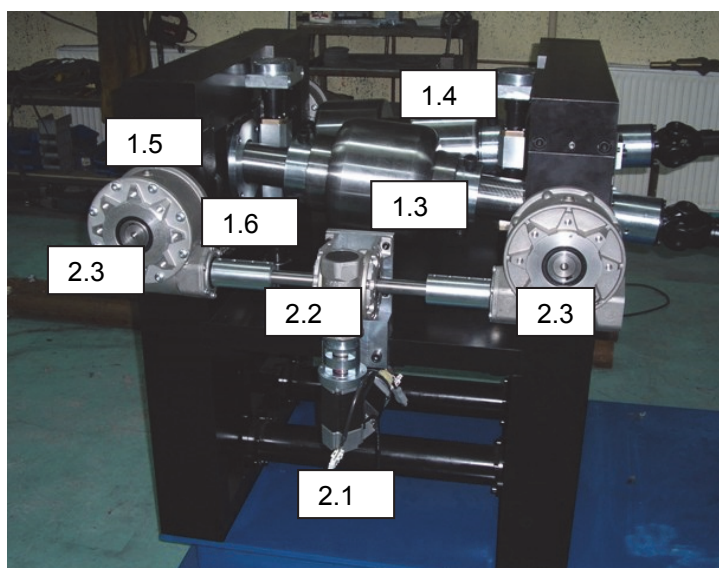
**Slika 2.84.** 3D Model mašine za ispravljanje livenih profila MIP 13-41, max prečnik 41 mm





**Slika 2.85.** Glavni pogon mašine za ispravljanje profila

Glavni pogon Mašine je prikazan na slici 2.85. Glavni pogon mašine za ispravljanje profila čine 2 AC motora snage 11KW/4p (glavni pogonski motori 1.1). Glavni pogonski motori 1.1 preko kardanskih vratila 1.2, prenose obrtni moment na valjke za ispravljanje 1.3 i 1.4 (slika 2.86). Valjci 1.3 i 1.4 se obrću u istom smeru, smeru kazaljke na satu, gledano sa strane ulaska šipke. (leva strana na slici 2.85). Vratila valjaka za ispravljanje uležištena su u kućištima 1.5 preko kotrljajnih ležajeva 1.6. Svako kućište 1.5 je dodatno uležišteno sa po 4 linearna ležaja koja mu omogućavaju kretanje poprečno u odnosu na osu valjaka za ispravljanje, 1.3 i 1.4.

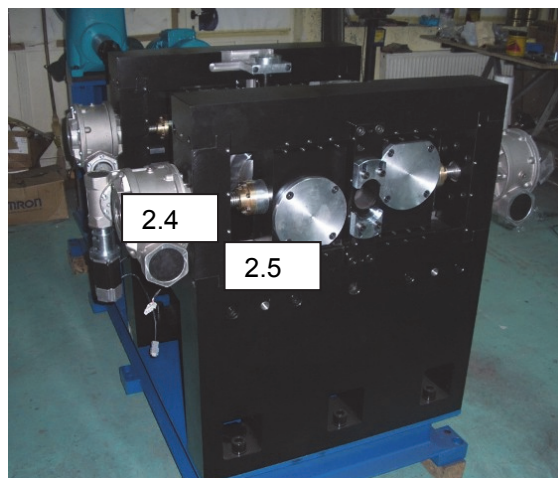


**Slika 2.86.** Pomoćni pogon za pomeranje valjaka za ispravljanje profila

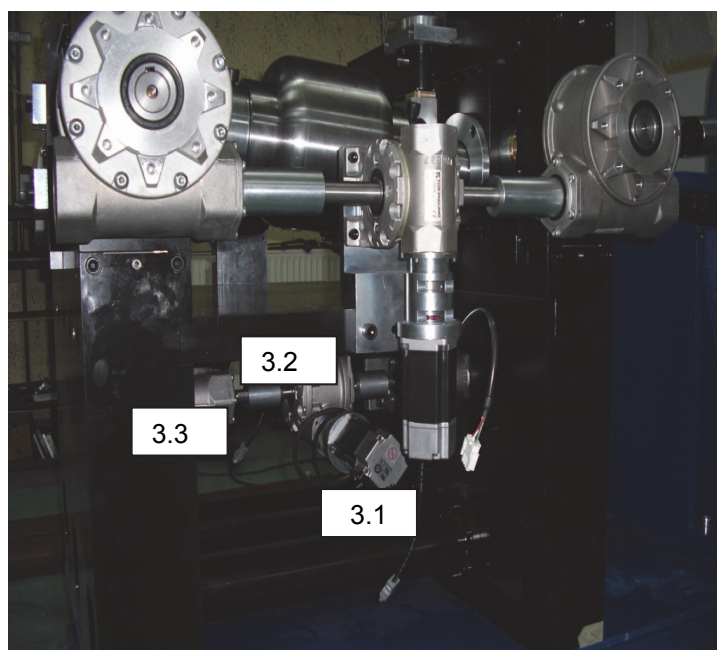
Pomoćni pogon za pomeranje valjaka čine dva servo motora, čiji je zadatak da valjke za ispravljanje dovedu u željenu poziciju (slika 2.86). Pomoćni pogon za pomeranje valjaka čine servo motor 2.1 koji preko pužnog reduktora 2.2, obrtni moment dalje prenosi na 2 pužna reduktora 2.3. Pužni reduktori 2.3, preko trapeznog vretena 2.4 (slika 2.87) sa navrtkom 2.5



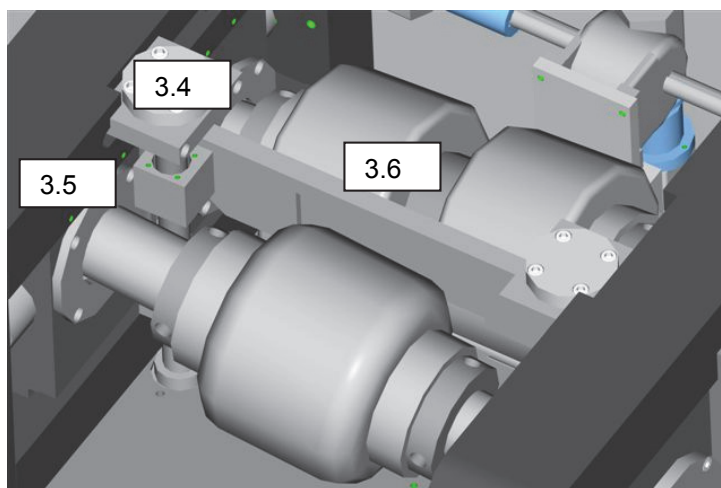
omogućava translatorno kretanje kućišta 1.5 preko linearnih ležajeva 1.7. Trapezno vreteno je dodatno uležišteno aksijalnim kotrljajnim ležajem.



**Slika 2.87.** Pomoćni pogon za pomeranje valjaka za ispravljanje profila

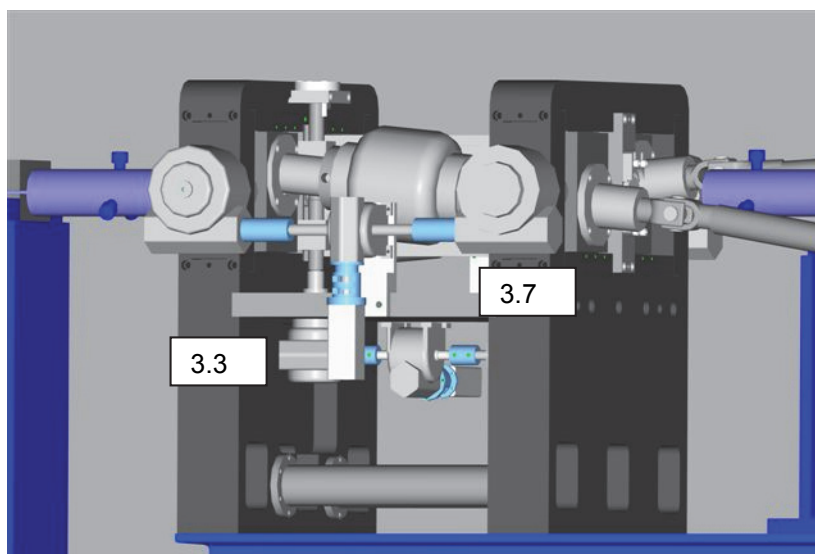


**Slika 2.88.** Pomoćni pogon za pomeranje noževa za ispravljanje profila



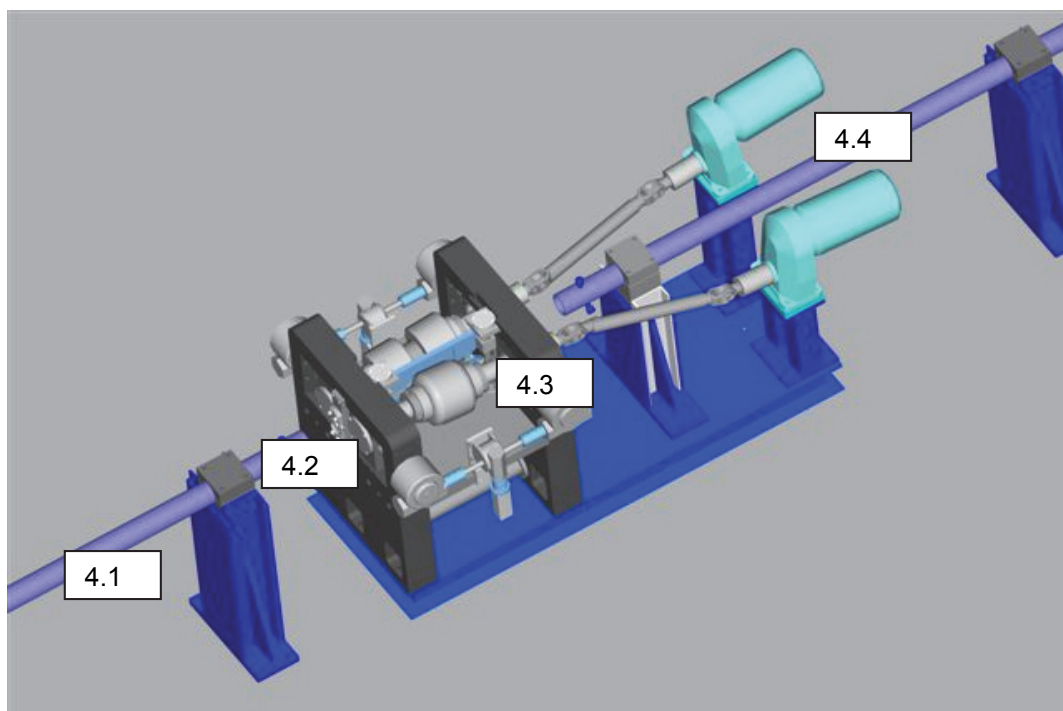
**Slika 2.89.** Gornji nož mašine za ispravljanje profila

Pomoćni pogon za pomeranje noževa čini jedan servo motor, čiji je zadatak da noževe dovedu u željenu poziciju. Pomoćni pogon za pomeranje valjaka čine servo motor 3.1 koji preko pužnog reduktora 3.2, obrtni moment dalje prenosi na 2 pužna reduktora 3.3 (slika 2.88 i slika 2.90). Pužni reduktori 3.3, preko trapeznog vretena 3.4 sa navrtkama 3.5 (slika 2.89) omogućava sinhrono vertikalno translatorno kretanje gornjeg 3.6 (slika 2.89) i donjeg noža 3.7 (slika 2.90). Trapezno vreteno je dodatno uležišteno aksijalnim kotrljajnim ležajem.



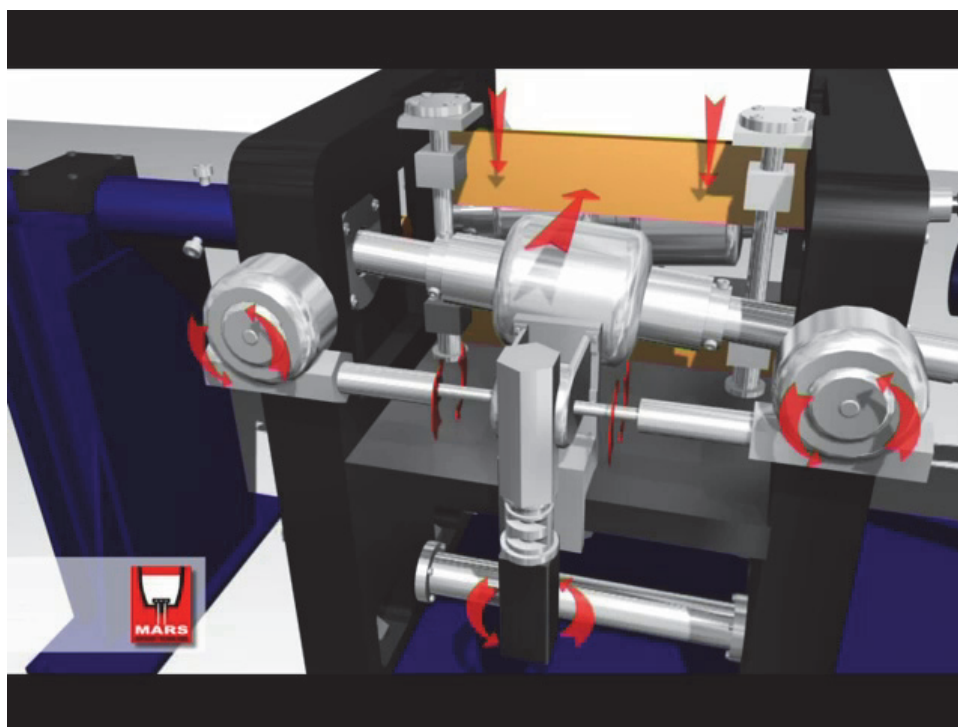
**Slika 2.90.** Pomoćni pogon za podizanje i spuštanje noževa

Sistem uvođenja profila za ispravljanje u mašinu se sastoji od ulazne bronzane cevi 4.1, odgovarajuće ulazne bronzane čaure 4.2, koja se menja u zavisnosti od dimenzije koja se ispravlja, odgovarajuće izlazne bronzane čaure 4.3 za ispravljeni profil i izlazne cevi 4.4 (slika 2.91)



Slika 2.91. Sistem za uvođenje profila za ispravljanje

Ispravljanje livenih profila se vrši tako što operater na mašini, za svaki profil koji se ispravlja mora prvo da podesi mašinu. Postavljaju se odgovarajuće ulazne i izlazne bronzane čaure koje imaju ulogu da drže profil u osi ispravljanja. Zatim se valjci za ispravljanje postavljaju na odgovarajuće rastojanje između svojih vratila koje je potrebno da bi se liveni profil mogao ispraviti. Takođe je potrebno podesiti i noževe na odgovarajuću visinu (slika 2.2).



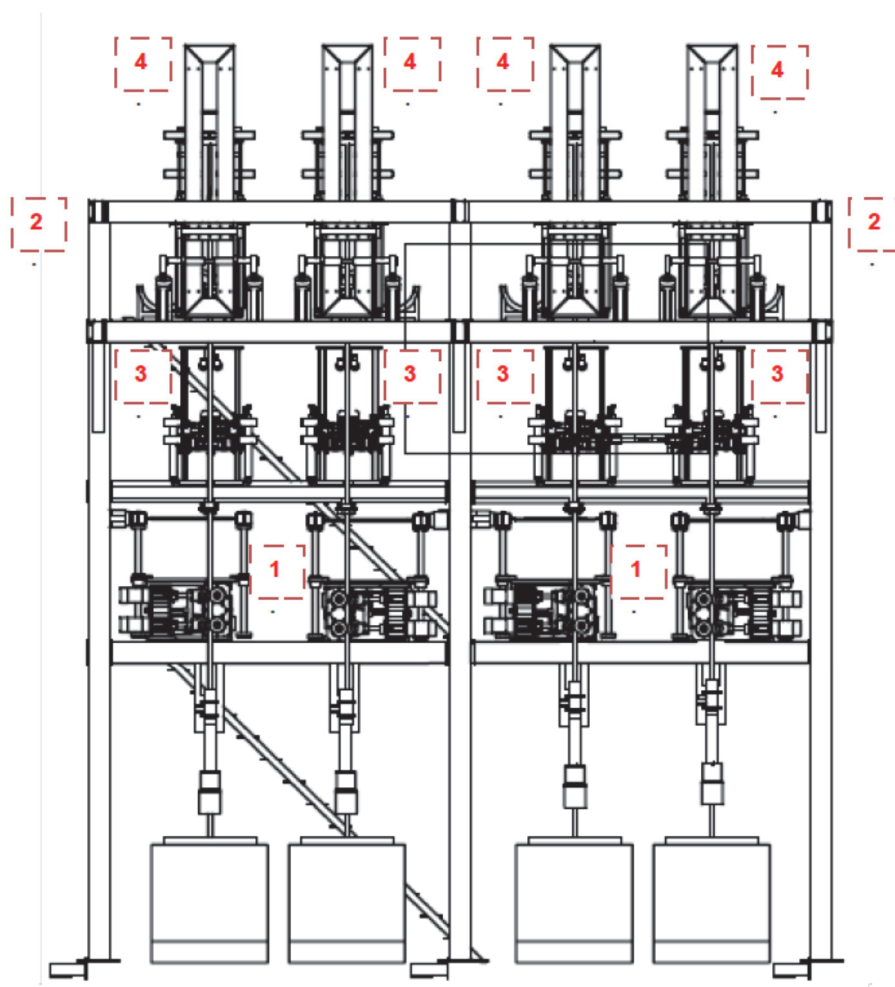
Slika 2.92. Podešavanje noževa

Ovi noževi imaju ulogu da drže profil u osi ispravljanja tokom njegove rotacije i prolaska kroz zonu ispravljanja. Vratila se nalaze pod uglom od 3 stepena što obezbeđuje rotaciju profila između valjaka i pomeranje profila ka izlazu mašine odgovarajućom brzinom. Brzina okretanja valjaka se menja u zavisnosti od krivine profila a samim time i brzina ispravljanja. Maksimalna brzina okretanja valjaka za ispravljanje je 165 obrtaja u minuti.

### 2.3. Proizvodna linija za vertikalno kontinualno livenje na gore, sa standardnim i elektromagnetnim kristalizatorima

Proizvodna linija se sastoji iz sledećih sklopova (slika 2.93):

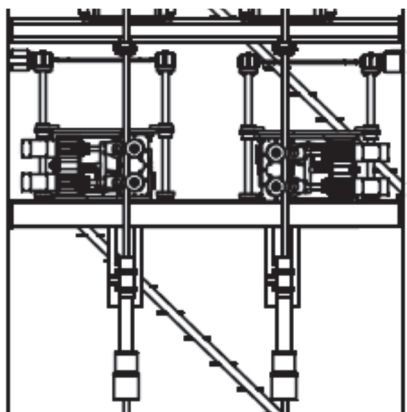
1. Uređaj za livenje sa 2 elektromagnetna kristalizatora – 2 kom.
2. Platforma za smeštaj sklopova – 2 kom.
3. Automatske leteće testere – 4 kom.
4. Automatskog mehanizma za hvatanje i odlaganje profila– 4kom.



**Slika 2.93.** Proizvodna linija za vertikalno kontinualno livenje na gore sa standardnim i elektromagnetnim kristalizatorima

### 2.3.1. Uređaj za livenje sa dva elektromagnetna kristalizatora

Uređaj za livenje se sastoji iz dve vučne jedinice slika 2.94.

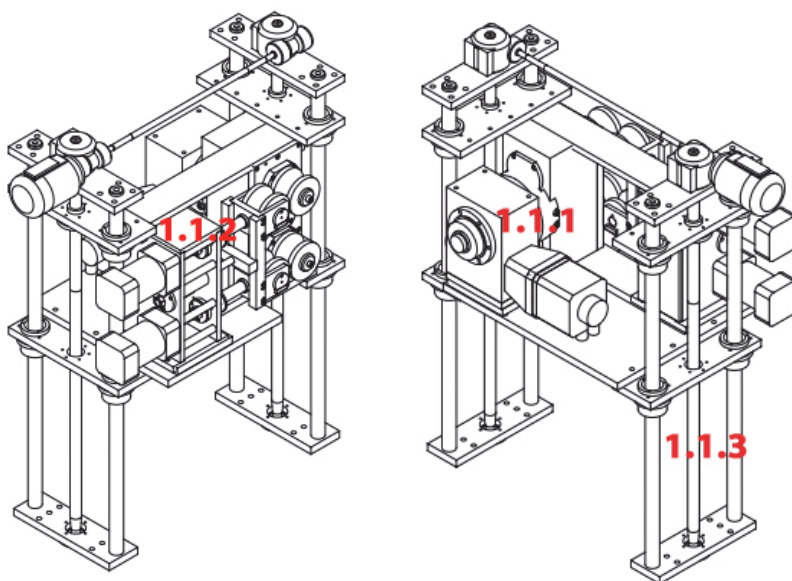


Slika 2.94. Uređaj za livenje

#### Vučna jedinica

Vučna jedinica obezbeđuje automatsko povlačenje komada koji se lije za zadati pomeraj i vertikalno pomeranje kristalizatora (slika 2.95) I sastoji se od sledećih podsklopa:.

- 1.1.1 Pogonskog podsklopa
- 1.1.2 Steznog podsklopa
- 1.1.3 Podsklopa za vertikalno pomeranje



Slika 2.95. Pogonski podsklop

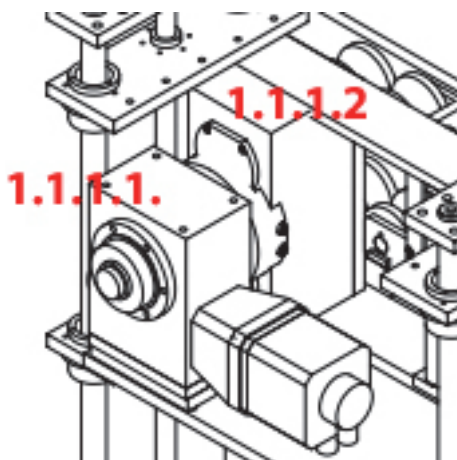


### Pogonski podsklop

Pogonski podsklop obezbeđuje vertikalno pomeranje profila uvis tokom procesa livenja (slika 2.96).

Pogonski podsklopa sa pogonskim valjcima se sastoji od pužnog servo reduktora DYNABOX 1.1.1.1 I reduktora sa dva izlazna paralelna vratila 1.1.1.2. Pogonski valjci su montirani na izlaznim vratilima reduktora 1.1.1.2. Reduktori su pogonjeni servo motorom snage 5 KW (slika 2.96).

Glavni zadatak pogonskog podsklopa je da obezbedi pogonski moment, koji se prenosi od servo motora, preko reduktora do profila koji se lije. Takođe pogonski podsklop putem servo motora I automatike, obezbeđuje precizno koračno pomeranje profila za tačno određenu dužinu I za tačno određeno vreme.



Slika 2.96. Pogonski podsklop

### Stezni podsklop

Stezni podsklop obezbeđuje stezanje profila između steznih I pogonskih valjaka tokom procesa livenja. Stezna sila se obezbeđuje preko pneumatskih cilindara 1.1.2.1. Stezna sila obezbeđuje tačnu korelaciju između ugla zakretanja motora I vertikalnog pomeraja profila..

Mehanički podsklop za osiguranje održava konstantnu steznu silu, čak I u slučaju kada nestane vazduha pod pritiskom.

Ventil 1.1.2.2 kontroliše smer kretanja klipnjače pneumatskih cilindara 1.1.2.1.

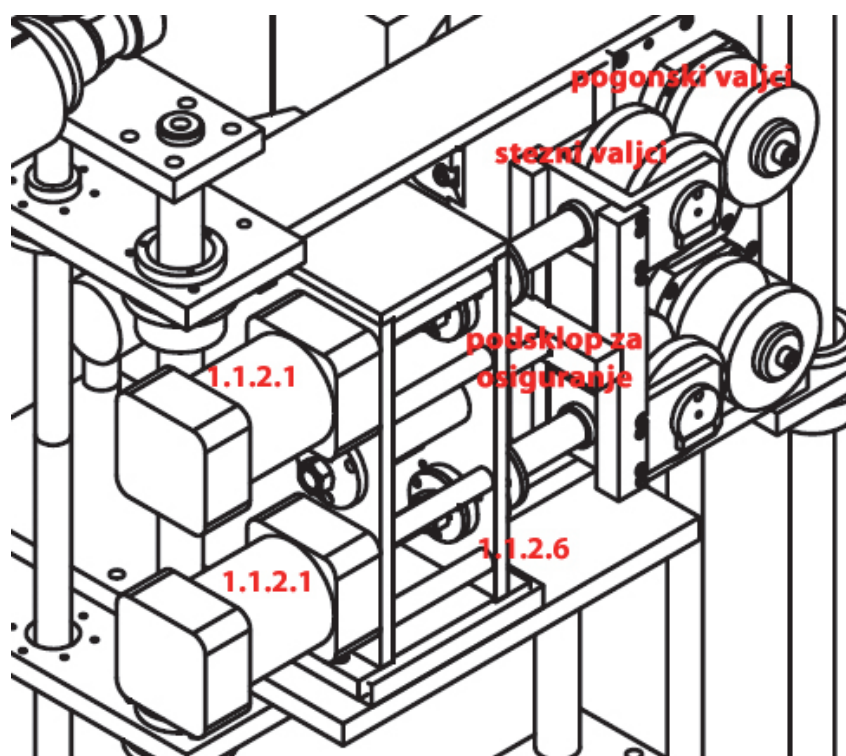
Za stezanje profila između steznih valjaka (kretanje napred), špulna ventila 1.1.2.2 mora da se aktivira.

Regulator pritiska 1.1.2.3 kontroliše silu stezanja.

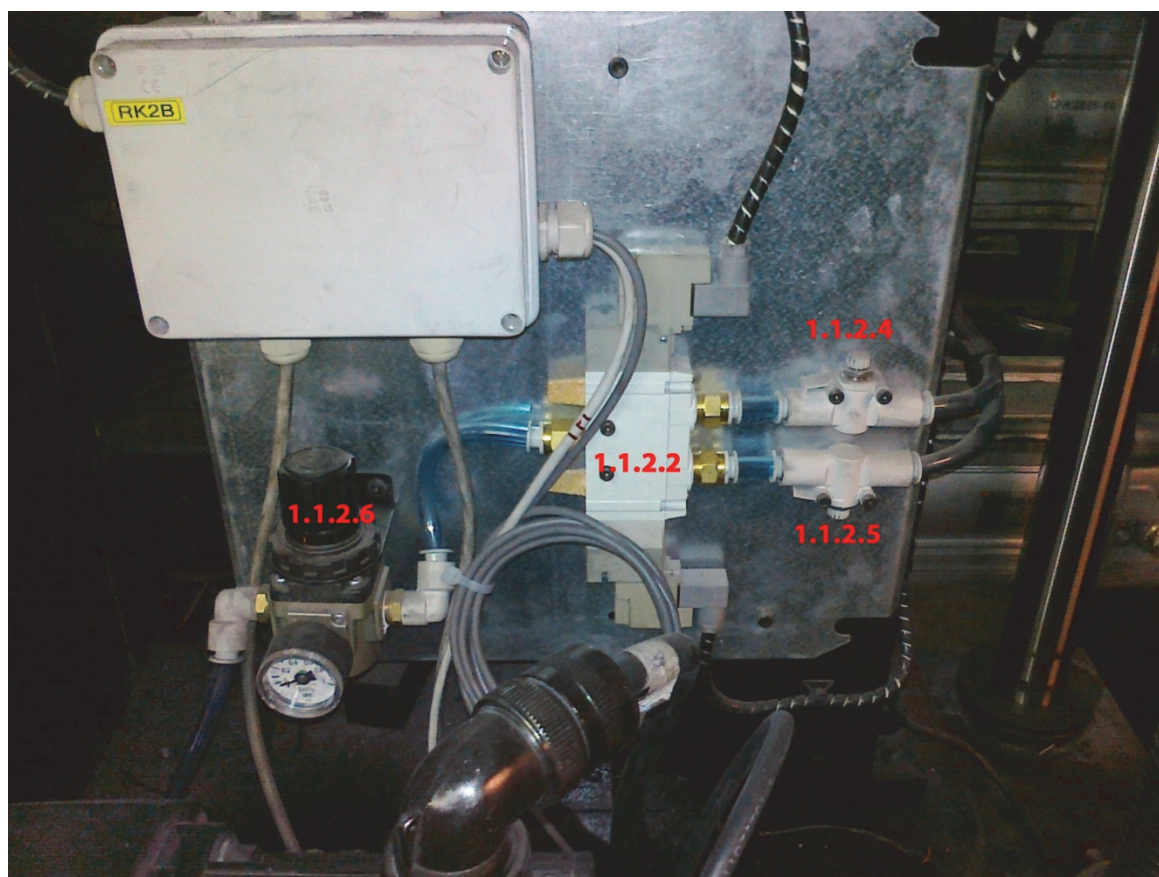
Za kontrolisanje brzine stezanja valjaka, odvijati i zavijati ventil 1.1.2.4.

Za kontrolisanje brzine otpuštanja valjaka, odvijati i zavijati ventil 1.1.2.5.

Horizontalno kretanje steznog podsklopa je obezbeđeno podsklopom vođica i lineranih ležajeva 1.1.2.6 (slika 2.97 i 2.98).



Slika 2.97. Stezni podsklop



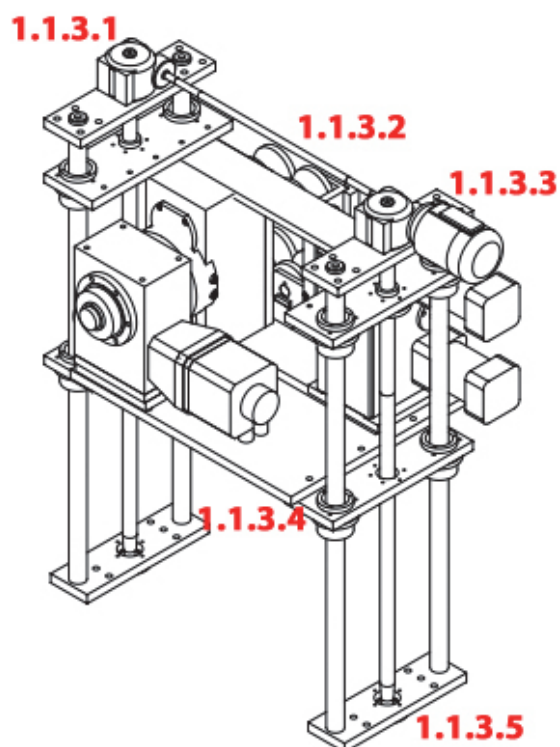
Slika 2.98. Komandna tabla razvoda vazduha za stezni sklop



### Podsklop za vertikalno pomeranje

Podsklop za vertikalno pomeranje obezbeđuje vertikalno pomeranje kompletne vučne jedinice. Da bi se ostvarilo vertikalno pomeranje vučne jedinice, par pužnih reduktora je povezan preko njihovih ulaznih vratila 1.1.3.1 i 1.1.3.2.

Pužni reduktori se pogonjeni preko AC motora 1.1.3.3. Izlazna šuplja vratila reduktora povezana su preko para vratila na par koji čine navrtka I vratilo sa trapeznim navojem. Vertikalno pomeranje vučne jedinice je obezbeđeno preko vođica I linearnih ležajeva 1.1.3.4. Vratila su uležištenja preko ležajeva 1.1.3.5 (slika 2.99).

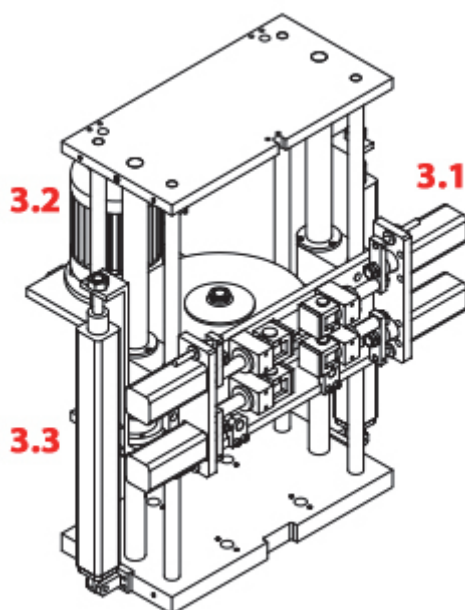


**Slika 2.99.** Podsklop za vertikalno pomeranje

### Automatska leteća testera

Automatska testera odseca profil na zadatu dužinu. Automatika daje signal za odsecanje profila I sastoji se iz tri podsklopa (slika 2.100) :

- 3.1 Steznog podsklopa
- 3.2 Podsklopa za odsecanje
- 3.3 Podsklopa za balansiranje



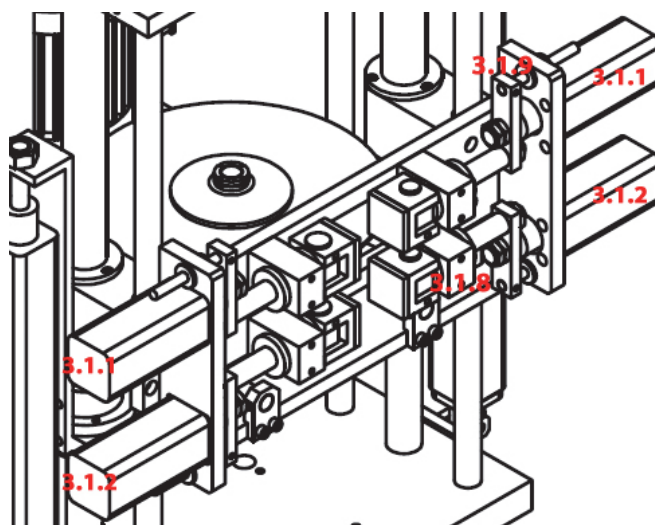
Slika 2.100. Automatska leteća testera

### Stezni podsklop

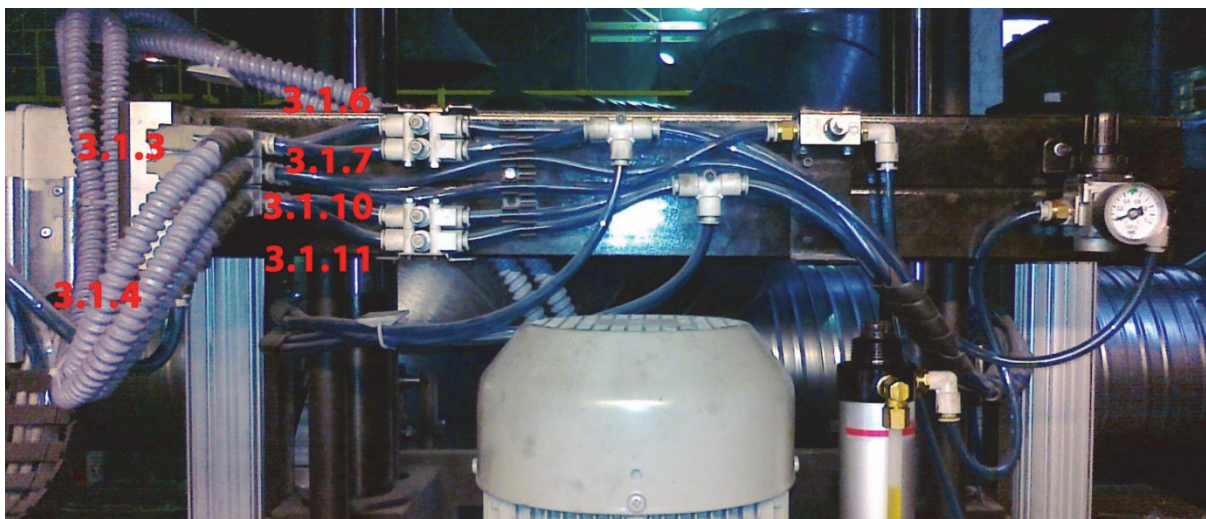
Stezni podsklop steže profil između paknova, preko gornjeg para pneumatskih cilindara 3.1.1. I donjeg para pneumatskih cilindara 3.1.2.

Sila stezanja obezbeđuje vertikalno kretanje testera sa profilom, bez proklizavanja. Za kontrolu stezanja profila, koriste se ventili 3.1.3 I 3.1.4. Da bi se profil stegao, špulne ventila 3.1.3 I 3.1.4 moraju se aktivirati.

Za kontrolu brzine donjeg para steznih cilindara, potrebno je zavijati I odvijati ventile 3.1.6. I 3.1.7 . Za kontrolu brzine gornjeg para steznih cilindara, potrebno je zavijati I odvijati ventile 3.1.10. I 3.1.11 . Horizontalno kretanje obezbeđemo je vodičama I linearnim ležajevima 3.1.8. I 3.1.9 (slika 2.101 i 2.102).



Slika 2.101. Stezni podsklop automatske leteće testere



**Slika 2.102.** Tabla sa razvodom vazduha za stezni podsklop leteće testere

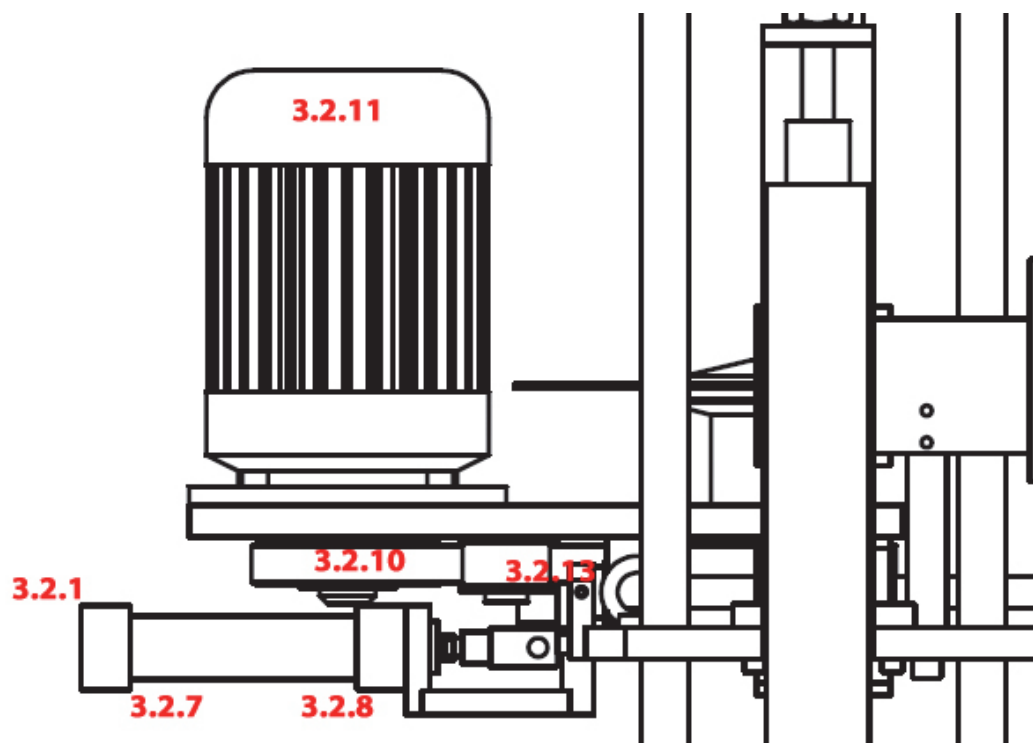
### Podsklop za odsecanje

Podsklop za odsecanje obezbeđuje horizontalno kretanje i rotaciju cirkularne testere 3.2.9. Pneumatski cilindar 3.2.1 obezbeđuje horizontalno kretanje testere. Horizontalno kretanje testere je obezbeđeno vođicama i linearnim ležajevima 3.2.13. Uljni rezervoar 3.2.2 snabdeva pneumatski cilindar 3.2.1 sa uljem pod pritiskom.

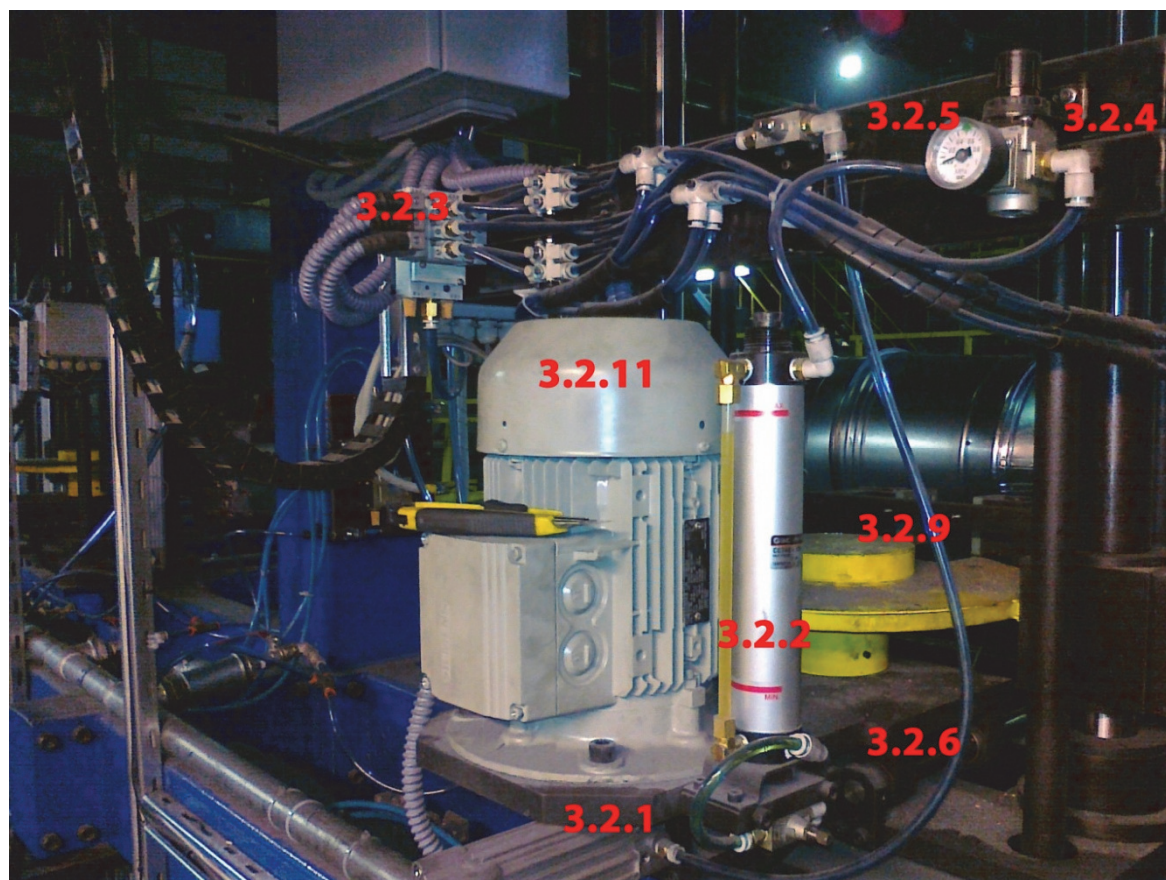
Za kontrolu kretanja cilindra 3.2.1 koristi se ventil 3.2.3. Za pomeranje testere prema 106 adore, špulna ventila 3.2.3 se mora aktivirati. Sila rezanja, tj. Pritisak rezanja se kontroliše preko regulatora pritiska 3.2.4. Pritisak rezanja se može očitati na manometru regulatora pritiska 3.2.4. Za kontrolu brzine posmaka, tj. brzine kretanja testere prema **106 adore** odvijati i zavijati ventil 3.2.5. Za kontrolu brzine povratnog hoda, tj. Brzine kretanja testere od profila odvijati I zavijati ventila 3.2.6.

Bezkoakti prekidač 3.2.7. šalje informaciju PLCu, da je testera u zadnjem krajnjem položaju. Bezkoakti prekidač 3.2.8. šalje informaciju PLCu, da je testera u prednjem krajnjem položaju, tj. Da je **106 adore** sečenja završen.

Rotaciono kretanje testere je osigurano preko elektro motora 3.2.11 i kaišnog prenosa 3.2.10. Vratilo irkularne testere je uležišteno preko ležajeva 3.2.15 I 3.2.16 (slika 2.103 i 2.104).



Slika 2.103. Podsklop za odsecanje

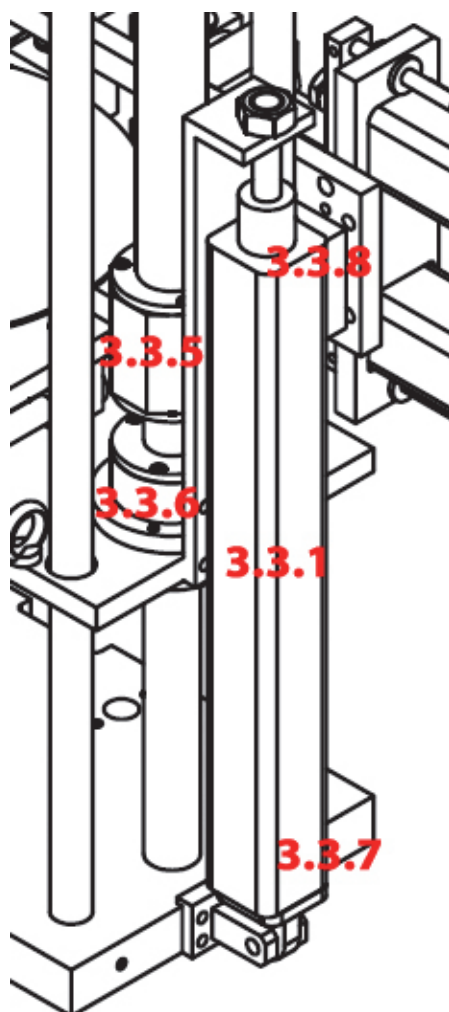


Slika 2.104. Podsklop za odsecanje

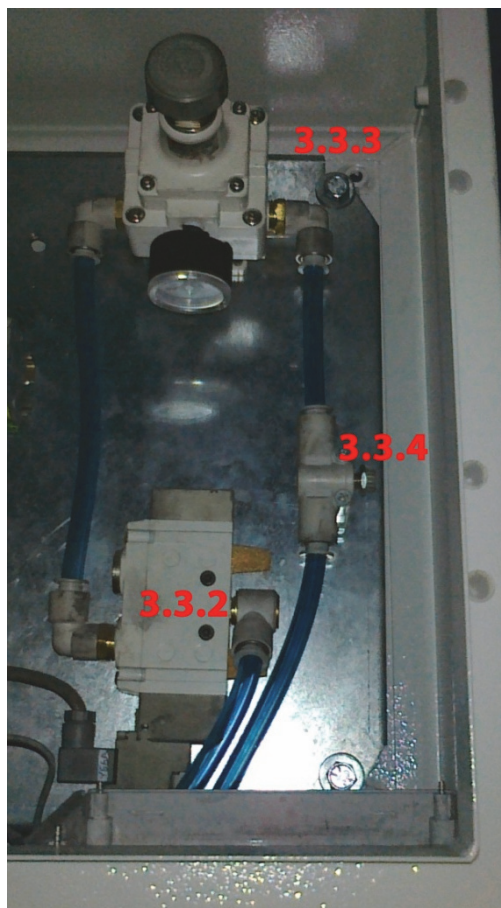


### Podsklop za balansiranje

Podsklop za balansiranje obezbeđuje vertikalno pomeranje testere. Vertikalno pomeranje je obezbeđeno vođicama 3.3.5 i lineranim ležajevima 3.3.6. Pneumatski cilindri 3.3.1 obezbeđuju balansiranje testere prilikom sečenja profila. Za kontrolu kretanja cilindra 3.3.1, koristi se ventil 3.3.2. Za pomeranje testere u krajnji donji položaj, špulna ventila 3.3.2 se mora deaktivirati. Za balansiranje testere prilikom odsecanja profila, špulna ventila 3.3.2 mora se aktivirati. Podešavanje sile balansiranja cilindra 3.3.2, vrši se preko preciznog regulatora pritiska 3.3.3. Beskontaktni prekidač 3.3.7. šalje povratnu informaciju PLCu, da je testera u donjem krajnjem položaju. Beskontaktni prekidač 3.3.8. šalje povratnu informaciju PLCu, da je testera u gornjem krajnjem položaju. Brzina povratnog hoda testere u donji krajnji položaj, reguliše se preko ventila 3.3.4 (slika 2.105 i 2.106).



**Slika. 2.105.** Podsklop za balansiranje



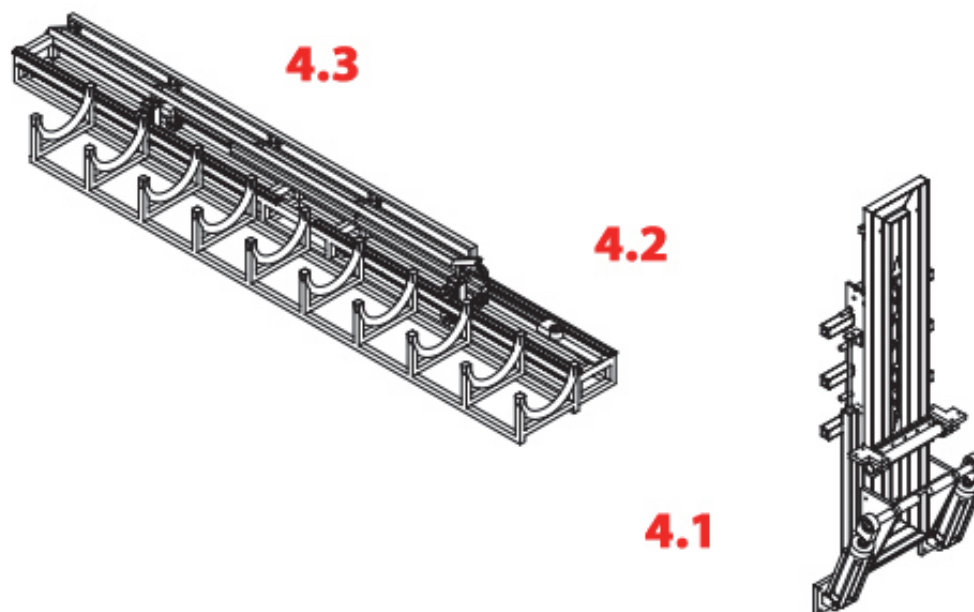
**Slika 2.106.** Razvod vazduha podsklopa za balansiranje

Automatski mehanizam za hvatanje i odlaganje profila

Automatski mehanizam za hvatanje i odlaganje profila, se sastoji iz sledećih komponenti (slika 2.107):

- 4.1 Manipulator
- 4.2 Transporter
- 4.3 Magacin

Automatski mehanizam treba da obezbedi horizontalno polaganje i skladištenje profila.



**Slika 2.107.** Automatski mehanizam za hvatanje i odlaganje profila

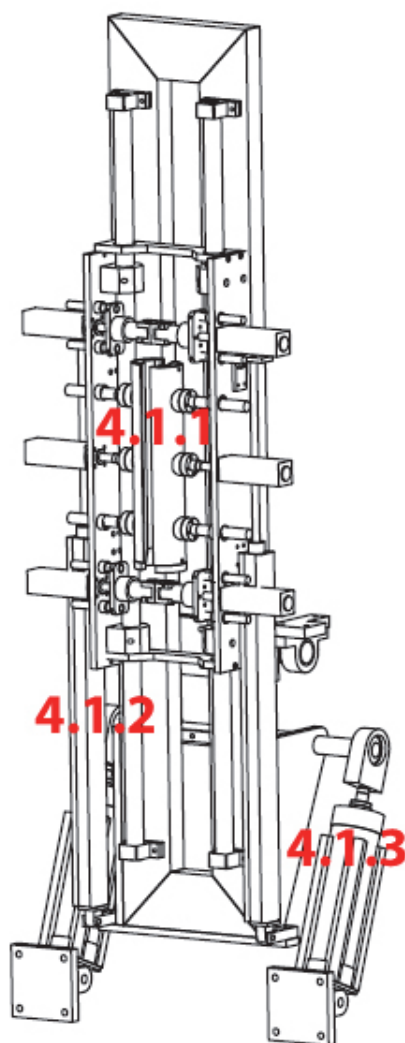
### Manipulator

Manipulator obezbeđuje stezanje i hvatanje profila prilikom odsecanja i polaganje profila u horizontalni položaj posle odsecanja.

Manipulator se sastoji iz sledećih podsklopova (slika 2.108):

- 4.1.1 Steznog podsklopa
- 4.1.2 Podsklopa za balansiranje
- 4.1.3 Podsklopa za obaranje

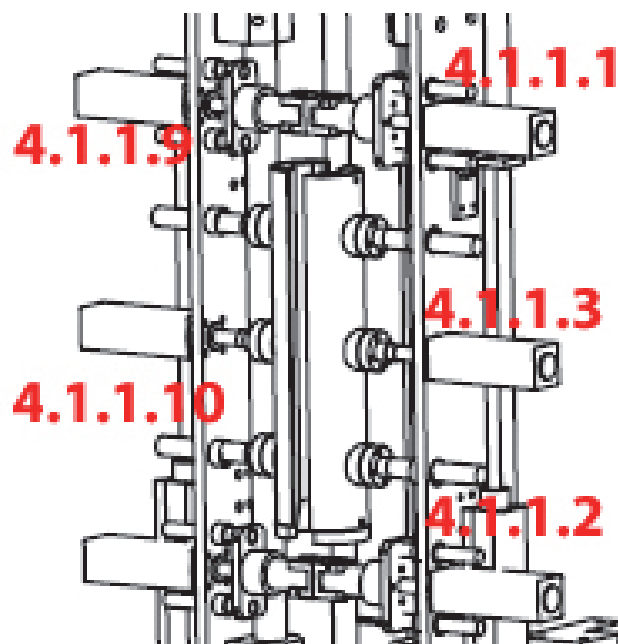




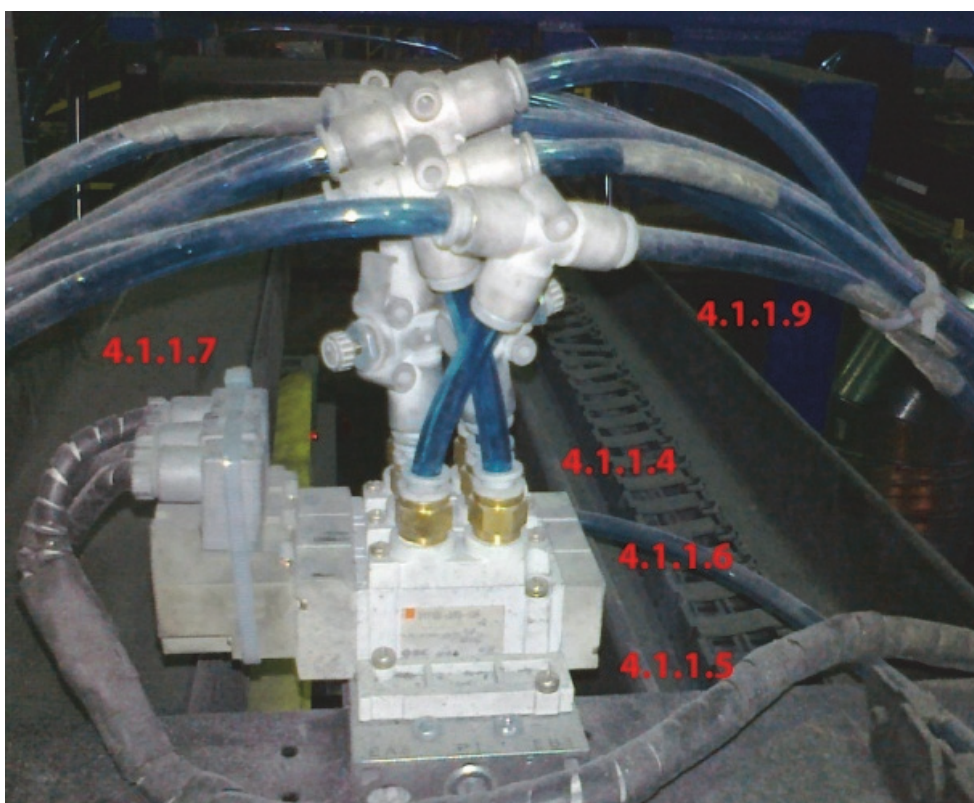
**Slika 2.108.** Manipulator

### Stezni podsklop

Stezni podsklop manipulatora treba da stegne profil između paknova, preko gornjeg para pneumatskih cilindara 4.1.1.1 i donjeg para pneumatskih cilindara 4.1.1.2. Stezni podsklop takođe obezbeđuje zatvaranje i otvaranje zaštitne cevi preko para pneumatskih cilindara 4.1.1.3. Stezna sila cilindara 4.1.1.1 i 4.1.1.2 obezbeđuje vertikalno kretanje steznog podsklopa bez proklizavanja. Za kontrolu kretanja steznih cilindara koriste se ventili 4.1.1.3 i 4.1.1.4. Za stezanje profila između gornjeg para pneumatskih cilindara 4.1.1.1, špulna vntila 4.1.1.4 mora se aktivirati. Za stezanje profila između donjeg para pneumatskih cilindara 4.1.1.2, špulna vratila 4.1.1.5 mora se aktivirati. Da bi se zatvorila zaštitna cev, špulna ventila 4.1.1.6 mora se aktivirati. Brzina zatvaranja zaštitne cevi reguliše se preko ventila 4.1.1.7. i 4.1.1.8. Sila stezanja paknova se reguliše preko regulatora pritiska 4.1.1.11. Horizontalno kretanje paknova je obezbeđeno preko podsklopa vođica i linearnih ležajeva 4.1.1.9. Kretanje zaštitne cevi je obezbeđeno preko podsklopa vođica i linearnih ležajeva 4.1.1.10 (slika 2.109, 2.110 I 2.111).



Slika 2.109. Stezni podsklop



Slika 2.110. Ventili razvoda vazduha steznog podsklopa

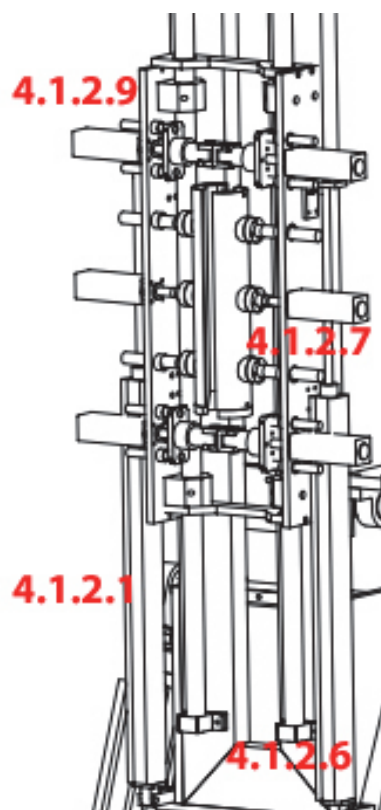


**Slika 2.111.** Regulator pritiska steznog podsklopa

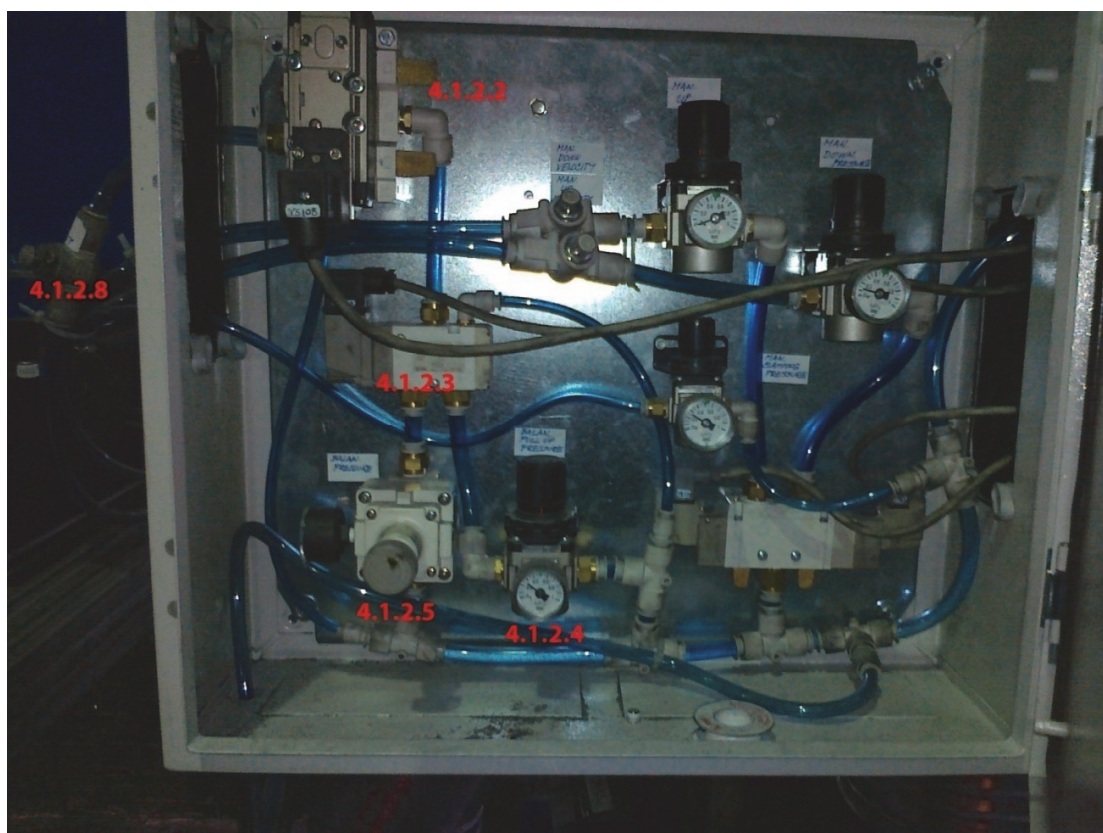
### Podsklop za balansiranje

Balansni podsklop manipulatora obezbeđuje vertikalno pomeranje steznog podsklopa, tj. Kretanje profila tokom i posle procesa odsecanja. Pneumatski cilindri 4.1.2.1 obezbeđuju balansiranje steznog podsklopa prilikom procesa odsecanja, pomeranja na gore profila do krajnje gornje tačke i povratnog hoda u krajnju donju tačku. Za kontrolu kretanja cilindra 4.1.2.1, koriste se ventili 4.1.2.2 i 4.1.2.3. Da bi se obezbedilo balansiranje profila prilikom odsecanja, špulne ventila 4.1.2.2 i 4.1.2.3 moraju se aktivirati. Za obezbeđenje vertikalnog kretanja na gore profila posle odsecanja, špulna ventila 4.1.2.2 se mora aktivirati, a špulna ventila 4.1.2.3 mora se deaktivirati. Za dovođenje steznog podsklopa u donji krajnji položaj, špulne ventila 4.1.2.2 i 4.1.2.3 moraju se deaktivirati. Za regulisanj sile balansiranja pneumatskih cilindra 4.1.2.1, koristi se precizni regulator pritiska 4.1.2.4. Za regulisanje sile podizanja profila posle procesa odsecanja koristi se regulator pritiska 4.1.2.5. Beskontaktni prekidač 4.1.2.6 šalje povratnu informaciju PLCu, da je stezni podsklop u donjem krajnjem položaju. Beskontaktni prekidač 4.1.2.7 šalje povratnu informaciju PLCu, da je stezni podsklop u gornjem krajnjem položaju. Brzina povratnog hoda u krajnji donji položaj, kontroliše se preko ventila 4.1.2.8. Vertikalno kretanje steznog podsklopa je bezbedeno podsklopom vodica i linearnih ležajeva 4.1.2.9 (slika 2.112 i 2.113).





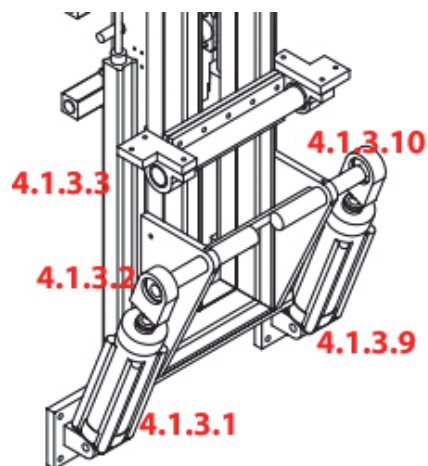
Slika 2.112. Podsklop za balansiranje



Slika 2.113. Razvod vazduha podsklopa za balansiranje

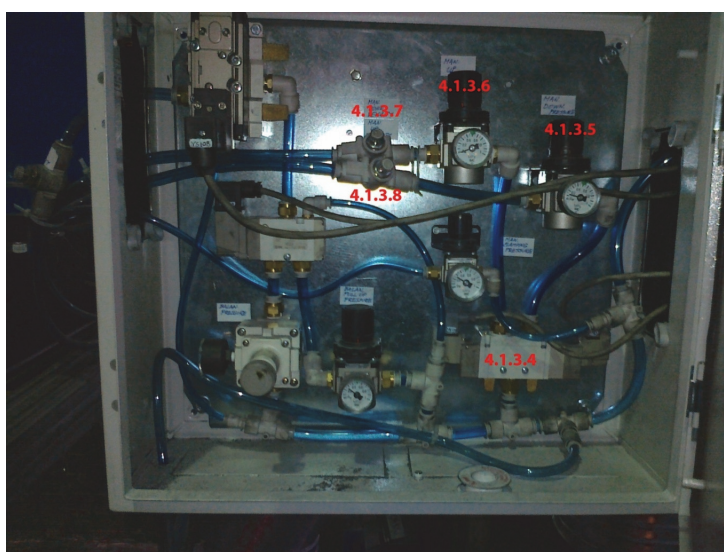
### Podsklop za obaranje

Podsklop za obaranje dovodi manipulator u horizontalni položaj.



Slika 2.114. Podsklop za obaranje

Pneumatski cilindri 4.1.3.1 preko uležištenja 4.1.3.2 i 4.1.3.3 dovode manipulator u horizontalni položaj. Kontrola kretanja cilindra 4.1.3.1, se vrši preko ventila sa 2 špulne 4.1.3.4. Ventil je tipa 5/3. Da bi se manipulator doveo u horizontalni položaj, klipnjača cilindra mora da se izvuče. Da bi se manipulator doveo u vertikalni položaj, klipnjača cilindra mora da se uvuče. Regulator pritiska 4.1.3.5 reguliše silu potrebnu da bi se manipulator doveo u horizontalni položaj, a regulator pritiska 4.1.3.6 reguliše silu potrebnu da bi se manipulator doveo u vertikalni položaj. Ventil 4.1.3.7 kontroliše brzinu dovođenja manipulatora u horizontalni položaj. Ventil 4.1.3.8 kontroliše brzinu dovođenja manipulatora u vertikalni položaj. Beskontaktni prekidač 4.1.3.9 šalje povratnu informaciju PLCu, da je manipulator u horizontalnom položaju. Beskontaktni prekidač 4.1.3.10 šalje povratnu informaciju PLCu, da je manipulator u vertikalnom položaju (slika 2.114 i 2.115).



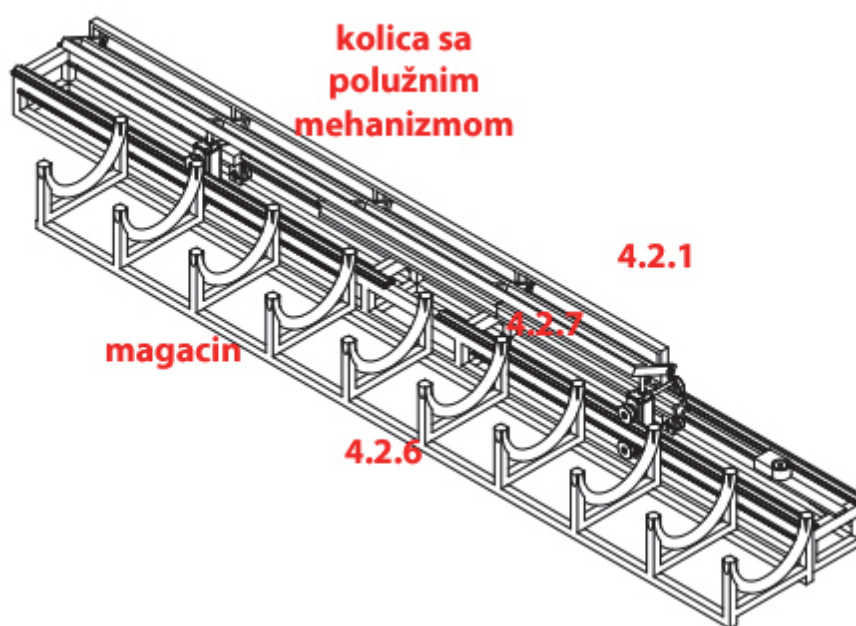
Slika 2.115. Razvod vazduha podsklopa za obaranje manipulatora

### Transporter

Transporter preuzima profil od manipulatora, kada manipulator dođe u horizontalni položaj. Kad se manipulator dovede u horizontalni položaj, kolica transportera se dovode u prednji krajnji položaj sa polužnim mehanizmom podignutim u krajnji gornji položaj. Pošto manipulator oslobodi profil I on padne na polužni mehanizam, kolica se vraćaju u zadnju krajnju tačku, polužni mehanizam se spušta u donju krajnju tačku I profil pada u magacin. Horizontalno kretanje kolica je obezbeđeno preko para pneumatskih cilindara 4.2.1. Za kontrolu kretanja kolica koristi se ventil 4.2.2.

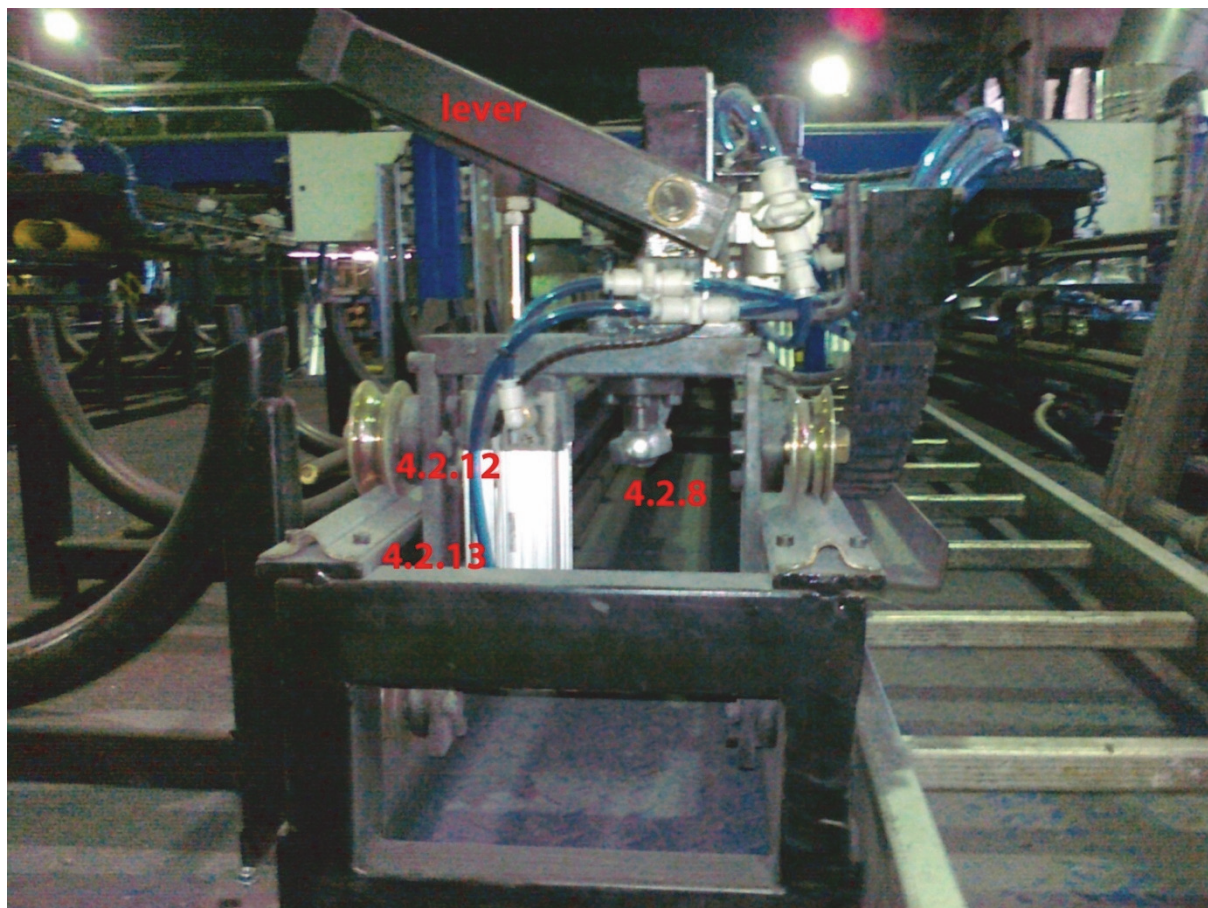
Regulator pritiska 4.2.3 reguliše silu potrebu za horizontalno kretanje kolica. Ventil 4.2.4 reguliše brzinu kretanja kolica u prednju krajnju tačku. Ventil 4.2.45 reguliše brzinu kretanja kolica u zadnju krajnju tačku. Beskontaktni prekidač 4.2.6 šalje povratnu informaciju PLCu, 116 adu kolica u prednjem krajnjem položaju. Beskontaktni prekidač 4.2.7 šalje povratnu informaciju PLCu, 116 adu kolica u prednjem krajnjem položaju. Podizanje I spuštanje polužnog mehanizma je obezbeđeno putem para pneumatskih cilindara 4.2.8. Za kontrolu kretanja polužnog mehanizma, koristi se ventil 4.2.9. Ventil 4.2.10. reguliše brzinu kretanja polužnog mehanizma na gore. Ventil 4.2.11. reguliše brzinu kretanja polužnog mehanizma.

Beskontaktni prekidač 4.2.12 šalje povratnu informaciju PLCu, da je mehanizam u gornjem položaju. Beskontaktni prekidač 4.2.13 šalje povratnu informaciju PLCu, da je mehanizam u donjem položaju (slika 2.116, 2.117 i 2.118).

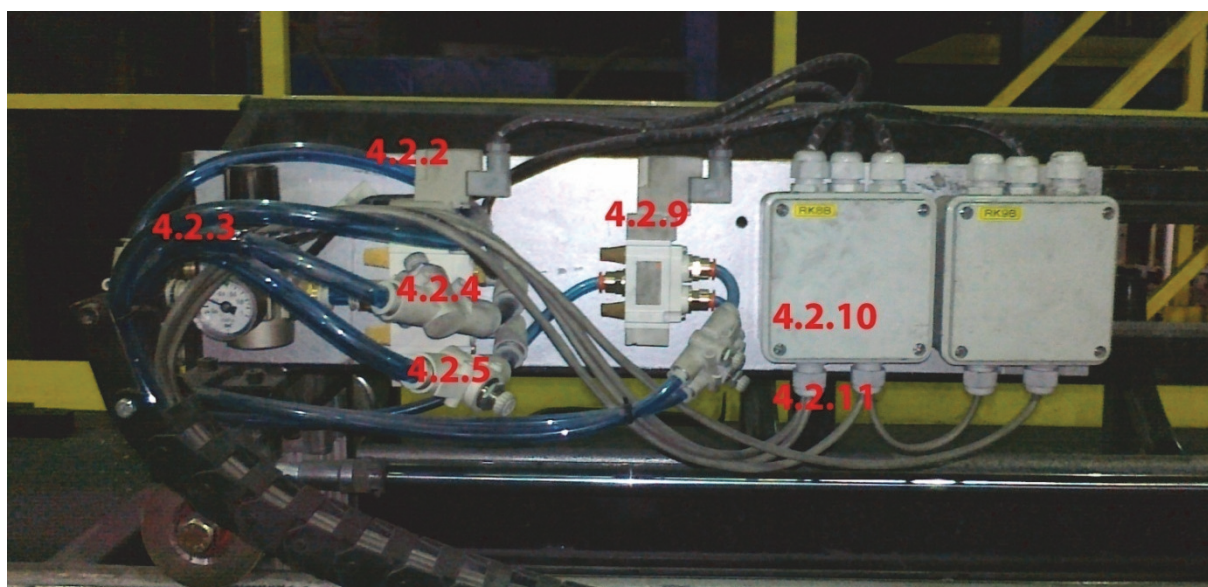


Slika 2.116. Transporter





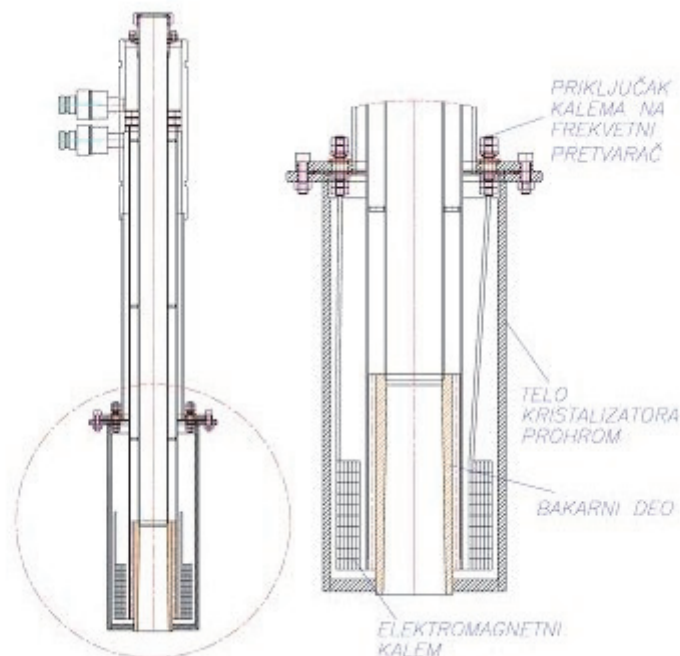
Slika 2.117. Transporter, pogled sa prednje strane



Slika 2.118. Razvod vazduha za transporter

### 2.3.2. Elektromagnetni kristalizator

Konstrukcija elektromagnetnog kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje, prikazana je na slici 2.119.



Slika. 2.119. Elektromagnetni kristalizator

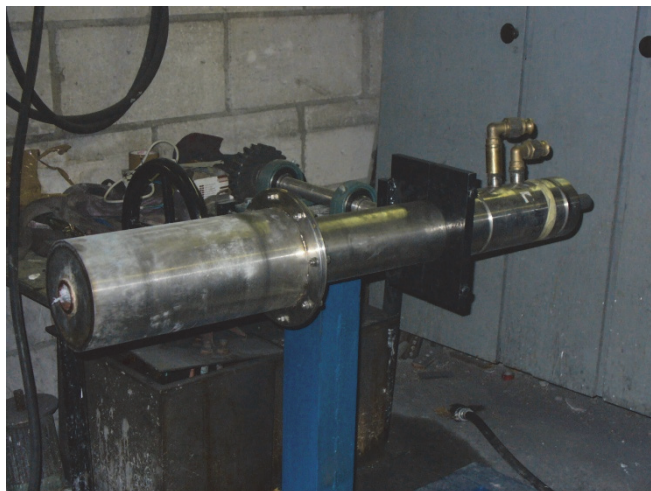
Osnovni delovi kristalizatora su telo kristalizatora, bakarni deo u koji se montira grafitna kokila i elektromagnetni kalem. Telo kristalizatora je izrađeno od nerđajućeg čelika. Voda za hlađenje ulazi u gornjoj zoni kristalizatora (prvi ulaz gledano s vrha) prolazi kroz prstenasti poprečni presek, kao što je prikazano na slici 2.115, prolazi između rebara bakarnog dela kristalizatora, na kraju rebara se kroz specijalne otvore penje ponovo na gore hladeći elektromagnetni kalem. Na izlazu iz komore u kojoj je smešten kalem, ponovo ulazi u prstenasti poprečni presek i penje se do vrha gde (kroz donji otvor gledajući sa vrha) napušta kristalizator. Konstrukcija bakarnog dela je urađena kao orebreni cilindar kako bi se povećala površina hlađenja vodom, sa konusnim otvorom za montažu grafitne kokile, sa nagibom od 1 stepena.

Elektromagnetni kalem je konstruisan tako da se hladi istom vodom kao i bakarni deo kristalizatora. Konstruisan je za rad sa naponom od 50V, i frekvencom od 8 do 50 Hz. Povezan je sa frekventnim pretvaračem preko izvoda za kontakte, kao što je prikazano na slici 2.115.

Svi uzorci, korišćeni u ovom radu u eksperimentalnim istraživanjima, uzeti su pri procesu vertikalnog kontinualnog livenja na gore, na ovakvoj konstrukciji elektromagnetnog kristalizatora.

### **2.3.3. Montaža kristalizatora za verikalno kontinualno livenje na gore**

Montaža kristalizatora za verikalno kontinualno livenje u vis obavlja se na nosaču kristalizatora, koji je konstruisan tako da omogući promenu položaja kristalizatora u procesu montaže i time olakša rad montažeru. Kristalizator ima masu 45 kg i dugačak je 1200 mm (slika 2.120 i slika 21.21).



**Slika 2.120.** Nosač kristalizatora



**Slika 2.121.** Nosač kristalizatora, pogled sa čela

Nakon postavljanja kristalizatora na nosač kristalizatora, priključuje se na vodu i ručnu pumpu (slika 2.122), gde se ispituje 10 minuta na pritisku 10 bara. Provera na pritisak je neophodna pri svakoj montaži zbog opasnosti curenja vode koja može izazvati eksploziju u toku procesa livenja.





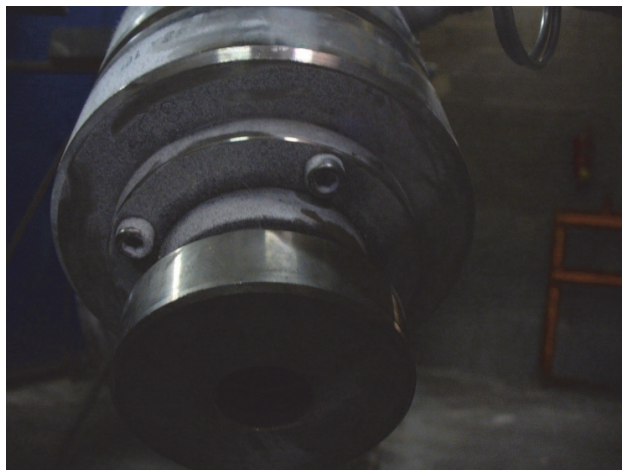
**Slika 2.122.** Provera kristalizatora na pritisak

Posle provere na pritisak, pristupa se montaži grafitne kokile. Kristalizator se priključuje na toplu vodu, temperature oko 85 °C i čeka se dok se bakarni deo kristalizatora ne zagreje na temperaturu veću od 65 °C kada se pristupa montaži grafitne kokile (slika 2.123).



**Slika 2.123.** Montaža grafitne kokile

Posle montaže grafitne kokile, cela dužina kristalizatora se puni odgovarajućim grafitnim čaurama koje se na kraju pritežu maticom (slika 2.124).



**Slika 2.124.** Punjenje kristalizatora sa grafitnim čaurama

Nakon montaže grafitne kokile i grafitnih čaura za sekundarno hlađenje, kristalizator se skida sa grejanja toplom vodom i postavlja u vertikalni položaj da se na njega montira zaštitna betonska čaura koja ga štiti od hemijskog uticaja rastopljenog metala i visoke temperature (slika 2.125, slika 2.126).



**Slika 2.125.** Betonska zaštitna čaura



**Slika 2.126.** Montaža betonske čaure za kristalizator

Zazor između betonske čaure i kristalizatora se popunjava suvim peskom a između betona i grafitne kokile se nabija vlažna izolaciona masa, na kraju se betonska čaura premazuje zaštitnim premazom napravljenim na bazi amonijumoksida (slika 2.127).



**Slika 2.127.** Zaštita betonske čaure premazom na bazi amonijum oksida

#### **2.3.4. Proces proizvodnje zaštitne čaure za kristalizator**

U toku razvoja nove tehnologije za vertikalno kontinualno livenje posebna pažnja je posvećena razvoju zaštitne betonske čaure za kristalizator. Pošto je zadatak bio veoma specifičan jer kod ove tehnologije nivo rastopljenog metala nije konstantan već varira do 150 mm, bilo je potrebno napraviti izolacionu čauru koja treba da izdrži velike temperaturne šokove, da nereaguje sa rastopljenim metalom i da ima dobre izolacione karakteristike. Zbog veoma obimnih istraživanja u ovom radu biće predstavljena samo finalna čaura koja se koristi u proizvodnji.

Za izradu čaure koristi se beton «CALDE CAST MC 45 S40» 15,00kr i 1,2 litra vode. Prvo se beton izmeša na suvo pa se doda voda i nakon dobrog mešanja sipa u metalni kalup postavljen na vibro stolu (slika 2.128)



**Slika. 2.128.** Vibro sto



Posle ispune metalnog kalupa betonom, beton se u kalupu ostavlja 12 sati da se suši uz stalno kvašenje vodom. Posle sušenja betonska čaura se vadi iz metalnog kalupa (slika 2.129.) i stavlja u posudu sa vodom gde stoji još 24 časa.



**Slika 2.129.** Betonska čaura

Nakon stajanja 24 časa betonske čaure u posudi sa vodom, ona se vadi iz vode i još 24 časa suši na vazduhu, a zatim se stavlja u peć gde se po specijalnom dijagramu zagrevanja do 600 °C suši. Prilikom sušenja u peći betonska čaura je u metalnoj kaseti prekrivena peskom a na vrhu kasete slojem od 30 mm mlevenog grafita (slika 2.130 i 2.131).



**Slika 2.130.** Sušenje betonske čaure

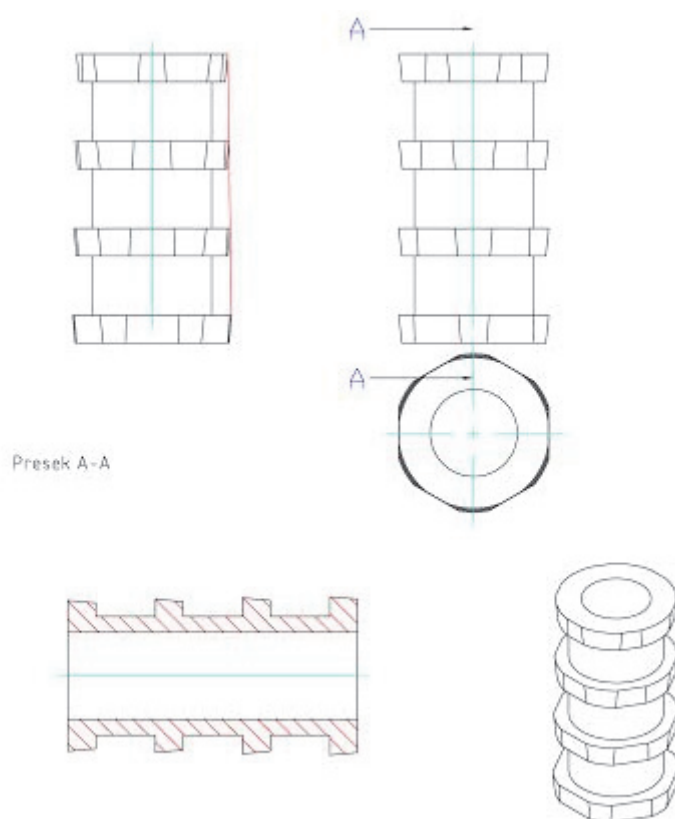


**Slika 2.131.** Prekrivanje grafitom betonske čaure

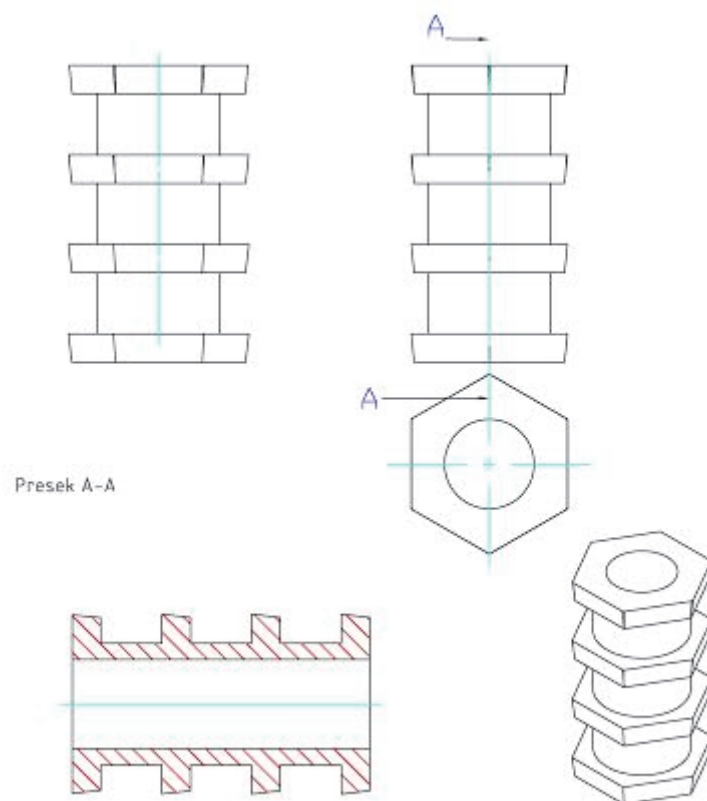
Nakon termičke obrade u peći, betonska čaura je spremna za eksploataciju.

## 2.4. Izrada grafitnih kokila

Za izradu grafitnih kokila za kontinualno livenje, najčešće se koriste provlakači. Da bi se unutrašnja mera grafitne kokile uradila na potrebnu meru, kada se izračuna skupljanje metala za poprečni presek koji nije okrugao najlakši i najbrži način je obrada grafita korišćenjem provlakača. Na slikama 2.132.133, 2.136, 2.137, 2.138 i 2.139 prikazani su provlakači za izradu grafitnih kokila za livenje šestougonaog, osmougonaog i rebrastog poprečnog preseka, prvi i zadnji u setu. U zavisnosti od dimenzije i kvaliteta obrade, pravi se set provlakača od najmanje 3 do 6 komada. Polazi se od kružnog preseka a završava se sa traženom dimenzijom. Poslednji provlakač se radi sa najmanjim stepenom skidanja površine između zuba, najčešće 0,05 mm.



**Slika 2.132.** Provlakač za izradu grafitnih kokila za livenje odlivka šestougonaog poprečnog preseka, prvi u setu



**Slika. 2.133.** Provlakač za izradu grafitnih kokila za livenje odlivka šestougaoanog poprečnog preseka, zadnji u setu



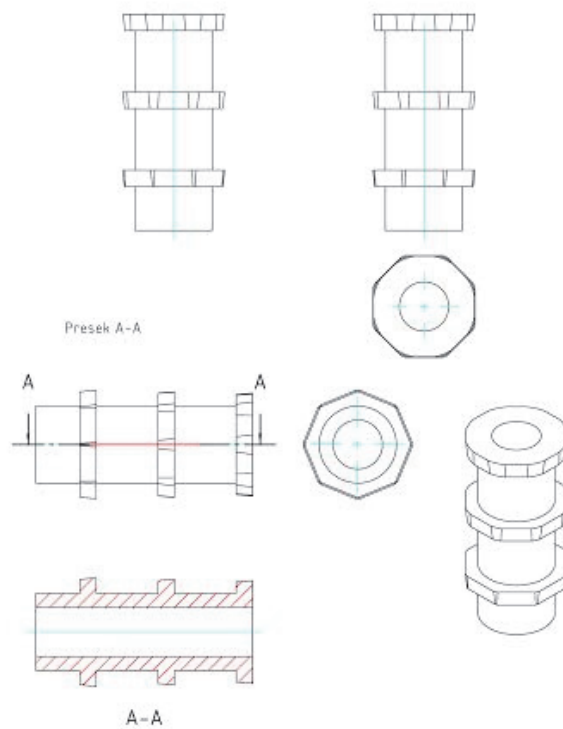
**Slika 2.134** Grafitna kokila za livenje punog šestougaoanog profila postupkom vertikalnog kontinualnog livenja na dole



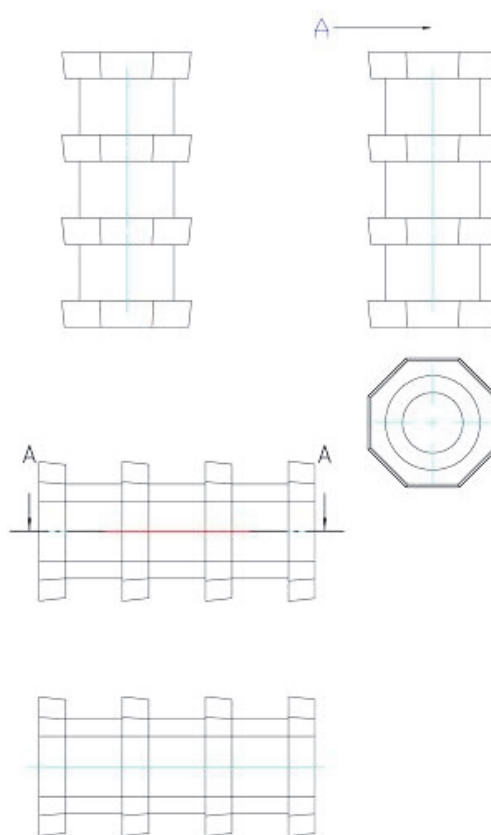
**Slika. 2.135.** Grafitna kokila za livenje šestougaone cevi, postupkom vertikalnog kontinualnog livenja na dole

Na slici 2.134 prikazana je grafitna kokile za vertikalno kontinualno livenje na dole za pun šestougaoni profil, neobrađena na finalnu meru za montažu u kristalizator. Zbog toga se na spoljnoj površini ne vide kanali za utopljavanje ivica koji se obavezno rade za livenje šestougaonih i osmougaonih profila. Bez izrade ovih kanala prilikom livenja biće grešaka kod popunjavanja ivica livenog profila.

Na slici 2.135 prikazana je grafitna kokila za verikalno kontinualno livenje na dole urađena na finalnu meru, gde se vide kanali za utopljavanje ivica. Izrada kokila za livenje osmougaonih punih i šupljih profila je indentična kao za šestougaone. Na slikama 2.136 i 2.137 prikazani su prvi i zadnji provlakač u setu, za izradu kokila, za livenje profila osmougaonih poprečnih preseka



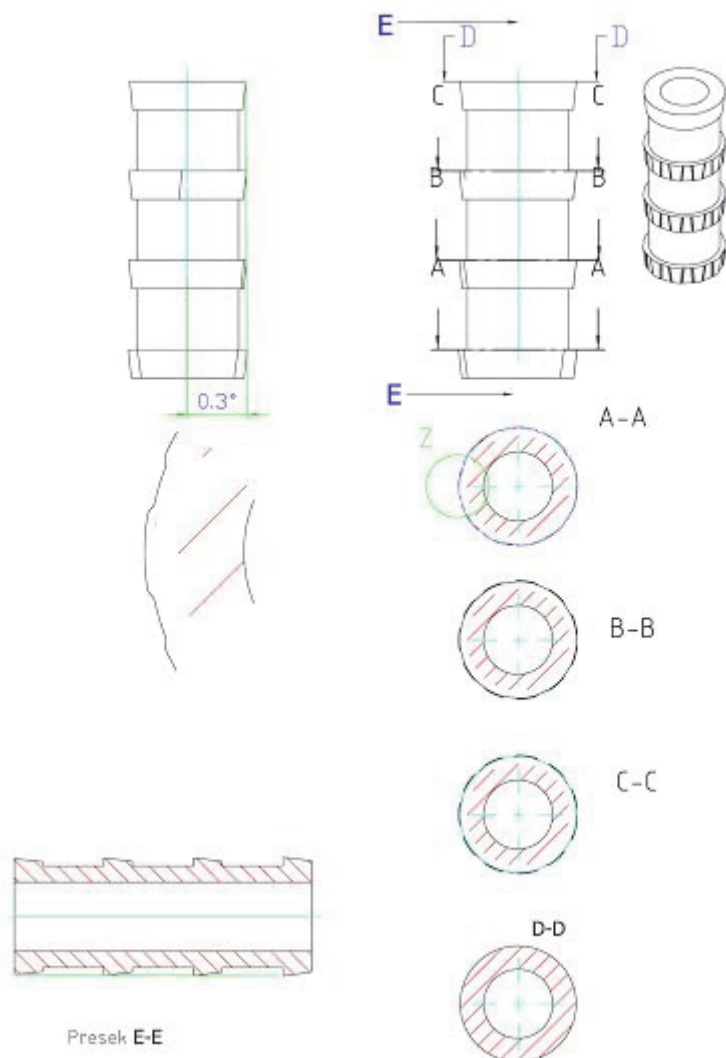
**Slika. 2.136.** Provlakač za izradu grafitnih kokila za livenje odlivka osmougaonog poprečnog preseka, prvi u setu



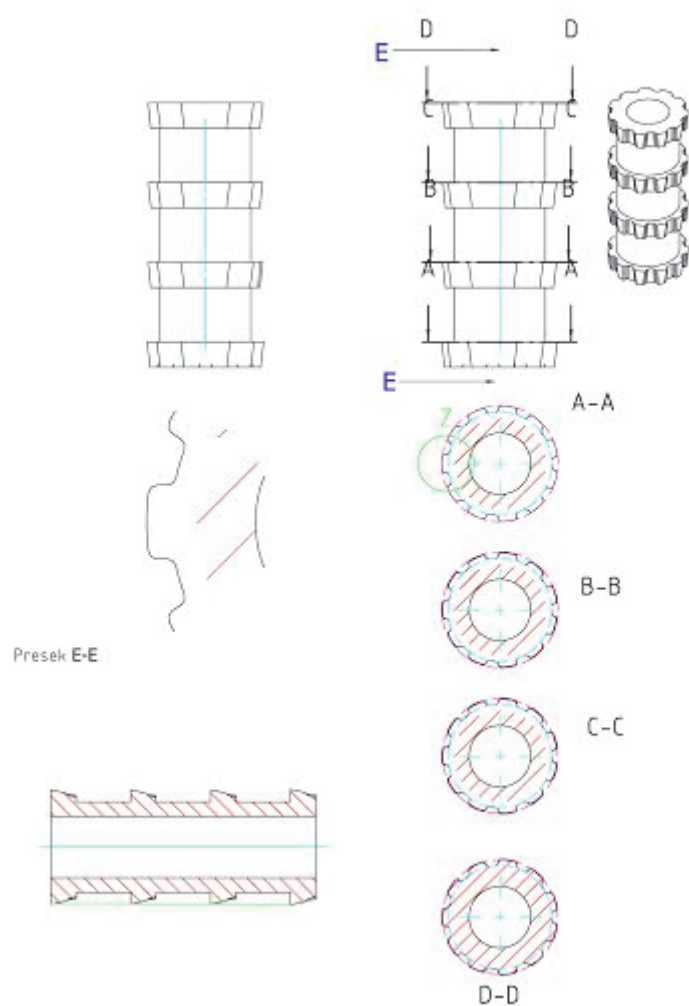
**Slika. 2.137.** Provlakač za izradu grafitnih kokila za livenje odlivka osmougaonog poprečnog preseka, zadnji u setu



Izrada kokila za livenje profila rebrastog poprečnog preseka je malo složenija samo zbog izrade alata (provlakača). Za ovakve profile najveći stepen obrade između zuba je 0,1mm i manje, a završni provlakač sa max 0,05mm. na slikama 2.138 i 2.139 prikazani su prvi zadnji provlakač u setu, za izradu grafitnih kokila, za livenje profila rebrastih poprečnih preseka.

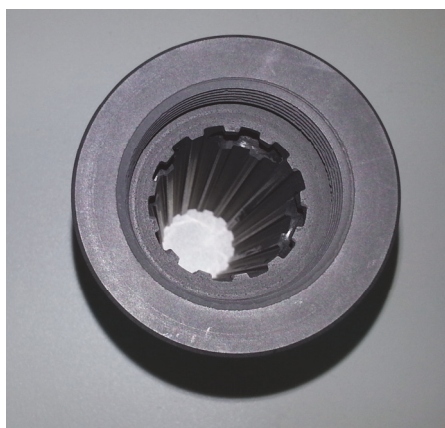


**Slika. 2.138.** Provlakač za izradu grafitnih kokila za livenje odlivka rebrastog poprečnog preseka, prvi u setu



**Slika 2.139.** Provlakač za izradu grafitnih kokila za livenje odlivka rebrastog poprečnog preseka, prvi u setu

Na slici 2.140 prikazana je grafitna kokila obrađena na predmere za ugradnju u kristalizator, sa urađenom unutrašnjom obradom rebrastog profila koji se lije

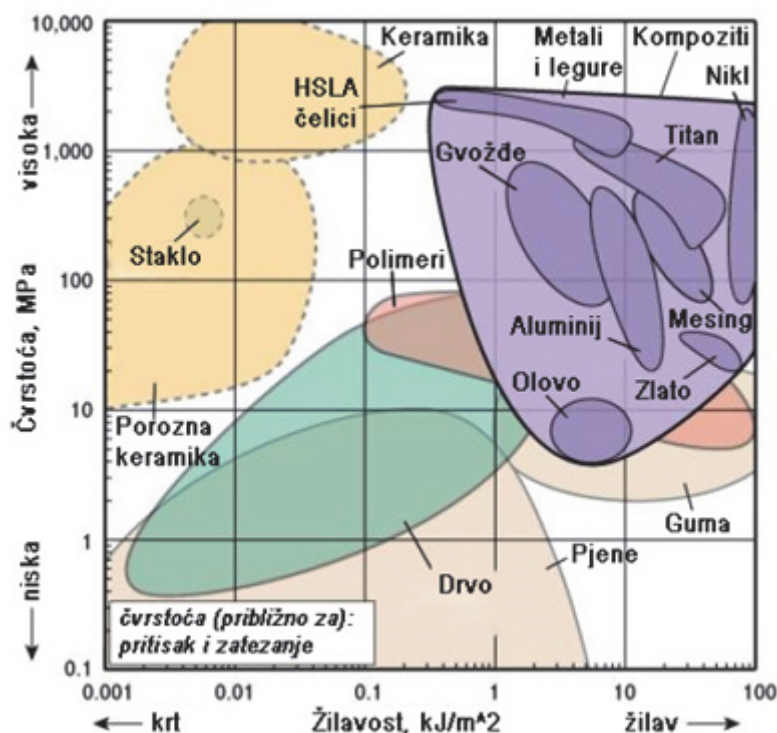


**Slika 2.140.** Grafitna kokila za livenje profila rebrastih poprečnih preseka

### 3. REZULTATI ISPITIVANJA

Zajednička i glavna osobina materijala koji se koriste u mašinstvu je **čvrstoća** kojom se oni suprotstavljaju dejstvu sila. Stoga se zaključak o promenljivosti nekog materijala kao mašinskog materijala zasniva najčešće na njegovim osobinama čvrstoće. Ispitivanja koja se odnose na određivanje pojedinih osobina čvrstoće (**mehaničke osobine**) imaju najširu primenu, tako da tzv. mehanička ispitivanja materijala imaju daleko najveću važnost u izučavanju mašinskih materijala. Cilj kod ovakvih ispitivanja je da se kod materijala od kojeg se izrađuju predmeti za određenu svrhu, pod dejstvom opterećenja, sličnog kakvo će podneti u svom u radu, pronađu granične karakteristike.

Da bi se izvršio pravilan izbor materijala za izradu određenog mašinskog elementa ili konstrukcije neophodno je dakle zadovoljiti niz zahteva. Jedan od načina izbora materijala, primenjujući zahteve za različitim osobina je upotrebom tzv. izbornih karata, slika 3.1 (danas dostupne putem različitih komercijalnih softverskih paketa).



**Slika 3.1.** Primer izborne karte (kombinacija osobina: čvrstoća – žilavost) (Nondestructive Testing Encyclopedia)

Metoda koje se koriste za merenje mehaničkih svojstva materijala biraju se u zavisno od svojstva koja se žele ispitivati. Ispitivanja se mogu podeliti na:

- Ispitivanja mehaničkih svojstva: čvrstoća, žilavost, statička i dinamička izdržljivost.
- Ispitivanja tehnoloških svojstava: zavarljivost, livenje, mašinska obrada itd.

- Ispitivanja metodama razaranja, uzorak se razara i nije više upotrebljiv.
- Ispitivanja metodama bez razaranja, uzorak se ne razara te se ovi postupci mogu

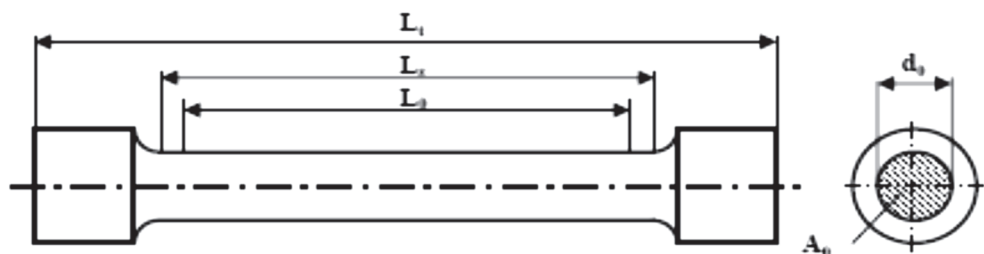
primeniti na delovima koji će se i dalje upotrebljavati (Y. Ijiri i dr., 1988). Najčešće metode ispitivanja bez razaranja su: radiografija, ultrazvučna, magnetska i penetrirajuća metoda, različite optičke metode itd.

Čvrstoća je otpor materijala protiv deformacije i loma ili sposobnost materijala da podnosi naprezanja koja su prouzrokovana spoljnim silama. Pored čvrstoće važna svojstva za konstrukcione materijale su savitljivost, tvrdoća i žilavost

### 3.1. Ispitivanje materijala zatezanjem

Ovo je najvažnija i najčešće upotrebljena metoda ispitivanja materijala u oblasti livenja (Designing Aluminium Bronze Castings, 1983). Meri se otpor materijala prema statičkim, konstantnim silama, koja izazivaju zatezna naprezanja u materijalu. Princip se sastoji u tome da se opteretiti epruveta, koja se pod delovanjem sila razvuče sve do kidanja. Za vreme opterećenja konstantno se mere sile koje deluju na epruvetu i njeno izduženje. Ovim ispitivanjima mogu se dobiti podaci o čvrstoći i savitljivosti materijala.

Pri testiranju se koriste standardni uzorci napravljeni od materijala koji će se ispitivati. Oblik uzoraka može varirati, ali najčešće se upotrebljavaju okrugli uzorci s dužinom  $L_0$ , koja je 10 ili 15 prečnika  $d$ , slika 3.2. Postupak proizvodnje i dimenzije epruvete su standardizovani.



**Slika 3.2.** Epruveta za ispitivanje,  $d_0$  je početni prečnik epruvete,  $A_0$  je početna poprečna površina,  $L_0$  početna,  $L_t$  ukupna, a  $L_s$  stvarna dužina epruvete.

Epruveta se čvrsto pritegne u specijalnu opremu, koja ima hidraulički pogon, a naziva se kidalica, (zbog toga što obično ispitivanje završava kidanjem epruvete). Na slici 3.2 prikazana je univerzalna kidalica. Regulacijom hidrauličkog pritiska reguliše se i opterećenje epruvete, a time i brzina istezanja.



Slika 3.3. Univerzalna kidalica

Kidalica ima posebne uređaje, koji automatski registruju podatke. Sila  $F$  se konstantno meri, a ekstenziometrom se određuju izduženja  $\Delta l$ , koja zavise od veličine sile  $F$ . Deljenjem sile  $F$  sa površinom preseka epruvete pre ispitivanja  $A_0$ , dobija se napon ili naprezanje u materijalu  $\sigma$ , koje odgovara sili:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad A_0 = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_n = \frac{l - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} 100\% \text{ uzdužna deformacija} \quad (3.2)$$

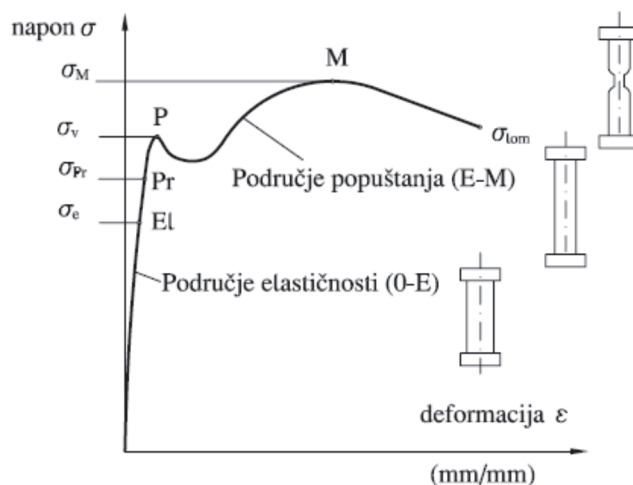
$$\varepsilon_n = \frac{d - d_0}{d_0} 100\% = \frac{\Delta d}{d_0} 100\% \text{ poprečna deformacija} \quad (3.3)$$

$$\mu = -\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_n} \text{ Poissonov koeficijent} \quad (3.4)$$

$$\sigma_n = E \varepsilon_n \text{ E je modul elastičnosti} \quad (3.5)$$

Na slici 3.4 prikazan je Hukov dijagram, koji napon materijala daje u funkciji deformacije. Područje elastičnosti je do granice elastičnosti  $\sigma_i$  iza koje postoji područje proporcionalnosti do  $\sigma_p$  (Dulieu-Barton, J.M., 1999; Byrd, L.W., i dr., 2000; Mandić, G., 2006; Nowinski, J.L., 1978; Galietti, U., i dr., 2000). Zona plastičnosti se nalazi između  $\sigma_p$  i  $\sigma_v$ . U najvišoj tački dijagrama M definisana je granica čvrstoće  $\sigma_M$ . U trenutku loma delovao je napon loma  $\sigma_{lom}$ .



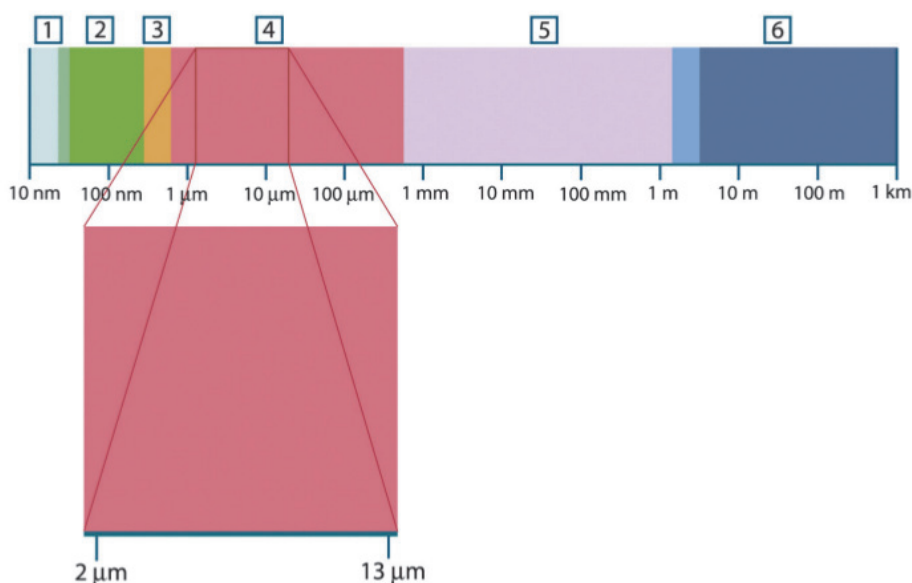


Slika 3.4. Dijagram deformacija-naprezanje

Na slici 3.4 pokazan je dijagram za mekani čelik. Apscisa na dijagramu pokazuje deformacije  $\epsilon$  u procentima, a ordinata napon  $\sigma$ .

### 3.2. Teorija termografije

Elektromagnetni spektar se proizvoljno deli na određeni broj opsega talasnih dužina, uvažavajući metode koje se koriste za otkrivanje zračenja. Ne postoji fundamentalna razlika između zračenja u različitim opsezima elektromagnetnog spektra. Svi su regulisani istim zakonima i jedine razlike su razlike u talasnim dužinama.



Slika 3.5. Elektromagnetni spektar. 1: rendgen; 2: UV; 3: vidljivi; 4: infra-crveni; 5: mikrotalasi; 6: radiotalasi (DG001U-E Photometry Form)

Termografija koristi infracrveni spektralni opseg. Pri kraju kratkotalasnih dužina granica se nalazi na granici vizualne percepcije, u duboko crvenom. Na dugotalasnim dužinama kraj se stapa sa mikrotalasima radiotalasnih dužina, u milimetarskom opsegu (ThermaCAM™ Researcherm, 2006).

Infracrveni opseg se često dalje deli na četiri manja opsega, čije su granice takođe proizvoljno odabrane. Oni uključuju: blisko infracrveni (0.75–3 μm), srednje infracrveni (3–6 μm), daleko infracrveni (6–15 μm) i ekstremno infracrveni (15–100μm). Iako su talasne dužine date u μm (mikrometrima), često se u ovom spektralnom regionu koriste i nanometar (nm) i angstrom (Ångström (Å)).

Odnos između različitih merenja talasnih dužina je:

$$10000 \text{ \AA} = 1000 \text{ nm} = 1 \mu = 1 \mu\text{m} \quad (3.6)$$

### **3.2.1. Zračenje crnog tela**

Crno telo se definiše kao objekat koji apsorbuje sva zračenja koja padnu na njega, bilo koje talasne dužine. Konstrukcija izvora crnog tela je u principu vrlo jednostavna. Zračenje karakteriše otvor u izotermnoj šupljini napravljenom od neprozirnog apsorbujućeg materijala, što gotovo tačno predstavlja osobine crnog tela. Praktična primena principa izrade savršenog apsorbera zračenja se sastoji od kutije koja je svetlosno nepropusna, osim jednog otvora na jednoj od strana. Svako zračenje koje ulazi kroz otvor se rasipa i apsorbuje putem ponovljenih refleksija, tako da samo beskrajno mali deo može eventualno da izađe. Tama koja se dobija na otvoru je skoro jednaka crnom telu.

Obezbeđujući takvu izotermnu šupljinu sa odgovarajućim grejačem, dobija se takozvana radijator šupljina. Izotermna šupljina se zagreva do uniformne temperature generisanja zračenja crnog tela. Takvi šupljina radijatori se koriste najčešće kao izvori zračenja u temperaturnim referentnim standardima u laboratorijama za kalibraciju termografičkih instrumenata, kao što je na primer FLIR sistem kamera.

Ako se temperatura zračenja crnog tela poveća na više od 525 °C (977 °F), izvor počinje da bude vidljiv, tako da oku više ne izgleda da je crn. Ovo je početak temperature usijanja radijatora, koji tada postaje narandžast ili žut kako se temperatura dalje povećava. Zapravo, definicija takozvane temperature boje nekog objekta je temperatura na kojoj će crno telo morati da se greje da bi dobilo isti takav izgled.

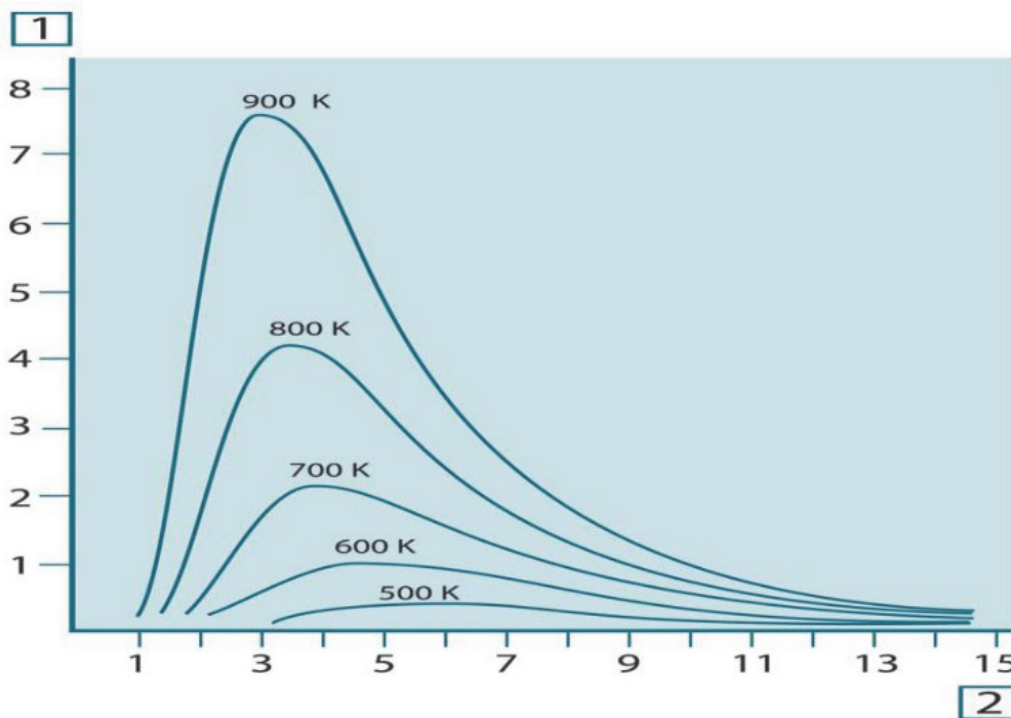
Maks Plank (1858-1947) je opisao spektralne raspodele zračenja crnog tela pomoću sledeće formule:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\lambda kT} - 1)} \times 10^{-6} [W/m^2 \mu m] \quad (3.7)$$

gde je:

$W_{\lambda b}$	Spektralna emisivnost crnog tela na talasnoj dužini $\lambda$
c	Brzina svetlosti = $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
h	Plankova konstanta = $6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$
k	Bolcmanova konstanta = $1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
T	Apsolutna temperatura (K) crnog tela
$\lambda$	Talasna dužina ( $\mu\text{m}$ )

Kada se Plankova formula grafički prikaže za različite temperature, daje familiju krivih. Prateći bilo koju Plankovu krivu posebno, spektralno emitovanje je nula na  $\lambda = 0$ , potom rapidno raste do maksimuma na maksimalnoj talasnoj dužini  $\lambda_{max}$  i nakon prolaska se približava nuli ponovo na veoma dugim talasnim dužinama (slika 3.6). Viša temperatura, kraća talasna dužina na kojoj se javlja maksimum (Flir, DG001U-E Photometry Form).



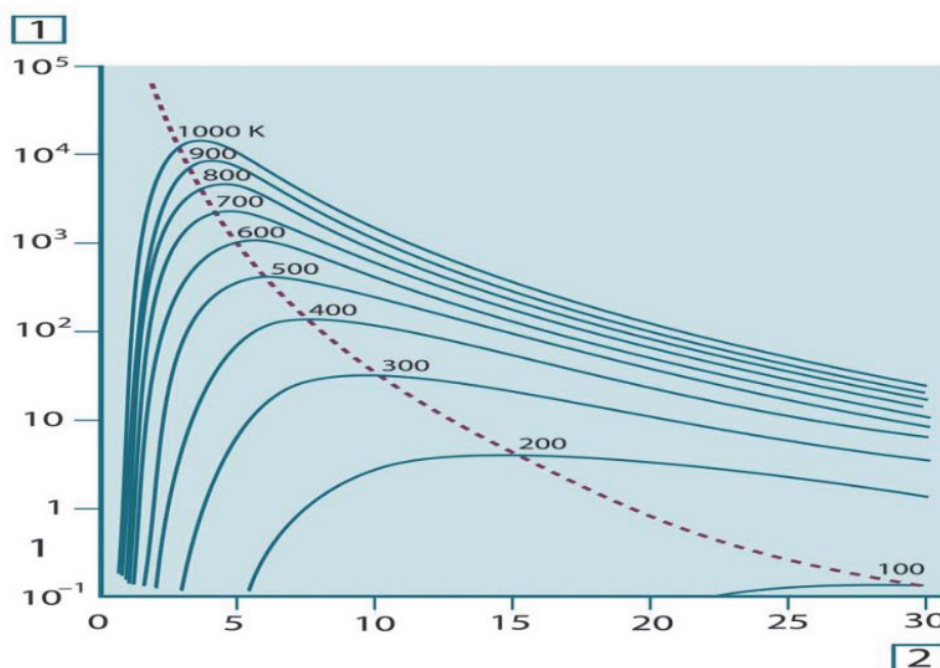
**Slika 3.6.** Spektralna radijacija crnog tela prema Plankovom zakonu, prikazano za razne apsolutne temperature. 1: Spektralna emisivnost; 2: Talasna dužina ( $\mu\text{m}$ ) (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

Diferenciranjem Plankove formule po  $\lambda$ , i pronalaženjem maksimuma, dobijamo:

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}] \quad (3.8)$$

Ovo je Vienova formula (Wilhelm Wien, 1864–1928), koja izražava zapažanje da boje variraju od crvene ka narandžastoj, ili žutoj kako se temperatura u termičkom radiatoru povećava. Talasna dužina boje je ista kao i talasna dužina izračunata za. Dobra aproksimacija vrednosti za datu temperaturu crnog tela dobija se primenom praktičnog pravila  $3000/T \mu\text{m}$ . Dakle, vrlo topla zvezda kao što je Sirijus (11 000 K), emituje plavičasto-belu svetlost talasne dužine  $0.27 \mu\text{m}$ . Sunce (oko 6 000 K) emituje žutu svetlost, sa vrhom krive na oko  $0.5 \mu\text{m}$  u sredini vidljivog spektra svetlosti.

Na sobnoj temperaturi (300 K) vrh emitovanja radijacije se nalazi na  $9.7 \mu\text{m}$  u dalekom infracrvenom, dok je na temperaturi tečnog azota (77 K) maksimum gotovo beznačajan iznos, emitovanje se javlja na  $38 \mu\text{m}$  u ekstremno infracrvenim talasnim dužinama.



**Slika 3.7.** Plankove krive nacrtane na polu-logaritamskoj skali od 100K do 1000K. Isprekidana linija predstavlja fokus maksimalnog zračenja na svakoj temperaturi. 1: spektralna emisivnost ( $W/cm^2(\mu\text{m})$ ); 2: talasna dužina ( $\mu\text{m}$ ) (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

Integracijom Plankove formule od  $\lambda=0$  do  $\lambda=\infty$ , dobijamo ukupno zračenje ( $W_b$ ) crnog tela:

$$W_b = \sigma T^4 [W/m^2] \quad (3.9)$$

Ovo je Štefan-Bolcmanova formula (Josef Stefan, 1835–1893, Ludwig Boltzmann, 1844–1906) koja navodi da je ukupna emitovana snaga crnog tela proporcionalna četvrtom stepenu apsolutne temperature. Grafički,  $W_b$  predstavlja površinu ispod Plankove krive za određenu temperaturu. Može se pokazati da je zračenje u intervalu od  $\lambda=0$  do  $\lambda_{max}$  samo 25% od ukupnog, što je iznos zračenja sunca koje se nalazi unutar vidljivog spektra svetlosti.

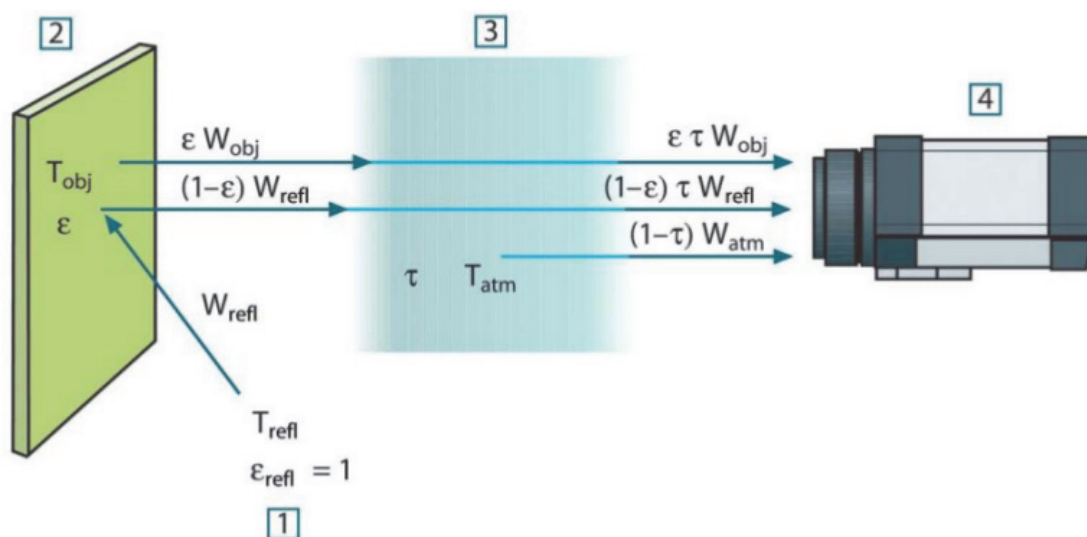
Korišćenjem Štefan-Bolcmanove formule za izračunavanje snage koju zrači ljudsko telo, na temperaturi 300K i na približnoj površini  $2m^2$ , dobijamo 1 kW.

### 3.2.2. Merna formula

Pri pregledu nekog objekta kamerom, uređaj ne prima samo zračenje samog objekta. Sakuplja se i zračenje iz okoline koje se reflektuje preko površine objekta. Na oba ova zračenja utiče treće zračenje koje dolazi iz same atmosfere.

Opis merne situacije kao što je prikazano na slici 3.8, približno odgovara opisu realnih uslova. Ono što bi moglo da bude zanemareno je recimo rasejanje sunčevog svetla u atmosferi ili zalutalo zračenje iz intenzivnih izvora zračenja koje je izvan vidljivog polja. Takve smetnje je teško kvantifikovati, međutim, u većini slučajeva one su dovoljno male da mogu biti zanemarene.

Može se koristiti slika 3.8 da bi se kreirala formula za temperaturu objekta iz kalibrisanog izlaza kamere.



**Slika 3.8.** Šematski prikaz opšte situacije termografičkog merenja. 1: Okolina; 2: Objekat; 3: Atmosfera; 4: Kamera (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

Pretpostavimo da je primljeno zračenje snage  $W$  za izvor crnog tela temperature  $T_{izvora}$  na kratkom rastojanju, generisalo izlazni signal  $U_{izvora}$  na kameri, koji je proporcionalan ulaznoj snazi. Možemo napisati:

$$U_{izvora} = CW(T_{izvora}) \quad (3.10)$$

ili skraćeno  $U_{izvora} = CW$ , gde je  $C$  konstanta.

Ukoliko bi izvor bio sivo telo sa emisivnošću  $\epsilon$ , primljeno zračenje bi bilo samim tim  $\epsilon W_{izvora}$ .

1 - emisija iz objekta  $= \epsilon \tau W_{objekta}$ , gde je  $\epsilon$  emisivnost objekta, a  $\tau$  je prozračnost atmosfere. Temperatura objekta je  $T_{obj}$ .

2 - reflektovana emisija iz okoline izvora  $= (1 - \epsilon) \tau W_{refl}$ , gde je  $(1 - \epsilon)$  koeficijent refleksije objekta. Izvori ambijenta imaju temperaturu  $T_{refl}$ . Ovde se pretpostavlja da je



temperatura  $T_{refl}$  ista za sve emitujuće površine u okviru polusfere vidljive iz tačke sa površine objekta. Ovo je naravno pojednostavljeno u odnosu na realne situacije, ali je potrebno kako bi se izvela funkcionalna formula i dobila vrednost  $T_{refl}$ , koja bar teorijski predstavlja efikasnu temperaturu kompleksne okoline.

3 – emisija iz atmosfere =  $(1 - \tau)\tau W_{atm}$ , gde je  $(1 - \tau)$  emisivnost atmosfere. Temperatura atmosfere je  $T_{atm}$ .

Ukupna snaga primljenog zračenja se može napisati kao:

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)\tau W_{atm} \quad (3.11)$$

Množenjem svakog člana sa konstantom C i zamenom proizvoda CW sa odgovarajućim U, dobijamo:

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)\tau U_{atm} \quad (3.12)$$

a rešenje jednačine za:

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} - \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{(1-\tau)}{\tau} U_{atm} \quad (3.13)$$

Ovo je opšta merna formula koja se koristi u svim FLIR sistemima termografske opreme.

### **3.2.3. Termografske tehnike merenja**

Infracrvene kamere mere i slikaju emitovano infracrveno zračenje od nekog objekta. Činjenica da je zračenje funkcija temperature površine objekta omogućava da kamera izračuna i prikaže ovu temperaturu. Međutim, izmereno zračenje kamerom ne zavisi samo od temperature objekta već je takođe funkcija emisivnosti. Zračenje takođe potiče iz okoline i od refleksije sa objekta. Zračenje sa objekta i reflektovano zračenje će takođe biti pod uticajem apsorpcije u atmosferi. Za tačnost merene temperature je zato potrebno da se nadoknadi efekat velikog broja različitih izvora zračenja.

To se radi automatski on-line sa kamerom, koja mora imati poznate sledeće parametre objekta:

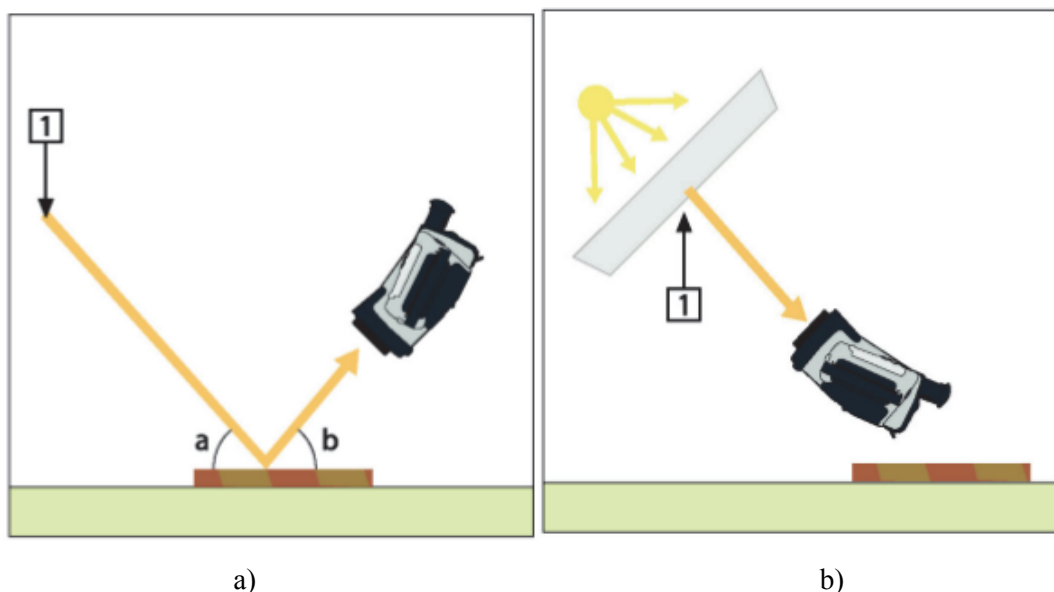
- emisivnost objekta
- reflektovanu temperaturu
- rastojanje između objekta i kamere
- relativnu vlažnost

Najvažniji parametar objekta je emisivnost, koja zapravo predstavlja meru koliko se emituje zračenja sa objekta u odnosu na savršeno crno telo na istoj temperaturi. Normalno, materijali objekta i tretmani površine pokazuju emisivnost u rasponu približno od 0,1 do 0,95. Visoko polirane (ogledalo) površine padaju ispod 0,1, dok oksidirane i obojene površine imaju veću emisivnost. Uljane boje, bez obzira na boju u vidljivom spektru, imaju emisivnost preko

0,9 u infracrvenom. Ljudska koža pokazuje emisivnost od 0,97 do 0,98.

Neoksidni metali predstavljaju ekstremni slučaj savršene neprozirnosti i visoke refleksivnosti, koja ne varira sa talasnom dužinom. Shodno tome, emisivnost metala je niska, a jedino se povećava sa povećanjem temperature. Za nemetale je emisivnost velika a smanjuje se sa porastom temperature.

Za određivanje reflektujuće temperature, može se koristiti direktna ili reflektor metoda. Direktna metoda je prikazana na slici 3.9.

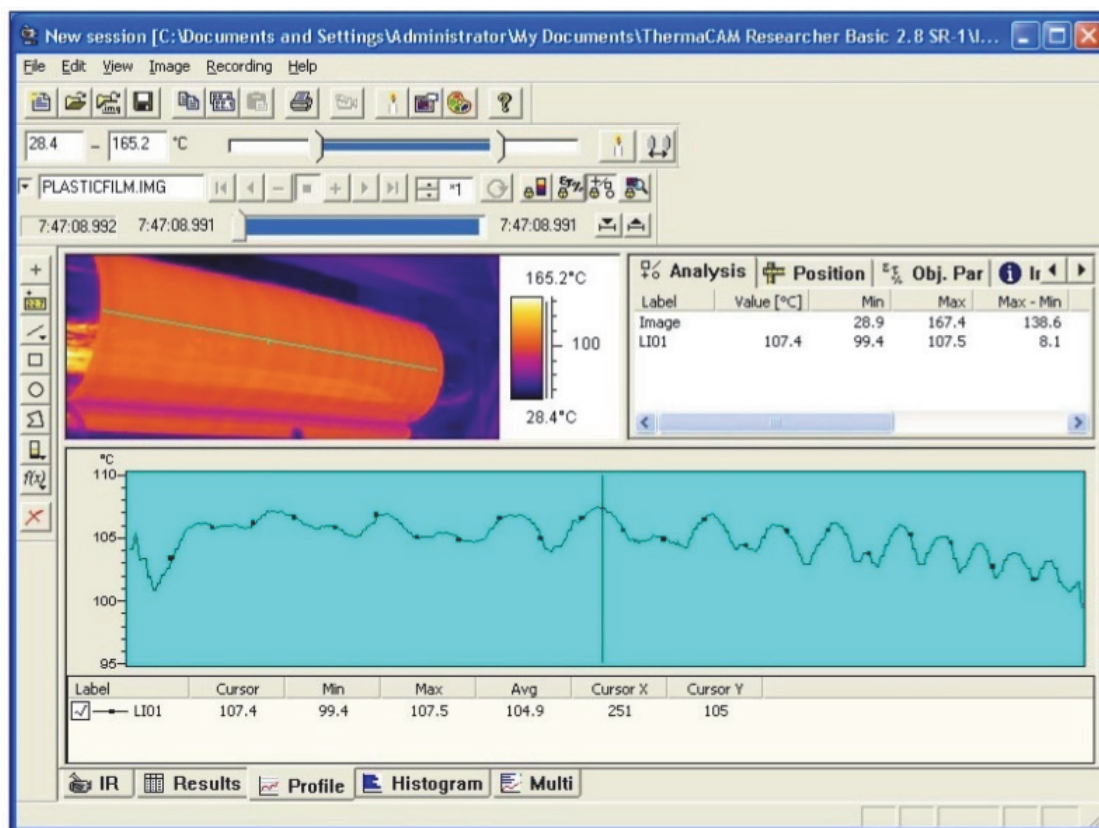


**Slika 3.9.** Prikaz direktne metode: a) izgled moguće refleksije izvora u slučaju da je upadni ugao jednak odbojnom ( $a = b$ ); b) ometanje izvora sa parčeto kartona u slučaju ako je reflektovani izvor u obliku tačke. (1 = reflektovani izvor) (ThermaCAM™ Researcher, 2006)

### 3.3. Osnovni principi ThermaCAM™ Researcher programa

Glavni cilj programa ThermaCAM™ Researcher je obrada IR snimaka dobijenih kamerom. Program takođe može da primi IR snimke sa drugih medija, kao što su memorijske kartice. Program može da prikazuje termalne događaje velikom/srednjom/malom brzinom, a sve u zavisnosti konfiguracije hardvera. Može da prikaže IR snimke, da ih snimi na disk i potom analizira tokom repriziranja. Merenja se vrše sa sledećim alatima za analizu: izoterma, spotmetar, površina i linija. Rezultati mogu biti prikazani u okviru IR snimka u profilnom prozoru, u prozoru histograma, u prozoru tabele rezultata. Formule se mogu primeniti na rezultate.

Takođe se mogu proslediti informacije iz ThermaCAM™ Researcher pomoću OLE objekata (što zapravo predstavlja automatski način za prenos podataka između programa koji rade pod Windows operativnim sistemom) u recimo MS Excel ili MS Word. Na isti način mogu biti prenošene i IR slike.



**Slika 3.10.** Izgled glavnog prozora programa ThermoCAM™ Researcher Pro 2.8 (ThermoCAM™ Researcher, 2006)

Postoji nekoliko dostupnih rasporeda glavnog prozora (slika 3.10). Oni se kontrolišu karticama u donjem delu ThermoCAM™ Researcher prozora. Moguće je videti kombinacije IR snimka, profila, histograma, grafika i prozora sa tabelom rezultata. Sve kartice imaju IR sliku sa temperaturnom skalom u gornjem levom uglu.

Nije moguće pomerati prozore u okviru kartica, ali se može uhvatiti i pomerati traka koja razdvaja prozore, čime se povećavali smanjuje veličina svakog prozora posebno.

Glavni izgled programa je veoma sličan kao bilo koji drugi Windows program. U gornjem redu glavnog prozora programa postoji naslov koji sadrži ime sesije. Ispod naslova je skup padajućeg menija, kojim se lako biraju funkcije datoteka, izmena, pregleda, kamere, prikazivanje i analiza snimka i snimanje/reprodukcija snimaka. Tu je i veliki broj dugmadi u traci sa alatima. Postoji traka sa dugmadima za skoro svaku funkciju programa. Svaka traka ima kratak žuti opis koji će se pojaviti zadržavanjem kursora miša na vrhu. Trake sa alatima su obično usidrene na granicama prozora programa, ali se može pomerati i postaviti bilo gde na ekranu, samo je potrebno dva puta kliknuti na njih.

Na dnu programskog prozora se nalazi statusna linija, sa više detalja i opisom stavki preko kojih se prelazi kursom miša. Desno od ove statusne linije se nalazi indikator statusa interfejsa i statusa kamere. Klikom na interfejs i kamera indikator, dobijaju se dodatne informacije o njima.



**Slika 3.11.** Standardna traka sa alatima (ThermaCAM™ Researcher, 2006)

Sa leva na desno (slika 3.11):

- Kreirajte novu sesiju.
- Otvorite postojeću sesiju.
- Otvoriti/dodati snimke u tekuću sesiju.
- Sačuvaj trenutnu sesiju koristeći aktuelno ime.



**Slika 3.12.** Nastavak standardne trake sa alatima (ThermaCAM™ Researcher, 2006)

Sa leva na desno (slika 3.12):

- Kopiranje datoteke u sesiju i trenutne slike na ostavu.
- Kopiranje vrednosti, kao što su analiza rezultata, kao tekst u ostavu.
- Nalepite kopiranu sesiju u ThermaCAM™ Researcher. Ime sesije nije nalepljeno.
- Štampanje aktuelne slike.



**Slika 3.13.** Nastavak standardne trake sa alatima (ThermaCAM™ Researcher, 2006)

Sa leva na desno (slika 3.13):

- Biranje diska kao izvor snimaka.
- Biranje kamere kao izvor snimaka.
- Pomeranje fokusa kamere prema beskonačnosti.
- Autofokus kamere.
- Pomeranje fokusa kamere prema objektivu.
- Uključivanje funkcije automatskog podešavanja obima slike.
- Zamrzavanje uživo snimka iz kamere.
- Otvoriti dijalog postavki snimka.
- Otvoriti dijalog selektovane palete.



Slika 3.14. Alatkke kontrole snimka (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

Sa leva na desno (slika 3.14):

- Prikaz drugog reda: uključeno/isključeno
- Ime na trenutnog snimka. Možete da otkucate ime ili broj u ovoj oblasti.
- 7 video kontrola stilizovanih tastera. Stop je u sredini.
- Kontrola kojom se reguliše brzina reprize.
  - \* 1 znači puna brzinu sa diska
  - \* 2 znači dvostruko puna brzina diska (tj. svaka druga slika se ne prikazuje)
  - ÷ 2 znači pola od pune brzine
- Dugme za automatsko premotavanje.
- Zaključavanje obima temperature.
- Zaključavanje parametara objekta.
- Zaključavanje alatke analize.
- Zaključavanje faktora uvećanja.

Tasteri za zaključavanje će, kada su pritisnuti, omogućavati da se zadrži isti obim temperature/parametara objekta/alati analize/faktor uvećanja, za sve snimke koji se ponavljaju, bez obzira što se to ne čuva unutar snimka.

Drugi red:

- Vreme trenutnog snimka/okvir/trig broj
- Vreme prvog snimka/okvir/trig broj
- Klizač. Brzo pomeranje u okviru snimka. Prva slika je sa leve strane.
- Vreme poslednje slike/okvir/trig broj.
- Izbor početka.
- Izbor kraja.

Početak je uvek levo od kraja. Klizač će istaći izabranu oblast unutar sekvence sa plavom bojom.



Slika 3.15. Alatkke za analizu (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)



Postojeće alatke za analizu (slika 3.15):

- Svetlomer
- Leteći Svetlomer. Koristi kursor miša.
- Linija, sa kursorom.
- Oblast okvira.
- Oblast kruga.
- Poligon.
- Izoterma (iznad, ispod, interval).
- Formule.
- Alat za uklanjanje.



**Slika 3.16.**Alatke za skaliranje (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

Sa leva na desno (slika 3.16):

- Polje razmere maksimalne temperature. Izmenljivo.
- Polje razmere minimalne temperature. Izmenljivo.
- Indikator trenutne merne jedinice.
- Klizač za razmeru maksimalne i minimalne temperature. Povlači se mišem, minimalna je sa leve strane.
- Automatsko podešavanje razmere snimka: uključeno/isključeno.
- Zaključavanje: uključeno/isključeno. Promene se odnose samo na nivo.

### **3.3.1. Prikazivanje IR snimka**

Da bi se dobila dobra slika iz kamere, najpre treba uspostaviti vezu, izabrati odgovarajući opseg merenja i automatski ga podesiti. Bez obzira da li je slika uživo, zamrznuti snimak, ili snimak sa diska, prvo treba razmotriti parametre objekta, kao što su emisivnost, reflektovana temperatura, temperatura atmosfere, relativnu vlažnost vazduha i udaljenost.

Ovi parametri opisuju fizičke osobine tela i atmosfere između objekta i kamere. Mogu se podešavati u Image meniju, pod karticom Settings. Važno je da ovi parametri budu ispravno podešeni jer će u suprotnom razmera temperature i prikazane boje biti pogrešne.

Razmera temperature se može podesiti na kontrolnoj traci koja je prikazana na slici 3.16. Mogu se koristiti klizači za pretragu odgovarajuće razmere ili postaviti fiksne granice. Maksimalna temperatura mora biti uvek veća od minimalne i nalazi se sa desne strane. U polja

za unos temperature se mogu uneti vrednosti i tako postaviti važeće granice.

Ako je potrebno da se snimak prikaže u programu koji nije namenjen za IR snimke, mogu se koristiti OLE (Object Linking and Embedding) objekti da bi bila vidljiva. Prenos IR snimka pomoću OLE može se izvršiti preko Copy sesije ili komandama koje se nalaze u Edit meniju.

### ***3.3.2. Merenje pojedinačnog snimka***

Ponekad je dovoljno samo pogledati IR snimak i dobiti određene podatke merenja. Mogu se uočiti anomalije, topla ili hladna mesta, i dobiti utisak o temperaturi jednostavnim poređenjem boje sa onom na skali temperature. Izborom odgovarajuće razmere i palete, takvi zaključci se mogu sasvim lako doneti.

Pored ovog vizuelnog pregleda temperature, alatke za analizu služe za numeričko dobijanje temperature i statističkih informacija jednog snimka. Rezultati će biti prikazani u vidu tabele, grafika, profila ili histograma. Rezultati su takođe dostupni preko OLE objekta. Ovom analizom možemo dobiti apsolutno merenje (rezultat je realna temperatura), ali isto tako i relativno merenje (rezultat je razlika temperatura). Relativna merenja se vrše u odnosu na neku referentnu temperaturu, koja se može podesiti u dijalogu Image Settings, na karici parametara objekta. Ovde je važno napomenuti da relativno merenje nije dostupno svim modelima kamera i da alatke za analizu mogu raditi i sa živim snimcima ali i sa snimljenim (<http://flir.custhelp.com>).

### ***3.3.3. Alat izoterme***

Izoterma je marker u infracrvenom snimku koji ističe područja gde je zračenje iz objekta jednako. Izoterma podrazumeva da su istaknute jednake temperature, ali to je slučaj samo kada je emisivnost objekta ista po celom snimku. Postoji pet tipova izoterme u programu ThermaCAM™ Researcher. Najčešće se koristi interval izoterma, koja naglašava interval temperature u određenoj širini.

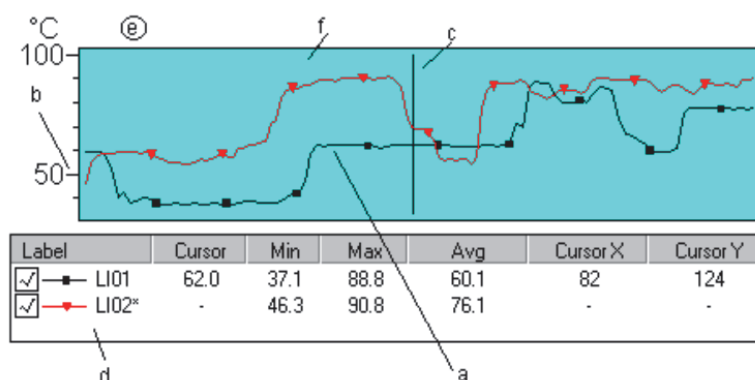
Širina se može podešavati po izboru. Tu postoji marker u skali sa bojom koji ukazuje na položaj izoterme.

Izoterme se mogu posmatrati i u providnom režimu, i tada je najbolje koristiti sivu paletu zbog toga što je izoterma uvek predstavljena na snimku sa crvenom za gore, zelena za interval i plava za ispod. Ako se prikazuju dve izoterme iste vrste, onda će najnovija biti prikazana žutom bojom. Moguće je promeniti nivo izoterme, nakon njenog kreiranja. Sa levim tasterom miša se uhvati nivo u skali boje i jednostavno se prevuče na željeno mesto.

### ***3.3.4. Proučavanje temperaturnih profila***

Temperaturni profili su korisni kada se želi ilustrovati promena temperature preko ili pored objekta u snimku. Samo je potrebno postaviti liniju na sliku i prebaciti se na prozor profila, kako bi profil bio vidljiv. Ispod grafika postoji tabela u kojoj se mogu dobiti interesantne informacije o svakoj liniji. Ako je potrebno promeniti način na koji su prikazani profili, to se može postići u dijalogu Settings, koji je dostupan na desnom kliku miša u vrhu profila. Skala profila je uobičajeno povezana za skalom IR snimka, ali se može podesiti da bude nezavisna ili

automatska. Primer jednog temperaturnog profila je prikazan na slici 3.17.

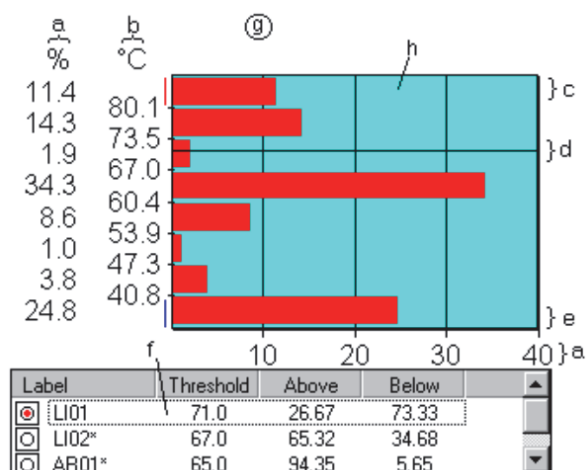


**Slika 3.17.** Primer temperaturnog profila: a) profil; b) skala temperature; c) linija kursora; d) tabela profila; e) oblast grafikona; f) plot oblast (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

### 3.3.5. Proučavanje raspodele temperature

Najlakši način da se proceni distribucija temperature unutar oblasti ili duž linije na snimku je osvrtno na histogram, koji prikazuje koliko je površina/linije zauzeto od strane odgovarajućeg temperaturnog intervala. Postavi se površina ili linija na snimak i prebaci se na prozor histograma. Ispod grafikona postoji tabela u kojoj se može izabrati koji alat za analizu se prikazuje. Primer histograma je dat na slici 3.18.

U Settings dijalogu se mogu podesiti broj klasa intervala ili gornja i donja granica histograma. Dozvoljeni broj klasa je od 2 do 64. Skala histograma je povezana sa IR skalom snimka, ali se može podesiti i drugačije. Promena skale, međutim, ne menja granice klasa intervala koje su uvek utvrđene trenutnom skalom IR snimka.<sup>1</sup>



**Slika 3.18.** Primer histograma: a) procentualna vrednost za svaku klasu; b) granice klase temperature; c) gornja klasa, obeležena crvenom linijom po klasi; d) indikator praga; e) donja klasa, obeležena plavom linijom po skali; f) tabela histograma, ukazuje na aktivni histogram; g) oblast grafikona; h) plot oblast (ThermaCAM™ Researcherm, 2006)

### 3.4. Nelinearna strukturalna analiza primenom metode konačnih elemenata

U složenom postupku istraživanja mogućnosti primene termografije kao nove, efikasne metode, uvedene sa ciljem optimizacije dijagnostičkih tehnika, neophodno je, osim eksperimentalnih, koristiti i metode numeričke analize. Obzirom da su u fokusu interesovanja disertacije termografija i njena primena u dijagnostici ponašanje materijala i konstrukcija pri statičkim i dinamičkim opterećenjima, u ovom delu disertacije biće reči o primeni metode konačnih elemenata u modelovanju i simulaciji određenih faza eksperimenta.

#### 3.4.1. Uvodne napomene

Metod konačnih elemenata (MKE) predstavlja efikasnu i pouzdanu numeričku proceduru za modelovanje kako linearnih tako i nelinearnih ponašanja materijala i konstrukcija. Danas su razvijeni softverski paketi poput MSC/Nastran, Patran, Fatigue, ANSYS, kao i niz drugih kojima je moguće simulirati ponašanje većine inženjerskih problema u područjima statike i dinamike konstrukcija.

Osnovna pažnja, u poglavlju, je usmerena na uspostavljanje potrebnih relacija za numeričku analizu nelinearnog kontinuuma pod dejstvom statičkog opterećenja. Problem koji se ovde razmatra prvenstveno se odnosi na nelinearnu analizu uz elastično ponašanje materijala. Primena linearne analize u proračunima čvrstoće konstrukcija, pretpostavlja da su njena pomeranja infinitesimalna i da je materijal linearno elastičan. Uz to se pretpostavlja da priroda graničnih uslova ostaje nepromenjena pod dejstvom opterećenja. Pod ovim pretpostavkama, izvedene su konvencionalne ravnotežne jednačine MKE u linearnoj analizi, oblika:

$$KU = R \quad (3.14)$$

gde su:

K- matrica krutosti sistema,

U - vektor pomeranja i

R - vektor spoljnog opterećenja.

Za ovaj slučaj, uvek se javlja linearni odgovor strukture pod dejstvom spoljnog opterećenja. Ako to nije slučaj, tu je neophodna nelinearna strukturalna analiza (NSA). Od primarnog interesa u praktičnim proračunima konstrukcija su geometrijska i materijalna nelinearnost. Geometrijska nelinearnost znači da su pomeranja tako velika, da teorija malih pomeranja, koja važi kod linearne analize, nije primenljiva dok materijalna nelinearnost znači da ponašanje materijala nije ograničeno na elastično područje. Za matematičku formulaciju ovih problema nužno je primeniti inkrementalne teorije.

Formulacija inkrementalnih teorija počinje sa podelom kretanja (deformisanja) tela, pod dejstvom opterećenja, u veći broj ravnotežnih stanja  ${}^0C, {}^1C, \dots, {}^NC, {}^{(N+1)}C, \dots, {}^fC$  pri čemu su:  ${}^0C$  i  ${}^fC$  početno i konačno stanje deformacije respektivno, dok je  ${}^NC$  proizvoljno međustanje. Pri tome je pretpostavljeno da su sve promenljive za neko stanje, kao što su naponi, deformacije i pomeranja zajedno sa istorijom opterećenja, poznate sve do stanja  ${}^{(N+1)}C$ . Problem je znači da

se formuliše inkrementalna teorija za određivanje svih promenljivih u položaju (konfiguraciji)  $^{(N+1)}C$ , pod pretpostavkom da je konfiguracija  $^{(N+1)}C$  inkrementalno bliska stanju  $^N C$ , te da sve glavne jednačine mogu da se linearizuju u odnosu na inkrementalne veličine. Opisivanje procesa deformacije od stanja  $^N C$  do  $^{(N+1)}C$  je označeno (N+1)-tim korakom.

### **3.4.2. Inkrementalna formulacija osnovnih jednačina MKE**

Osnovni problem u opštem slučaju nelinearne analize odnosi se na određivanje stanja ravnoteže nekog tela u različitim konfiguracijama kroz koje telo prolazi u procesu deformisanja pod dejstvom spoljnog opterećenja. Da bi se opisalo opterećenje i kretanje tela, uvedene su tri konfiguracije: početna  $^0C$ , tekuća ili osnovna  $^1C$  i naknadna  $^2C$ , koja je na inkrementalno malom rastojanju od tekuće konfiguracije  $^1C$ .

Ovde se dalje posmatra kretanje tela u nepokretnom Kartezijском koordinatnom sistemu uz pretpostavku da telo može da se podvrgne velikim pomeranjima i rotacijama. Ako se umesto generalisanih pomeranja, za osnovne parametre u čvorovima usvoje inkrementi pomeranja, na način koji je uobičajen u MKE, dolazi se do inkrementalne formulacije osnovnih jednačina. Za razliku od jednačina ravnoteže sa parametrima pomeranja kao nepoznatim veličinama, koje su nelinearne, inkrementalne jednačine ravnoteže su linearne i u njima su nepoznati inkrementi pomeranja. Ove jednačine predstavljaju uslove ravnoteže na kraju inkrementa. Pri rešavanju nelinearnog problema, pretpostavlja se da je statičko-deformacijsko stanje na početku inkrementa poznato, pa se rešavanjem jednačina ravnoteže dolazi do uticaja na kraju inkrementa. Polazeći od početne (nedeformisane) konfiguracije razmatranog problema kao poznate, iz jednačine ravnoteže za prvi inkrement određuju se inkrementi pomeranja, a pomoću njih i naponsko-deformacijsko stanje na kraju ovog inkrementa. S ovim poznatim stanjem ulazi se u drugi inkrement, za koji se ponavlja prethodna procedura i analogno nastavlja kroz naredne korake redom, dok se ne dođe do konačne konfiguracije.

U zavisnosti od izbora konfiguracije koja se uzima za referentnu, početna  $^0C$  ili tekuća  $^1C$  u odnosu na koju se mere sve geometrijske i fizičke veličine, razlikuju se dve varijante Lagranževe formulacije: totalna (TL) i korigovana ili adaptivna (UL). Pošto se u radu koristi MKE na bazi pretpostavljenih pomeranja za numerička rešenja je korišćen princip virtualnih pomeranja kako bi se izrazili uslovi ravnoteže u konfiguraciji  $^2C$ . U ovim razmatranjima gornji levi indeks označava konfiguraciju (oblast) kojoj data fizička veličina pripada, dok donji indeks označava konfiguraciju u odnosu na koju se data veličina meri. Ovde će se detaljnije izložiti T.L formulacija jer kako je već pomenuto nema suštinske razlike u odnosu na U.L formulaciju. U T.L inkrementalnoj analizi ravnoteža tela se izražava u konfiguraciji (3.15), koristeći princip virtualnih pomeranja. Koristeći princip virtualnih pomeranja uslovi ravnoteže mogu da se prikažu u sledećem obliku:

$$\int_{^2V} {}^2\tau_{ij} \delta({}^2e_{ij})^2 dV = {}^2R \quad (3.15)$$



gde su:

${}^2\tau_{ij}$ - kartezijske komponente Košijevog tenzora napona u konfiguraciji  ${}^2C$  (Košijevi naponi se uvek referišu u odnosu na konfiguraciju u kojoj se oni i javljaju, pa se u tom slučaju može pisati  ${}^2\tau \equiv {}^2\tau_{ij}$ )

${}^2e_{ij}$ -kartezijske komponente infinitenzimalnog tenzora deformacije pri promeni konfiguracije od  ${}^1C$  do  ${}^2C$ ,

$\delta$  - označava varijaciju, odnosno:

$$\delta({}^2e_{ij}) = \delta \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \equiv \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \delta u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \delta u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.16)$$

$x_i$  - kartezijske koordinate u konfiguraciji  ${}^2C$ .

Odgovarajući virtualni rad spoljašnjeg opterećenja  ${}^2R$  može se izraziti u sledećem obliku:

$${}^2R = \int_{{}^2A} {}^2t_k \delta u_k dA + \int_{{}^2V} \rho {}^2f_k \delta u_k dV \quad (3.17)$$

Ovde  ${}^2t_k$  i  ${}^2f_k$  označavaju komponente spoljnih površinskih i zapreminskih sila, respektivno,  $\delta u_k$  je k-ta komponenta vektora virtualnog pomeranja, dok  $\delta {}^2e_{ij}$  označava virtualnu varijaciju deformacije. Elementi površine i zapremine  $dA$  i  $dV$  su u konfiguracijama naznačenim u integralima. Aproksimativna rešenja jedn. (3.15) mogu se dobiti ako se referišu (mere) sve promenljive u odnosu na prethodnu sračunatu poznatu konfiguraciju i linearizacijom ravnotežnih jednačina. Ovo rešenje se potom poboljšava iterativnim postupkom. Spoljne sile u jedn. (3.17) su određene koristeći:

$$\begin{aligned} {}^2t_k {}^2(dA) &= {}^o t_k {}^o(dA) \\ \rho {}^2f_k {}^2(dV) &= {}^o \rho {}^o f_k {}^o(dV) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Zapreminski integral proizvoda Košijevog napona i varijacije infinitenzimalne deformacije u jedn. (3.16) može se transformisati na oblik:

$$\int_{{}^2V} {}^2\tau_{ij} \delta {}^2e_{ij} dV = \int_{{}^oV} {}^oS_{ij} \delta {}^o\varepsilon_{ij} dV \quad (3.19)$$

gde su:

${}^oS_{ij}$  - kartezijske komponente Piola-Kirchoff-ovog tenzora napona druge vrste, koji odgovara konfiguraciji  ${}^2C$ , ali meren u konfiguraciji  ${}^oC$ ,

${}^o\varepsilon_{ij}$  - kartezijske komponente Green-Lagrange-ovog tenzora deformacije u konfiguraciji  ${}^2C$ , a meren u konfiguraciji  ${}^oC$ ,

${}^2C_i$  - komponente vektora pomeranja od konfiguracije  ${}^0C$  do  ${}^2C$ .

$$\begin{aligned} {}^1x_i &= {}^0x_i + {}^1u_i \\ {}^2x_i &= {}^0x_i + {}^2u_i \end{aligned} \quad (3.20)$$

ili ako predstavimo  ${}^2x_i$  preko  ${}^1x_i$  dobija se

$${}^2x_i = {}^0x_i + u_i \quad (3.21)$$

gde su:

$u_i$  - komponente inkrementa pomeranja, razlike pomeranja između konfiguracija  ${}^2C$  i  ${}^1C$ , tj.

$$u_i = {}^2u_i - {}^1u_i \quad (3.22)$$

Deformacija  ${}^2\varepsilon_{ij}$  definisana je u obliku:

$${}^2\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( {}^2u_{i,j} + {}^2u_{j,i} + {}^2u_{k,i} {}^2u_{k,j} \right) = \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (3.23)$$

Pošto su naponi  ${}^1S_{ij}$  i deformacije  ${}^2\varepsilon_{ij}$  nepoznate, koristi se sledeća inkrementalna dekompozicija:

$${}^2S_{ij} = {}^1S_{ij} + {}^0S_{ij} \quad (3.24)$$

$${}^2\varepsilon_{ij} = {}^1\varepsilon_{ij} + {}^0\varepsilon_{ij} \quad (3.25)$$

gde su:

${}^1S_{ij}$  i  ${}^1\varepsilon_{ij}$  poznati Piola-Kirchhoff-ovi naponi druge vrste i Green-Lagrange-ov tenzor deformacije u konfiguraciji  ${}^1C$ .

Koristeći izraz za Green-Lagrange-ov tenzor deformacije i relacije  ${}^2u_i = {}^1u_i + u_i$ , dobija se:

$${}^0\varepsilon_{ij} = {}^0e_{ij} + {}^0\eta_{ij} \quad (3.26)$$

gde su  ${}^0e_{ij}$  i  ${}^0\eta_{ij}$  linearni i nelinearni delovi inkrementalnih deformacija  ${}^0\varepsilon_{ij}$ ,

$${}^0e_{ij} = \frac{1}{2} \left( {}^0u_{i,j} + {}^0u_{j,i} + {}^1u_{k,i} {}^0u_{k,j} + {}^0u_{k,i} {}^1u_{k,j} \right) \quad (3.27)$$

$${}^o\eta_{ij} = \frac{1}{2} {}^o u_{k,i} {}^o u_{k,j} \quad , \quad (3.28)$$

dok je varijacija deformacije data kao:

$$\delta({}^o\epsilon_{ij}) = \delta {}^o\epsilon_{ij} + \delta {}^o\epsilon_{ij} \quad , \quad (3.29)$$

pošto je  ${}^o\epsilon_{ij}$  već poznato. Veza između inkremenata napona  ${}^o S_{ij}$  i deformacija ostvarena je preko konstitutivnog tenzora  ${}^o C_{ijrs}$ :

$${}^o S_{ij} = {}^o C_{ijrs} {}^o \epsilon_{rs} \quad (3.30)$$

Koristeći jednačine (3.18)–(3.30), može se jedn. (3.15) napisati u obliku:

$$\int_{{}^oV} {}^o C_{ijrs} {}^o \epsilon_{rs} \delta {}^o\epsilon_{ij} {}^o dV + \int_{{}^oV} {}^o S_{ij} \delta {}^o\eta_{ij} {}^o dV = {}^2R - \int_{{}^oV} {}^o S_{ij} \delta {}^o e_{ij} {}^o dV \quad , \quad (3.31)$$

koja predstavlja nelinearnu jednačinu ravnoteže sa inkrementalnim pomeranjima  $u_i$ . Rešenja jednačine (3.31) ne mogu se računati direktno pošto su one nelinearne po inkrementima pomeranja. Aproksimativna rešenja mogu se dobiti uz pretpostavku da je  ${}^o\epsilon_{ij} \cong {}^o e_{ij}$  u jedn. (3.31). Ovim je ustvari izvršena linearizacija jednačine (3.31). Ovo znači da uz korišćenje  $\delta {}^o\epsilon_{ij} = \delta {}^o e_{ij}$  je ujedno korišćena inkrementalna konstitutivna relacija u obliku:

$${}^o S_{ij} = {}^o C_{ijrs} {}^o e_{rs} \quad (3.32)$$

Konačno u TL formulaciji, aproksimirana jednačina koja treba da se reši i ima oblik:

$$\int_{{}^oV} {}^o C_{ijrs} {}^o e_{rs} \delta {}^o e_{ij} {}^o dV + \int_{{}^oV} {}^o S_{ij} \delta {}^o\eta_{ij} {}^o dV = {}^2R - \int_{{}^oV} {}^o S_{ij} \delta {}^o e_{ij} {}^o dV \quad (3.33)$$

Ovo je osnovna jednačina T.L inkrementalne formulacije. Ova linearna jednačina predstavlja polaznu osnovu za primenu MKE u analizi geometrijski nelinearnih problema.

Za slučaj korigovane Lagranžove formulacije (U.L), ponavlja se sličan postupak. Tako bi se osnovni koraci sastojali u sledećem:

#### i. ) Jednačine ravnoteže

$$\int_{{}^1V} ({}^1S_{ij} + {}^1S_{ij}) \delta {}^1\epsilon_{ij} {}^1 dV = {}^2R \quad (3.34)$$

gde su:

$$\delta_1^2 \varepsilon_{ij} = \delta_1 \varepsilon_{ij} = \delta \frac{1}{2} ({}_1u_{i,j} + {}_1u_{j,i} + {}_1u_{k,i} u_{k,j}) \quad (3.35)$$

## ii.) Linearizovane jednačine ravnoteže

$$\int_V {}_1C_{ijrs} e_{rs} \delta_1 e_{ij} dV + \int_V {}_1\tau_{ij} \delta_1 \eta_{ij} dV = {}_2R - \int_V {}_1\tau_{ij} \delta_1 e_{ij} dV \quad (3.36)$$

uz sledeće zavisnosti:

$$\begin{aligned} {}_1S_{ij} &= {}_1C_{ijrs} e_{rs} \\ \delta_1 \varepsilon_{ij} &\approx \delta_1 e_{ij} \\ {}_1S_{ij} &\equiv {}_1\tau_{ij} \end{aligned} \quad (3.37)$$

Sledeći korak je diskretizacija jednačina (3.33) i (3.36) konačnim elementima, pri čemu će ona biti ilustrovana za T.L formulaciju, tj. za jednačinu (3.33).

### 3.4.3. Diskretizacija kontinuuma konačnim elementima

Prethodno izvedene jednačine odnose se na kontinuum, pa stoga podrazumevaju beskonačan broj stepeni slobode u realnoj strukturi. Zbog nemogućnosti rešavanja ovih jednačina u opštem obliku, upućeni smo na korišćenje približnih metoda, koje podrazumevaju prevođenje tačnih izraza, na oblik koji opisuje kontinuum preko konačnog broja diskretnih tačaka (čvorova) i odgovarajućih interpolacionih funkcija.

U osnovi je postupak izvođenja konačnih elemenata praktično isti kao u linearnoj analizi, a podrazumeva uvođenje interpolacionih funkcija za približno određivanje koordinata i pomeranja unutar elementa. Primenom principa virtualnih pomeranja za kontinuum, diskretizovan u konačne elemente, dobijaju se jednačine ravnoteže elemenata i konstrukcije.

Linearizovane jednačine (3.34) i (3.36) Lagrange-ove inkrementalne formulacije (T.L i U.L) predstavljaju polaznu osnovu MKE analizi geometrijski nelinearnih problema. Kao što je već pomenuto za dobijanje odgovarajućih algebarskih jednačina primenjuje se standardna procedura MKE. Formulacija MKE se najčešće bazira na izoparametarskoj formulaciji, gde se koordinate pojedinih tačaka u elementu  $x_i$  i komponente pomeranja  ${}^1u_i$ , odnosno inkrementa pomeranja  $u_i$ , prikazuju pomoću istih interpolacionih funkcija:

$$\begin{aligned} {}^0X_i &= \sum_{k=1}^n N_k X_i^k, \quad x_i = \sum_{k=1}^n N_k x_i^k \\ {}^1u_i &= \sum_{k=1}^n N_k {}^1u_i^k, \quad \Delta u_i = \sum_{k=1}^n N_k u_i^k \end{aligned} \quad (3.38)$$

gde su:

${}^1x_i^k, {}^1u_i^k$  i  $\Delta u_i$ -koordinate, pomeranja i inkrementi pomeranja u čvoru  $k$  u pravcu I,

$N_k$  - interpolacione funkcije za čvor  $k$ ,  
 $n$  ukupan broj čvorova u elementu.

Koristeći jedn. (3.38) za određivanje odgovarajućih izvoda traženih u integralima, jedn. (3.33) može se napisati u obliku:

$$({}_o^1K_L + {}_o^1K_{NL})\Delta u = {}_o^2R - {}_o^1F, \quad (3.39)$$

gde je  $\Delta u$  - vektor inkremenata pomeranja čvorova od  $C_1$  do  $C_2$  u elementu, dok su pojedine matrice elementa definisane kao<sup>11</sup>:

$${}_o^1[K_L] = \int_{{}_o^oV} {}_o^1[B_L]^T [C] {}_o^1[B_L] {}_o^o dV \quad (3.40)$$

$${}_o^1[K_{NL}] = \int_{{}_o^oV} {}_o^1[B_{NL}]^T {}_o^1[S] {}_o^1[B_{NL}] {}_o^o dV \quad (3.41)$$

$${}_o^1\{F\} = \int_{{}_o^oV} {}_o^1[B_L]^T {}_o^1[\hat{S}] {}_o^o dV \quad (3.42)$$

U gornjim izrazima,  ${}_o^1B_L$  i  ${}_o^1B_{NL}$  su linearne i nelinearne matrice veza deformacije-pomeranja,  ${}_o[C]$  matrica inkrementa  $\sigma$ - $\epsilon$  karakteristika materijala,  ${}_o^1S$  je matrica drugih Piola-Kirhofovih komponenti napona, dok je  ${}_o^1\{\hat{S}\}$  vektor ovih napona. Svi članovi matrica koji odgovaraju konfiguraciji  $C_1$  definisani su u odnosu na konfiguraciju  $C_0$ . Važno je istaći da jedn. (3.39) daje samo aproksimaciju stvarnog rešenja, koje se dobija u svakom koraku opterećenja. Prema tome, može biti neophodno da se koristi iterativni postupak u svakom koraku sve dok jednačina (3.38) ne bude zadovoljena za traženu toleranciju greške. U radu će biti, u osnovi, korišćen Riksov iterativni algoritam pri sračunavanju ravnotežnih rešenja. Gornje relacije se u osnovi integrisane u većinu softverskih paketa za analizu nelinearnog ponašanja konstrukcija uključivši kako elasto-plastično ponašanje materijala tako i geometrijsku nelinearnost.

Eksperimentalna istraživanja su realizovana u laboratorijama Instituta Goša. U laboratoriji za metalurško mehanička ispitivanja Instituta Goša su napravljena ispitivanja na epruvetama od osnovnog materijala

#### 3.4.4. Opis ispitno merne opreme - termografija

U eksperimentalnim ispitivanjima epruveta i bagera korišćena je termovizijska oprema firme FLIR, prikazana na slici 3.19. Pored kamere Therma CAM SC640 najnovije generacije, u eksperimentu je korišćen i softverski paket, specijalno razvijen za naučna istraživanja Researcher i personalni računar (ThermaCAM™ Researcher, 2006; DG001U-E Photometry Form; Y.M. Won, i dr., 2001; <http://flir.custhelp.com>; Flir System, 2002).



**Slika 3.19.** IC kamera marke FLIR ThermaCAM SC640

Rezolucija kamere je 640 x 480 pixels. Postavljena je na rastojanju od 0,5 m u odnosu na površinu uzorka. Osetljivost kamere je 60mK na 30°C, vidno polje je 24°x18°, minimalno fokusno rastojanje 0,3 m, prostorna rezolucija 0,65 mrad, frekvencija snimanja 30 Hz, elektronski zum 1-8x kontinuirano. Tip detektora je Focal Plane Array, nehlađeni mikrobolometar 640 x 480 pixels.

Spektralni opseg kamere je 7,5 to 13 $\mu$ m, a temperaturni -40°C to +1500°C, podeljen u tri intervala, odnosno opciono može da radi do +2000°C, sa tačnošću  $\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\pm 2\%$ . Ima mogućnost merenja temperature u tački, po liniji na zadatoj površini različitog oblika i dimenzija, da prikazuje izoterme gradacijom sivog ili u paleti različitih boja i nijansa. Kamera poseduje automatsku korekciju emisivnosti i atmosferske transmisije na bazi rastojanja, atmosferske temperature i relativne vlažnosti. Istovremeno vrši video i termografski zapis.

Termogrami, visokog kvaliteta, dobijeni ThermaCAM SC640 kamerom mogu da se obrađuju specijalno razvijenim softverom u varijantama prilagođenim za sisteme koji rade monitoring (ThermaCAM REPORTER) i u varijanti preporučenoj za dijagnostiku i istraživanja (ThermaCAM Researcher).

Softver ThermaCAM Reporter je brz, fleksibilan, baziran na MS Windows okruženju i jednostavan za upotrebu. Omogućava brzu izradu izveštaja i najpovoljniji je za efikasno izvođenje opsežnog prikaza. Wizard funkcije dozvoljavaju čak neprofesionalnim korisnicima da generišu kvalitetne izveštaje. Njegovom upotrebom omogućena je:

- Brza i laka izrada izveštaja uz pomoć MS WIZARD-a;
- Sveobuhvatna temperaturna analiza;
- Zvučni komentari na Playback;
- Izveštaj standardizovanog formata na više jezika;
- Automatsko ubacivanje snimaka sa terena;
- Kompatibilan sa Windws 95, 98, NT 2000, XP;
- Potpuno integrisan software u MS Word;
- Izrada izveštaja u doc formatu;
- Laka razmena izveštaja među korisnicima elektronske pošte.



Omogućava analizu tekstualnih i zvučnih komentara digitalno sakupljenih snimaka sa IR kamerom i automatsko prikazivanje rezultata u tabelama i tekstualnom izveštaju. Jednostavnim pritiskom na ikonicu QUICK REPORTERA odmah se generiše slika iz file. Ubacujući prikaz kompletiranih file u bilo koji kompatibilni WINDOWS štampač, za nekoliko trenutaka dobija se visoko profesionalni izveštaj.

Eksperimenti su izvedeni na sobnoj temperaturi. Korekcija termalnih slika se vrši automatski, ukoliko postoje promene vlažnosti i temperature.

Uzorci su obložene sa sivom bojom, sa poznatom ravnomernom emisijom, u cilju poboljšanja njihovih IR emisionih svojstva, koja su veoma važno za termografsko snimanje i za dobijanje prave distribucije temperature, bez refleksije.

Softverski paket, TermaCAM, omogućava da se koriste odgovarajući set alati za temperaturu, za svaku tačku na površini uzorka. Tokom eksperimenata, uzorci su podvrgnuti kontinualnom opterećenju, između nultog i konačnog opterećenja. Uzorak je testirana u zateznom modu sa kontrolisanom brzinom (5mm/min). Termografsko snimanje, koje neprekidno registruje temperaturne promene, analizira funkciju, nakon što se dobije eksperimentalna linija i funkcija. Isti eksperimentalni uslovi su simulirani, u softverskom paketu Nastran, sa istim uslovima kao u stvarnom ispitivanju, a zatim su rezultati ispitivanja upoređeni.

#### ***3.4.5. Skenirajući elektronski mikroskop***

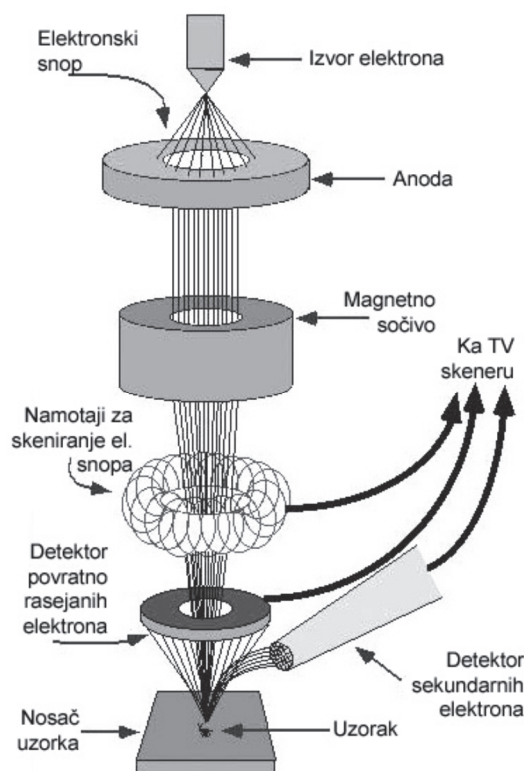
Skenirajući elektronski mikroskop SEM, je uređaj koji igra vrlo važnu ulogu na svim poljima nauke o materijalima. Velika prednost SEM-a je u tome što uzorak koji će se ispitivati zahteva malu specijalnu pripremu u odnosu na optički mikroskop. Prvi zahtev je da uzorak mora biti očišćen od ulja, zrna prašine i kontaminiranih filmova. Drugi zahtev je da uzorak mora imati odgovarajuću električnu provodljivost. Uzorci koji nemaju električnu provodljivost presvlače se tankim slojem zlata.

Uzorak se postavlja u vakumsku komoru. Vakuum je potreban kako bi se eliminisalo rasejanje elektrona zbog molekula vazduha. Kada se uspostavi vakum u komori, elektronski top emituje visokoenergetske snopove elektrona. Elektronski top je ustvari volframovo katodno vlakno koje se zagreva i emituje elektrone, koji se ubrzavaju zbog razlike u potencijalu katode i anode. Tipični napon akceleracije je od 100V do 30kV. Elektroni u snopovima putuju prema ispitivanom materijalu kroz niz elektromagnetnih sočiva konstruisanih na takav način da se snopovi elektrona fokusiraju u veoma mali spot. Elektronski snop se vodi po površini uzorka, uz pomoć elektromagnetnih zavojnica. Skenira se jedan red za drugim u pravougaonoj formi.

Kada elektroni udare u uzorak, deo se odbija od površine, a deo u interakciji sa atomima materijala uzorka izaziva emisiju sekundarnih elektrona. Detektor skuplja elektrone. Stvara se signal, koji se pojačava i registruje. Konačna slika se formira od broja elektrona emitovanih iz svake tačke na uzorku. Informacija može da se predstavi u formi slike, dijagrama ili tabele. Kontrolom upadnih elektronskih snopova i upotrebom specijalnih uređaja u elektronskom mikroskopu može se dobiti veliki broj informacija: topografija površine, kristalna struktura, greške rešetke, (npr. dislokacije), distribucija i struktura faza, struktura magnetnih domena,

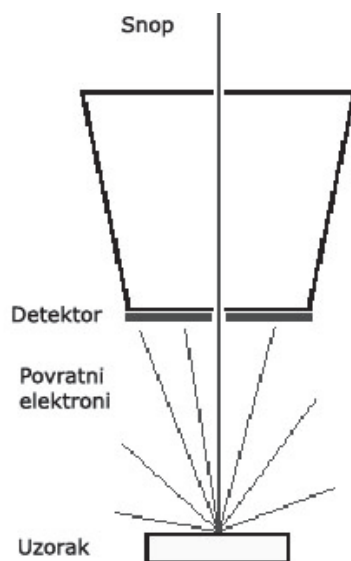
prisutnost električnog naboja, varijacije napona, sastav atoma i atomske veze.

Na slici 3.20 je prikazan šematski princip rada elektronskog skenirajućeg mikroskopa.



Slika 3.20. Princip rada elektronskog skenirajućeg mikroskopa

Povratni elektroni se obično mere sa detektorom slika, smeštenim na delu gde prolazi primarni snop. Detektor se sastoji od diode sa zlatnim tankim provodnikom na prednjoj površini. Povratni, ali ne sekundarni, elektroni imaju dovoljno energije da prođu kroz prednju površinu i proizvedu parove elektronskih rupa koji će proizvesti struju u diodi.



Slika 3.21. Detekcija povratnih elektrona

Na slici 3.22 je data fotografija skenirajućeg elektronskog mikroskopa, pomoću kog je vršena analiza epruveta na mestu loma, JEOL JSM 6460 LV skening mikroskop sa EDS uređajem Oxford INCA.



**Slika 3.22** Skenirajući elektronski mikroskop

#### ***3.4.6. Analiza standardne epruvete kružnog poprečnog preseka primenom metode konačnih elemenata***

Numerička simulacija distribucije napona je prikazana za isti model i pri istim uslovima. Metod konačnih elemenata (FEM) je izabran da simulira uslove ispitivanja (opterećenje i granične uslove) kao i karakteristike i osobine materijala, u softverskom paketu NASTRAN.

### **3.5. Rezultati ispitivanja uzoraka dobijenih vertikalnim kontinualnim livenjem na dole**

Uzorci su dobijeni od legure bronze. Ove legure, RG-5 (P.CuSn5Pb5Zn5) i Rg7 (Cu Sn7 Zn4 Pb7-C), su pogodne za livenje, za meko i tvrdo lemljenje, otporna je na morsku vodu. Preporučuje se za kućne armature, za vodu i paru, za kućišta opterećenih pumpi, komplikovane odlivke sa tankim zidovima, za delove različitih profila i cevi, za manje opterećene ležajeve i klizne trake sa nedovoljnim podmazivanjem, za vođice i sedišta ventila....(Aluminium Bronze Alloys Corrosion Resistance Guide Publication).

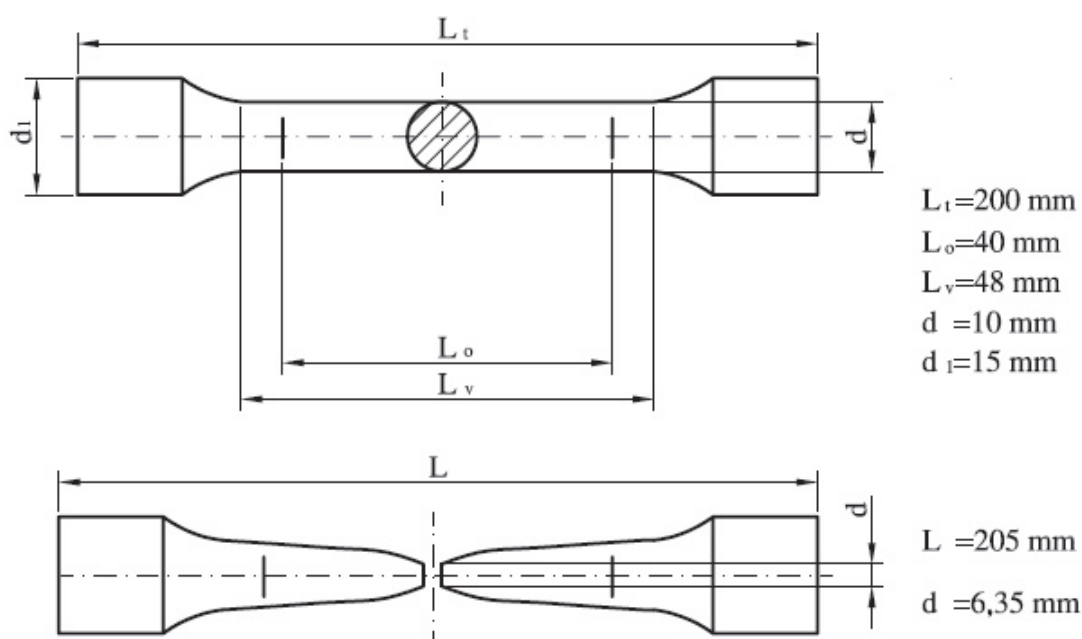
Ispitivana je serija epruveta sa kružnim i kvadratnim poprečnim presekom na statička opterećenja, prema standardu SRPS EN 10002:1996. U tabeli T.3.1 su prikazane polazne tvrdoće epruveta sa napravljenih od uzoraka sa različitim presekom.

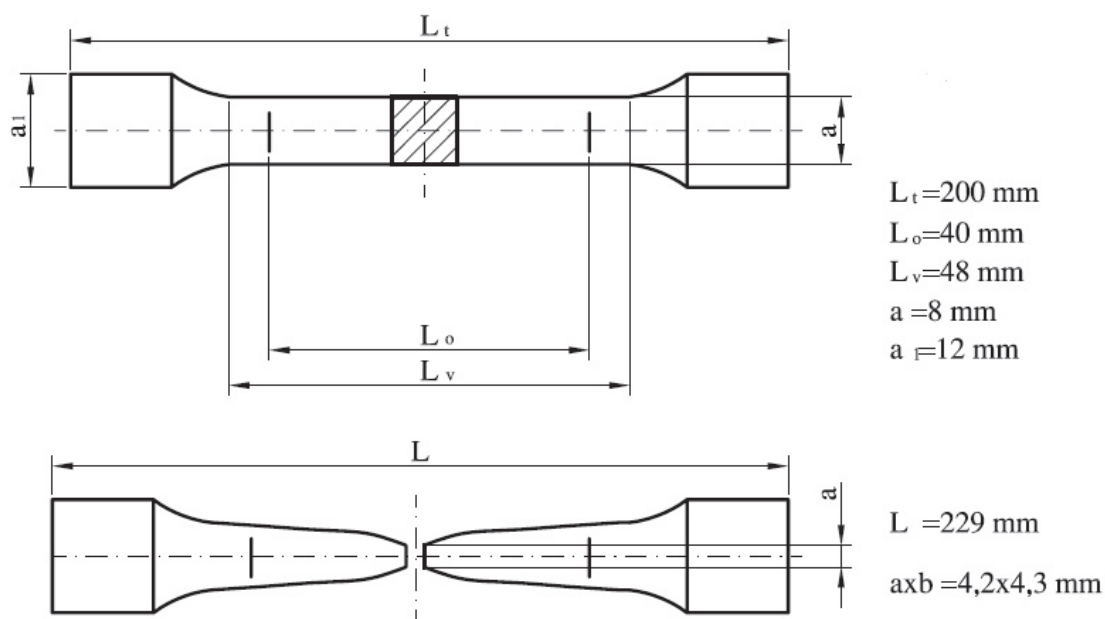
**Tabela T.3.1.** Tvrdoće epruveta (HB)

Uzorak	Uzorak	Uzorak	Uzorak	Oznaka
623.3	633.3	5.1	123.3	122.1
87	91	80	83	87
93	87	81	81	89
87	85	83	80	81
89	87	83	78	81
87	85	83	81	87

Rezultati izmerenih tvrdoća pokazuju veoma slične rezultate kod svih uzoraka, a primetna je nešto veća tvrdoća kod uzoraka od punog profila, prečnika 41mm, koji su rađeni sa maksimalnim brzinama livenja.

Geometrija epruveta je prikazana na slici 3.23. U eksperimentu su ispitivane po 3 epruvete za svaki uzorak. Ponovljivost rezultata eksperimenta je vrlo dobra. U nastavku su prikazani dijagrami i termogrami za određene pojedinačne epruvete iz serije.





**Slika 3.23.** Skica epruvete pre istezanja izrađene od punog i cevastog profila

Eksperimenti su izvedeni na sobnoj temperaturi. Korekcija termografske kamere se vrši automatski za promenu vlažnosti i temperature. Softverski paket u sklopu TermaCAM omogućava da se pomoću adekvatnog alata odredi temperatura u svakoj tački na površini epruvete. Hemijski sastav, oblik i dimenzije priprema za epruvete su dati u tabeli T.3.2.

**Tabela T.3.2.** Hemijski sastav i dimenzije livenih profila

Dimenzija	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Al	Fe	Mn	P	S	Si	Sb
cev, 45x23	86.60	4.12	2.95	5.79	0.252	0.001	0.115	0.0005	0.014	0.029	0.0005	0.037
šestougaoni profil 27	86.40	4.25	2.83	5.75	0.436	0.001	0.089	0.0005	0.016	0.029	0.0024	0.06
pun profil 41	81.60	6.25	7.11	4.6	0.119	0.001	0.136	0.0005	0.038	0.025	0.0005	0.051
šestougaona cev, 22x9	86.52	4.06	2.83	5.91	0.397	0.001	0.11	0.0005	0.013	0.033	0.0005	0.048

Parametri livenja za sve uzorke uzetih tokom eksperimenta, na opremi za vertikalno kontinualno livenje na dole, dati su u tabeli T.3.3.

**Tabela T.3.3.** Parametri livenja za uzorke sa tehnološke linije za vertikalno kontinualno livenje na dole

<b>KORAK</b>		<b>PAUZA</b>		Brzina livenja kg/h	Oznaka uzorka
Broj promena	Veličina koraka	promena	sekundi		
<b>pun profil prečnika 41 mm</b>					
1	21	1	3.2	267	611
		2	2.5	343	612
		3	5	172	613
2	17	1	4.7	147	621
		2	3	230	622
		3	1.8	381	623
3	25	1	5	203	631
		2	3.2	316	632
		3	2.6	389	633
<b>pun profil OK 27 mm</b>					
1	21	1	1.9	188	1011
		2	2.1	174	1012
		3	2.3	161	1013
2	17	1	2.3	133	1021
		2	2.1	144	1022
		3	1.9	157	1023
3	25	1	1.9	221	1031
		2	2.1	199	1032
		3	2.3	186	1033
<b>cev, spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 25 mm</b>					
1	21	1	3.05	226	111
		2	3.25	210	112
		3	2.85	237	113
2	17	1	2.85	200	121
		2	3.05	187	122
		3	3.25	176	123
3	25	1	3.25	247	131
		2	3.05	261	132
		3	2.85	278	133
<b>cev OK 22 unutrašnjeg prečnika 9 mm</b>					
1	21	1	1.5	96	711
		2	1	141	712
		3	3	48	713
2	17	1	2	95	721
		2	1.4	137	722
		3	1.1	174	723
3	25	1	3.5	68	731
		2	2.7	88	732
		3	1.5	160	733

Tokom eksperimenta epruveta se podvrgava kontinuiranom opterećenju između nultog i stvarnog opterećenja. Epruveta je ispitivana u režimu kontrole brzine istezanja. Brzina je bila 5



mm/min. Termogramski snimak, koji je kontinuirano registrovao promene temperature, analiziran je nakon eksperimenta funkcijom plot i funkcijom linije.

Rezultati mehaničkih ispitivanja za sve epruvete priprema uzetih na tehnološkoj liniji za vertikalno kontinualno livenje na dole dati su u tabeli T.3.4.

**Tabela T.3.4.** Rezultati mehaničkih ispitivanja epruveta svih priprema uzetih na tehnološkoj liniji za vertikalno kontinualno livenje na dole

Oznaka uzorka	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>pun profil prečnika 41 mm</b>										
611.1	12,03		120	113,7	126	11,6	29,2	102	257	5
611.2	12,03		120	113,7	125	13,8	26,4	121	232	4
611.3	12,03		120	113,7	129	17,8	31	157	272	8
<b>Srednja vrednost</b>						<b>14,4</b>	<b>28,87</b>	<b>126,67</b>	<b>253,67</b>	<b>5,67</b>
612.1	12,05		120	114		21	31,8	184	279	-
612.2	12,05		120	114		21,8	32,8	191	288	-
612.3	12,07		120	114,4		22,1	31,9	193	279	-
<b>Srednja vrednost</b>						<b>21,63</b>	<b>32,17</b>	<b>189,33</b>	<b>282</b>	<b>-</b>
613.1	12,1		120	114,9		17,8	27,1	155	236	
613.2	12,1		120	114,9	126	18,4	28,5	160	248	5
613.3	12,1		120	114,9	128	19	29,7	165	258	7
<b>Srednja vrednost</b>						<b>18,4</b>	<b>28,43</b>	<b>160</b>	<b>247,33</b>	<b>6</b>
621.1	12		120	113,1		17	30,9	150	273	
621.2	12,1		120	114,9		18,4	22,9	150	199	
621.3	12,05		120	114	131	17	28,5	149	250	9
<b>Srednja vrednost</b>						<b>17,47</b>	<b>27,43</b>	<b>149,67</b>	<b>240,67</b>	<b>9</b>
622.1	12,1		120	113,1	137	17,6	32,8	156	290	14
622.2	12,4		120	114,9	134	18,7	32,3	163	281	12
622.3	12,1		120	114,9	132	17,5	31,9	152	278	10
<b>Srednja vrednost</b>						<b>17,93</b>	<b>32,33</b>	<b>157</b>	<b>283</b>	<b>12</b>
623.1	12,1		120	114,9	130	19,2	30,2	167	263	8
623.2	12,07		120	114,4		19,5	33,5	170	293	
623.3	12,08		120	114,6	132	19,5	33,4	170	291	10
<b>Srednja vrednost</b>						<b>77</b>	<b>32,37</b>	<b>169</b>	<b>282,33</b>	<b>9</b>
631.1	12,1		120	114,9		19,9	31,2	173	271	
631.2	12,1		120	114,9	130	19,3	29,9	168	260	8
631.3	12,1		120	114,9	127	19	27,8	165	242	6
<b>Srednja vrednost</b>						<b>19,4</b>	<b>29,63</b>	<b>168,67</b>	<b>257,67</b>	<b>7</b>
632.1	12,1		120	114,9	136	20,1	34,6	175	301	13
632.2	12,1		120	114,9	136	21,2	34,5	184	300	13

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

632.3	12,1		120	114,9	137	20,3	34,8	177	303	14
<b>Srednja vrednost</b>						<b>20,53</b>	<b>34,63</b>	<b>178,67</b>	<b>301,33</b>	<b>13,33</b>
633.1	12,1		120	114,9	135	20,6	33,4	179	291	12
633.2	12,1		120	114,9		20,6	33,7	179	293	
633.3	12,05		120	114	136	20,7	30,7	182	269	13
<b>Srednja vrednost</b>						<b>20,63</b>	<b>32,6</b>	<b>180</b>	<b>284,33</b>	<b>12,5</b>
<b>pun profil OK 27</b>										
1011.1	11,8		120	109,4	142	15,1	31,3	138	286	18
1011.2	11,9		120	111,2	143	15,2	32,2	137	290	19
1011.3	12,0		120	113,1	147	16,0	33,4	141	295	22,5
<b>Srednja vrednost</b>						<b>15,43</b>	<b>32,3</b>	<b>138,67</b>	<b>290,33</b>	<b>19,83</b>
1012.1	11,9		120	111,2	161	16,1	36,1	145	327	34
1012.2	11,85		120	110,3	156	15,9	35,6	144	323	30
1012.3	11,85		120	110,3	156	16,3	35,2	148	319	30
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,1</b>	<b>35,63</b>	<b>145,67</b>	<b>323</b>	<b>31,33</b>
1013.1	12,0		120	113,1	160	17,2	36,4	152	322	33
1013.2	11,95		120	112,2	156	17,2	36,1	153	322	30
1013.3	11,90		120	111,2	156	16,4	35,7	147	321	30
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,93</b>	<b>36,07</b>	<b>150,67</b>	<b>321,67</b>	<b>31</b>
1021.1	11,95		120	112,2	160	17,2	36,5	153	325	33
1021.2	11,95		120	112,2	158	16,2	35,8	144	319	32
1021.3	12,00		120	113,1	159	17,0	36,7	150	325	32
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,8</b>	<b>36,33</b>	<b>149</b>	<b>969</b>	<b>32,33</b>
1022.1	12,0		120	113,1	155	16,8	36,3	148	321	
1022.2	12,0		120	113,1	155	17,1	35,9	151	312	29
1022.3	11,95		120	112,2	156	17,2	35,9	153	320	30
<b>Srednja vrednost</b>						<b>17,03</b>	<b>36,03</b>	<b>150,67</b>	<b>317,67</b>	<b>29,5</b>
1023.1	12,0		12	113,1	159	16,4	35,3	145	312	32
1023.2	12,0		120	113,1	160	16,8	35,9	148	312	33
1023.3	12,0		120	113,1	154	17,0	35,9	150	317	28
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,73</b>	<b>35,7</b>	<b>147,67</b>	<b>941</b>	<b>31</b>
1031.1	12,0		120	113,1	153	17,2	35,5	152	314	28
1031.2	12,0		120	113,1	155	16,7	35,7	148	316	29
1031.3	12,0		120	113,1	147	17,0	34,1	150	302	22
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,97</b>	<b>35,1</b>	<b>150</b>	<b>310,67</b>	<b>26,33</b>
1032.1	12,0		120	113,1		17,2	36,2	152	320	
1032.2	12,0		120	113,1		17,0	35,4	150	313	
1032.3	12,0		120	113,1	149	16,7	35,0	148	310	24
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,97</b>	<b>35,1</b>	<b>150</b>	<b>314,33</b>	<b>24</b>
1033.1	12,0		120	113,1	155	16,8	36,0	148	318	29
1033.2	12,0		120	113,1	161	16,2	36,0	143	318	34
1033.3	11,9		120	11,2	144	16,2	33,4	146	300	20
<b>Srednja vrednost</b>						<b>16,4</b>	<b>35,13</b>	<b>145,67</b>	<b>312</b>	<b>27,67</b>

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

cev, spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 25 mm										
111.1	7,20	12,20	120	87,8		13,0	24,5	148	279	
111.2	7,40	12,20	120	90,3	140,0	12,4	25,0	137	277	17
111.3	7,40	12,20	120	90,3	141,6	12,5	25,6	138	284	18
<b>Srednja vrednost</b>						<b>12,63</b>	<b>25,03</b>	<b>141</b>	<b>280</b>	<b>17,5</b>
112.1	7,60	11,60	120	88,2	141,8	12,5	24,4	142	277	19
112.2	7,60	11,40	120	86,6	141,4	12,4	23,9	143	276	18
112.3	7,60	11,60	120	88,2	139,5	13,8	24,7	156	280	16
<b>Srednja vrednost</b>						<b>12,9</b>	<b>24,33</b>	<b>147</b>	<b>277,67</b>	<b>17,67</b>
113.1	7,4	12,50	120	92,5	143	13,6	25,6	147	277	19
113.2	7,3	12,50	120	91,3	146	13,5	26,7	148	292	22
113.3	7,1	12,50	120	88,7	143	13,2	25,3	148	285	19
<b>Srednja vrednost</b>						<b>13,43</b>	<b>25,87</b>	<b>147,67</b>	<b>284,67</b>	<b>20</b>
121.1	7,20	11,40	120	82,1	143	12,0	23,3	146	284	19
121.2	7,40	11,40	120	84,4		12,4	23,9	147	283	
121.3	7,20	11,30	120	81,4	151	13,0	24,3	160	298	26
<b>Srednja vrednost</b>						<b>12,47</b>	<b>23,83</b>	<b>151</b>	<b>288,33</b>	<b>22,5</b>
122.1	7,6	12,2	120	92,7	143	13,2	26,4	142	285	19
122.2	7,8	12,1	120	94,4		13,5	25,7	143	272	-
122.3	7,7	12,1	120	93,2	145	14,2	26,8	152	287	21
<b>Srednja vrednost</b>						<b>13,63</b>	<b>26,3</b>	<b>145,67</b>	<b>281,33</b>	<b>20</b>
123.1	7,2	12,2	120	87,8		11,5	26,2	131	298	-
123.2	7,1	12,1	120	85,9	149	12,5	25,3	145	294	24
123.3	7,4	12,3	120	91	146	13,2	26,3	145	289	22
<b>Srednja vrednost</b>						<b>12,4</b>	<b>25,93</b>	<b>140,33</b>	<b>293,67</b>	<b>23</b>
131.1	7,4	12,5	120	92,5		14,7	26,9	159	291	
131.2	7,4	12,3	120	91,0	144	12,6	25,7	139	282	20
131.3	7,4	12,5	120	92,5		13,1	26,7	142	289	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>13,47</b>	<b>26,43</b>	<b>146,67</b>	<b>287,33</b>	<b>20</b>
132.1	7,30	11,40	120	83,2		12,4	24,2	149	291	
132.2	7,20	11,20	120	80,6	148	11,2	24,9	139	295	23
132.3	7,20	11,50	120	82,8		12,4	23,1	150	279	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>12</b>	<b>24,07</b>	<b>146</b>	<b>288,33</b>	<b>23</b>
133.1	7,30	12,20	120	89,1	147	12,9	25,7	145	288	22
133.2	7,20	12,30	120	88,6		13,9	25,8	157	291	
133.3	8,00	12,20	120	97,6	145	14,1	27,1	145	278	21
<b>Srednja vrednost</b>						<b>13,63</b>	<b>26,2</b>	<b>149</b>	<b>285,67</b>	<b>21,5</b>
cev OK 22, unutrašnjeg prečnika 9 mm										
711.1	6,7	7,0	120	46,9		7,5	12,8	160	273	
711.2	6,5	7,0	120	45,5		7,6	12,7	167	279	
711.3	6,2	7,1	120	44,0		7,5	15,0	170	295	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>7,53</b>	<b>13,5</b>	<b>165,67</b>	<b>282,33</b>	
712.1	6,2	6,9	120	42,8	143	6,8	12,6	159	294	19

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

712.2	6,4	6,7	120	42,9	139	7,0	12,2	163	284	16
712.3	6,3	7,0	120	44,1	141	7,2	12,7	163	288	18
<b>Srednja vrednost</b>						<b>7</b>	<b>12,5</b>	<b>161,67</b>	<b>288,67</b>	<b>17,67</b>
713.1	6,1	7,4	120	45,1		7,6	12,6	168	279	
713.2	6,2	6,8	120	45,2	150	7,2	12,35	170	290	25
713.3	6,3	7,3	120	43,9		6,7	12,9	153	294	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>7,17</b>	<b>12,62</b>	<b>163,67</b>	<b>287,67</b>	<b>25</b>
721.1	6,1	7,0	120	42,7	142	7,1	12,6	166	295	18
721.2	6,4	6,6	120	42,2	145	6,5	12,4	154	294	21
721.3	6,1	7,0	120	42,7		7,2	13,05	169	306	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>6,93</b>	<b>12,68</b>	<b>163</b>	<b>298,33</b>	<b>19,5</b>
722.1	6,5	7,1	120	46,1		7,5	12,9	163	280	
722.2	6,3	6,7	120	42,2	150	6,6	12,3	156	291	25
722.3	6,3	6,5	120	40,9	142	7,2	11,6	176	284	18
<b>Srednja vrednost</b>						<b>7,1</b>	<b>12,27</b>	<b>165</b>	<b>285</b>	<b>21,5</b>
723.1	6,2	7,1	120	41,0	138	9,6	12,4	173	282	15
723.2	6,3	6,7	120	42,2	140	7,0	11,8	166	280	17
723.3	6,4	7,0	120	44,8	133	7,4	11,15	165	249	11
<b>Srednja vrednost</b>						<b>8</b>	<b>11,78</b>	<b>168</b>	<b>270,33</b>	<b>14,33</b>
731.1	6,0	7,1	120	42,6	139	6,6	11,75	155	276	16
731.2	6,1	6,9	120	42,1	134	6,6	10,4	152	247	12
731.3	6,6	7,0	120	46,2		8,2	13,3	177	289	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>7,13</b>	<b>11,82</b>	<b>161,33</b>	<b>270,67</b>	<b>14</b>
732.1	6,0	7,2	120	43,2	142	7,1	12,5	164	289	18
732.2	6,5	7,3	120	47,5		8,6	12,85	181	271	
732.3	6,3	7,2	120	46,8		8,5	12,9	182	276	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>8,07</b>	<b>38,25</b>	<b>175,67</b>	<b>278,67</b>	<b>18</b>
733.1	6,1	7,0	120	42,7	148	7,4	12,8	173	300	24
733.2	7,4	6,8	120	50,5	145	7,1	12,6	141	250	21
733.3	6,7	6,9	120	46,2		7,7	11,9	156	256	
<b>Srednja vrednost</b>						<b>7,4</b>	<b>12,43</b>	<b>156,67</b>	<b>268,67</b>	<b>22,5</b>

**3.5.1. Rezultati ispitivanja za pun okrugli profil prečnika 41mm**

Režimi livenja priprema punog profila, prečnika 41mm, dati su u tabeli T3.5. Rezultati mehaničkog merenja za epruvetu 611.1 su prikazani u tabeli T.3.6.

**Tabela T.3.5.** Parametri livenja za uzorakpun profil prečnika 41 mm, uzorci od 611-633

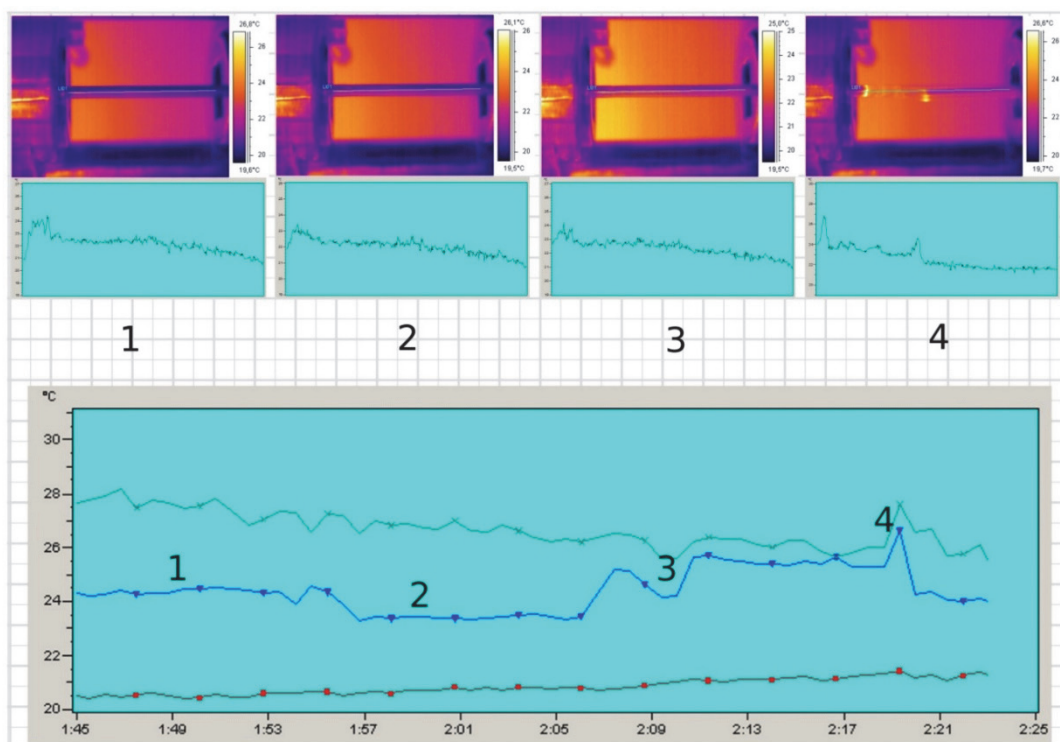
Broj promena	Veličina koraka	promena	Sekundi	Brzina livenja kg/h	Oznaka uzorka
1	21	1	3.2	267	611
		2	2.5	343	612
		3	5	172	613
	17	1	4.7	147	621
		2	3	230	622
		3	1.8	381	623
3	25	1	5	203	631
		2	3.2	316	632
		3	2.6	389	633

**Tabela T.3.6.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za seriju 611

Oznaka uzorka	a <sub>0b0</sub>	b <sub>0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>pun profil prečnika 41 mm</b>										
611.1	12,03		120	113,7	126	11,6	29,2	102	257	5
611.2	12,03		120	113,7	125	13,8	26,4	121	232	4
611.3	12,03		120	113,7	129	17,8	31	157	272	8
<b>Srednja vrednost</b>						<b>14,4</b>	<b>28,87</b>	<b>126,67</b>	<b>253,67</b>	<b>5,67</b>
612.1	12,05		120	114		21	31,8	184	279	-
612.2	12,05		120	114		21,8	32,8	191	288	-
612.3	12,07		120	114,4		22,1	31,9	193	279	-
<b>Srednja vrednost</b>						<b>21,63</b>	<b>32,17</b>	<b>189,33</b>	<b>282</b>	<b>-</b>
613.1	12,1		120	114,9		17,8	27,1	155	236	
613.2	12,1		120	114,9	126	18,4	28,5	160	248	5
613.3	12,1		120	114,9	128	19	29,7	165	258	7
<b>Srednja vrednost</b>						<b>18,4</b>	<b>28,43</b>	<b>160</b>	<b>247,33</b>	<b>6</b>

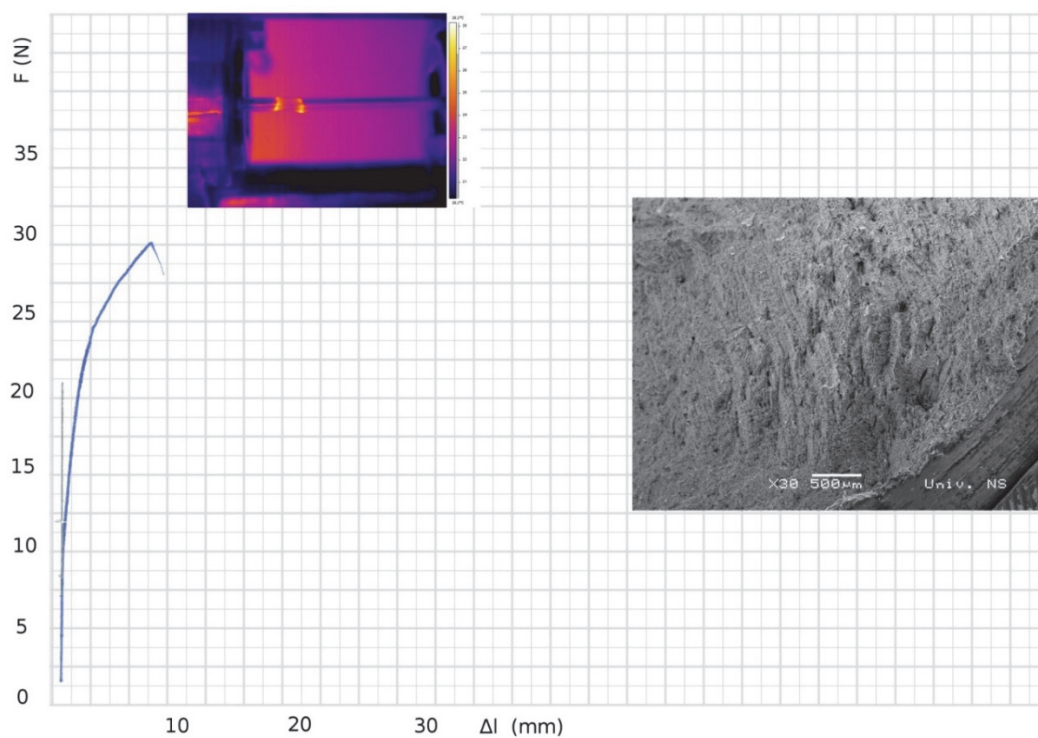
Za analizu epruvete 611.1 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.24: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 30 sekundi pre prekida



Slika 3.24. Termodijagrami za epruvetu 611.1

Na slici 3.25 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 611.1.



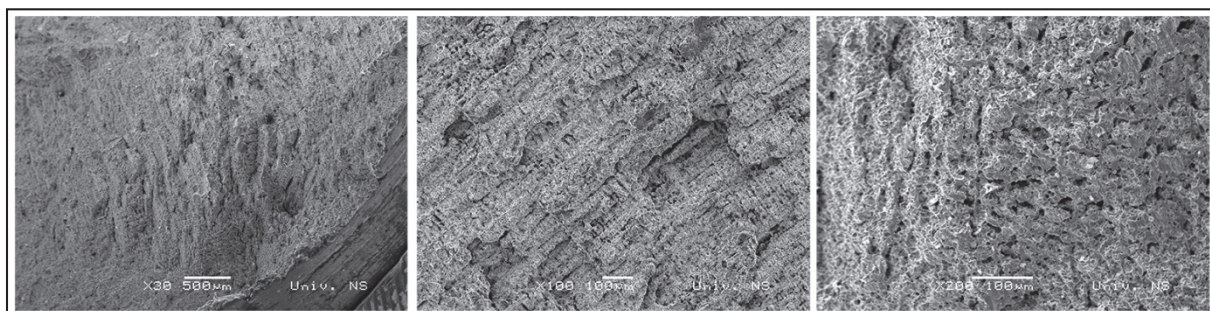
Slika 3.25. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 611.1



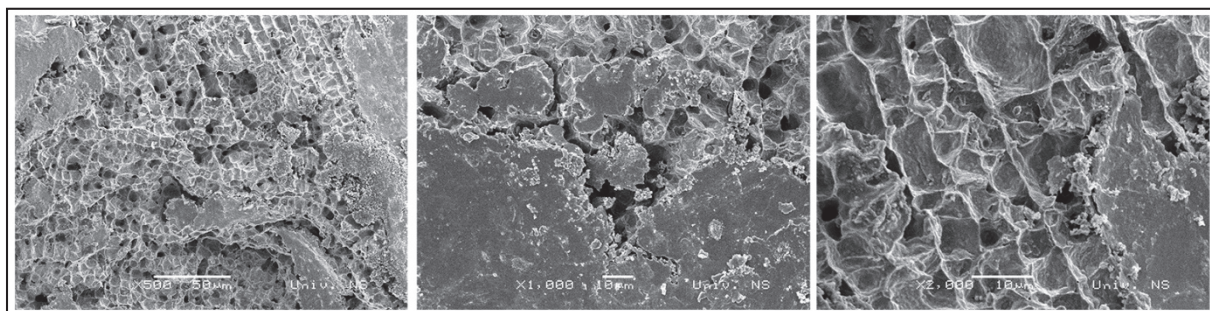
Cilj mikroskopskih ispitivanja je bio da potvrdi prirodu loma, koji je nastao tokom ispitivanja zateznih karakteristika epruveta od osnovnog materijala.

Na slikama su prikazani snimci preloma epruvete od osnovnog materijala. Na slici 3.26 se vidi da se radi o duktilnom lomu, što se očekivalo na bazi dijagrama sila deformacija i na bazi termografskog merenja temperature. Na ovoj slici se vidi da na mestu loma postoji uključak, koji je verovatno zaostao iz livenja i koji je bio koncentrador napona, pa je samim tim doprineo da se na tom mestu javi lom.

Elektronskim mikroskopom je snimano više pozicija sa ciljem da se, osim duktilnog, pronađu delovi na kojima je mogao postojati drugi tip loma. Na slikama 3.26 i 3.27 su prikazane fotografije koje potvrđuju da po celoj površini epruvete postoji duktilni lom.



Slika 3.26. Uvećanje 30x, 100x, 200x / 611.1



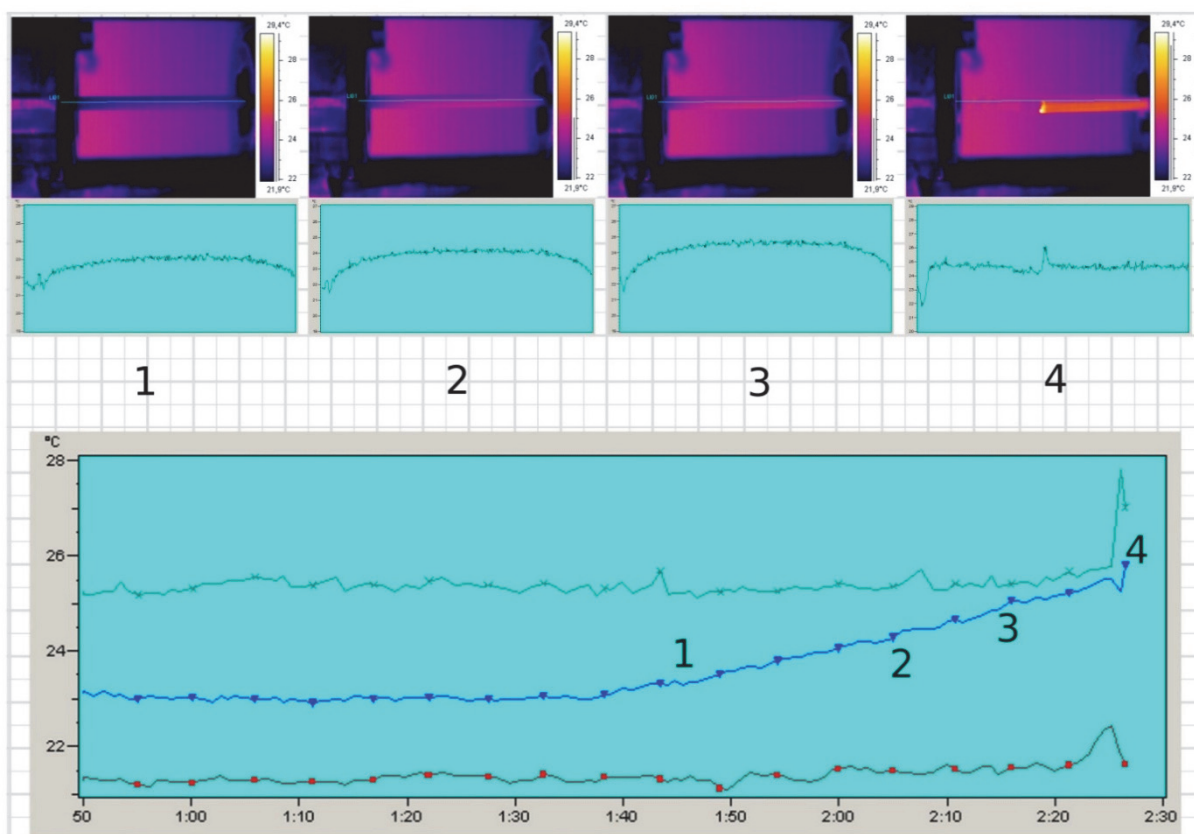
Slika 3.27. Uvećanje 500x, 1000x, 2000x / 611.1

Tabela T.3.7. Rezultati mehaničkih ispitivanja za seriju 612

Oznaka uzorka	$a_0b_0$	$l_0$	$S_0$	$l_u$	$F_e$	$F_m$	$R_e$	$R_m$	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
612.1	12,05	120	114		21	31,8	184	279	-
612.2	12,05	120	114		21,8	32,8	191	288	-
612.3	12,07	120	114,4		22,1	31,9	193	279	-
Srednja vrednost					21,63	32,17	189,33	282	-

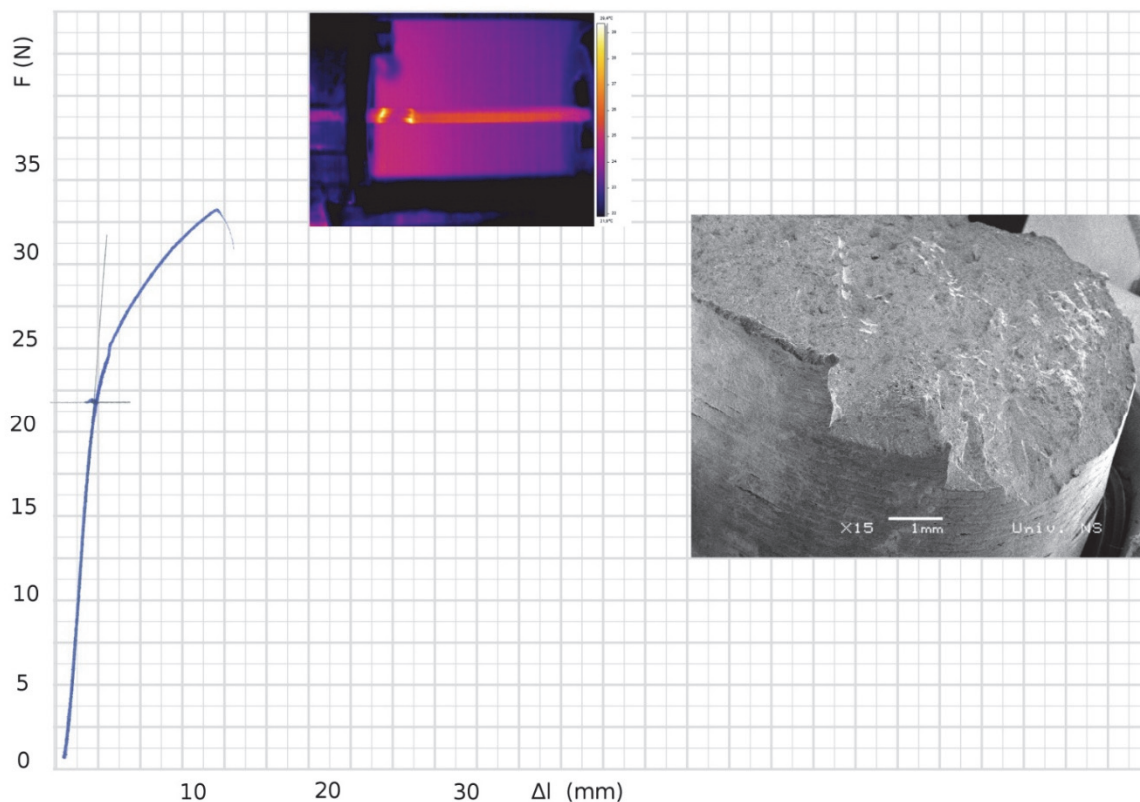
Za analizu epruvete 612.2 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.28: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida

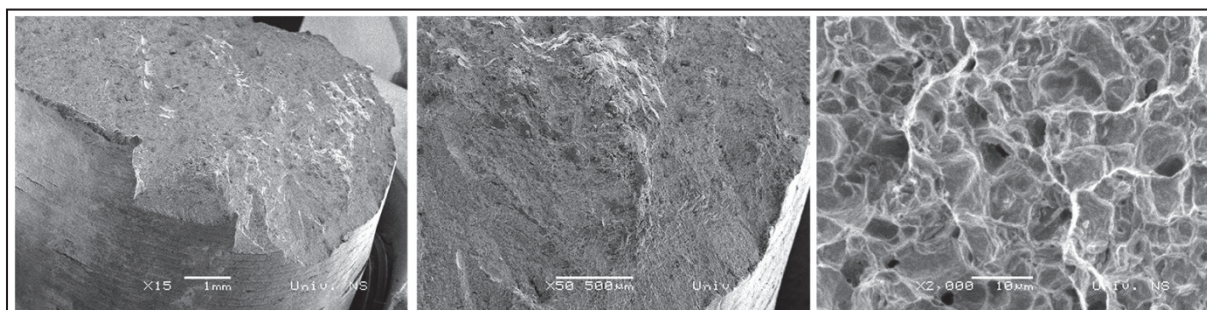


Slika 3.28. Termodijagrami za epruvetu 612.2

Na slici 3.29 prikazan je dijagram sila istezanja – izduženije, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 612.2.



Slika 3.29. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 612.2



Slika 3.30. Uvećanje 15x, 50x, 2000x / 612.2

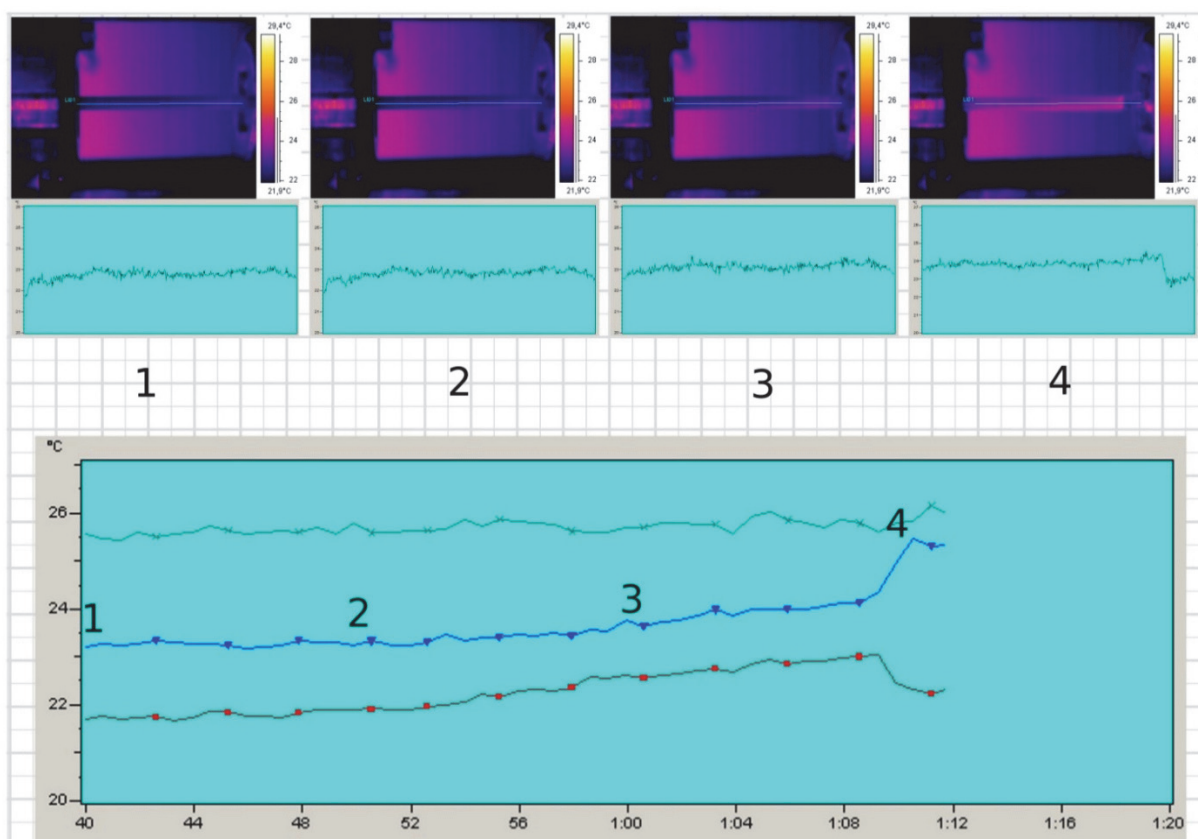
Tabela T.3.8. Rezultati merenja za epruvete iz serije 613

Oznaka uzorka	$a_0b_0$	$l_0$	$S_0$	$l_u$	$F_e$	$F_m$	$R_e$	$R_m$	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
613.1	12,1	120	114,9		17,8	27,1	155	236	
613.2	12,1	120	114,9	126	18,4	28,5	160	248	5
613.3	12,1	120	114,9	128	19	29,7	165	258	7
Srednja vrednost					18,4	28,43	160	247,33	0



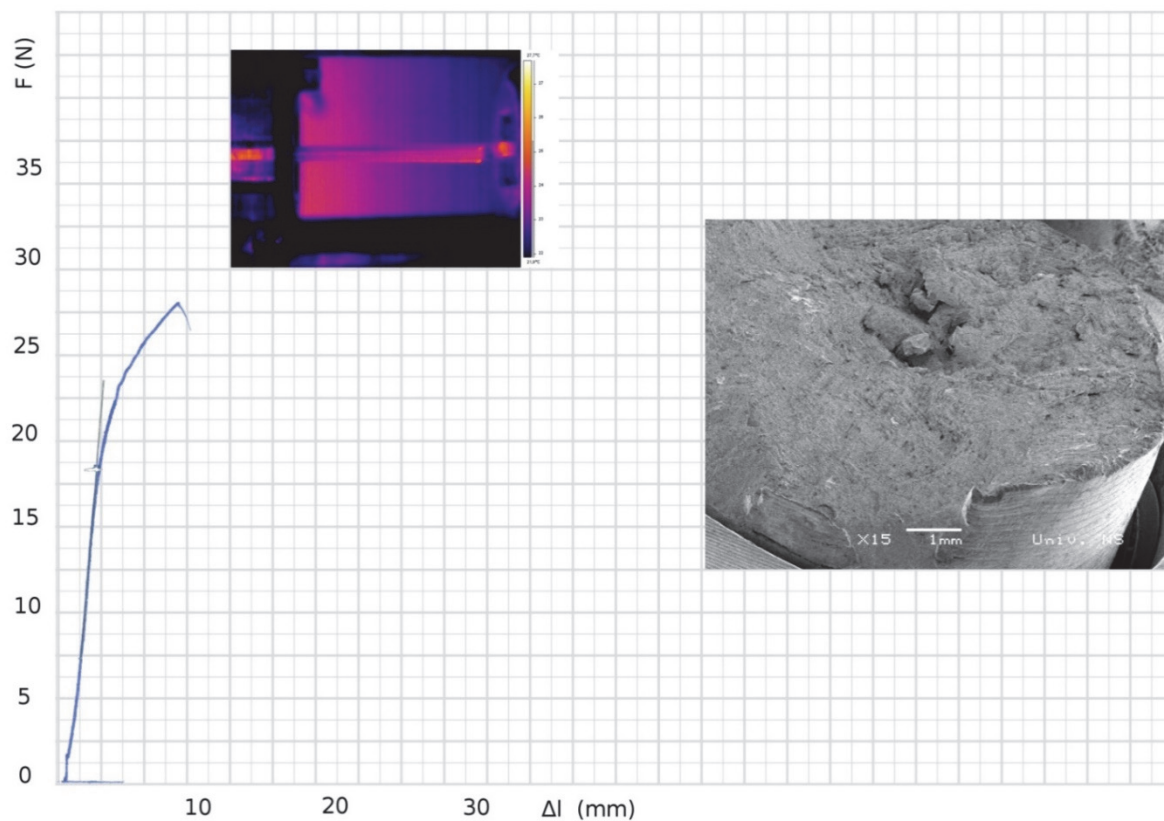
Za analizu epruvete 613.1 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.31: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 30 sekundi pre prekida

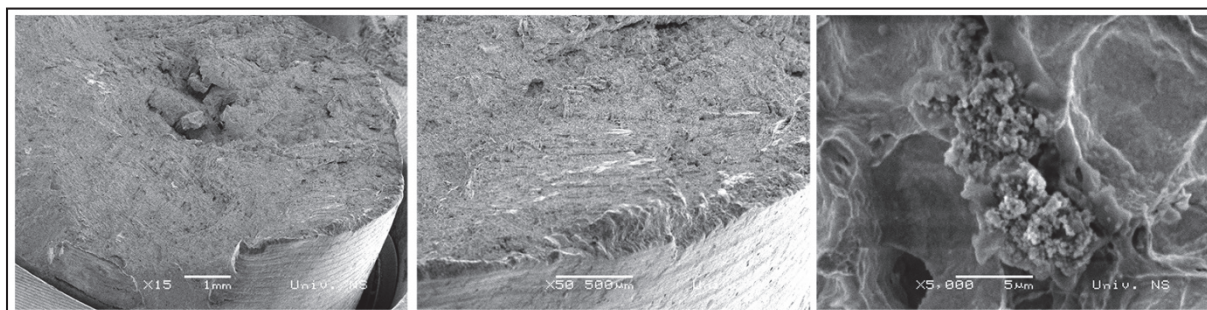


Slika 3.31. Termodijagrami za epruvetu 613.1

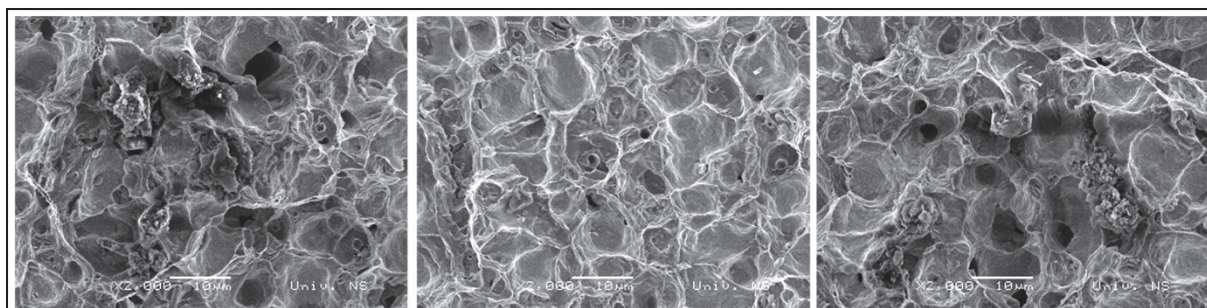
Na slici 3.32 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 613.1.



Slika 3.32. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 613.1



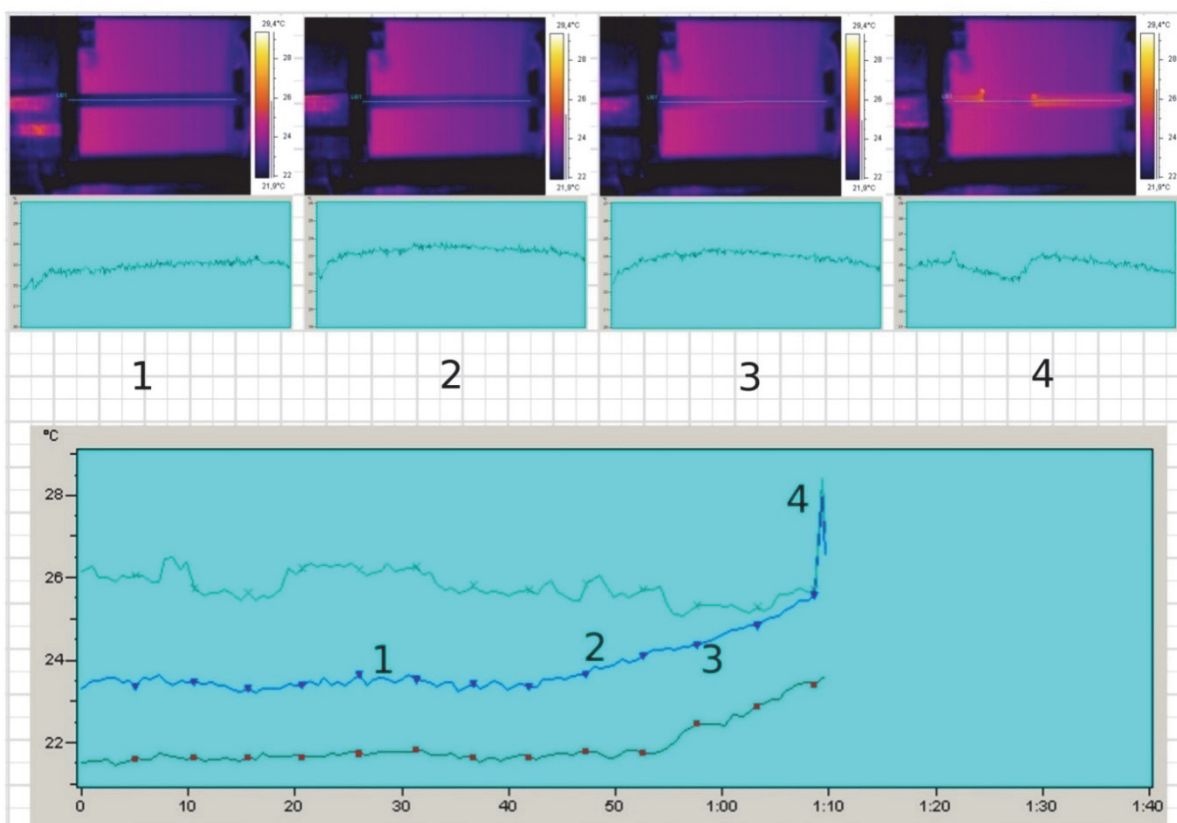
Slika 3.33. Uvećanje 15x, 50x, 5000x / 613.1



Slika 3.34. Uvećanje 2000x / 613.1

Za analizu epruvete 613.3 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.35: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

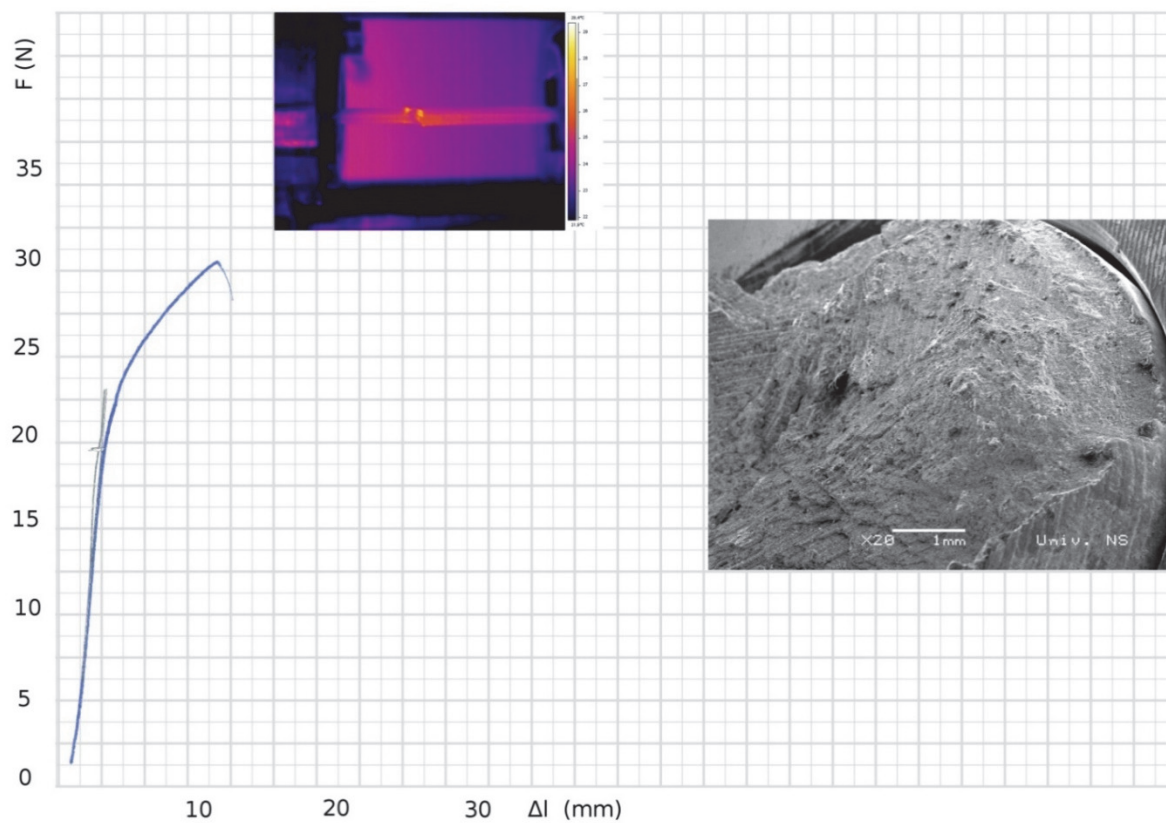
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



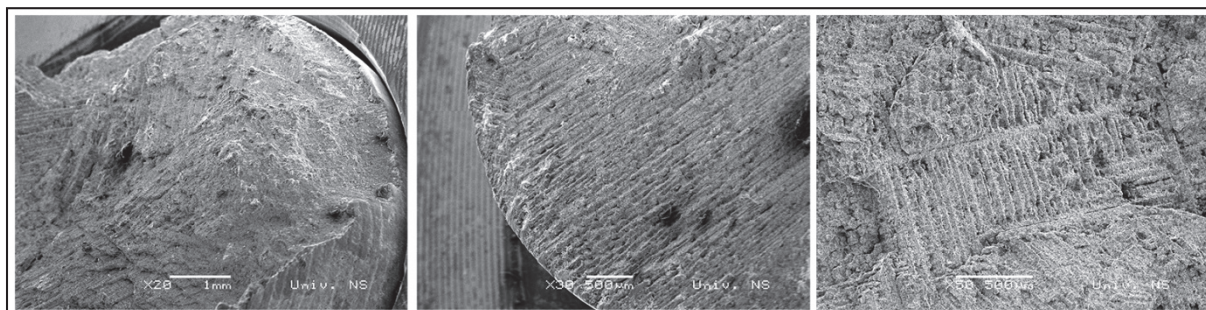
Slika 3.35. Termodijagrami za epruvetu 613.3

Na slici 3.36 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 613.3.

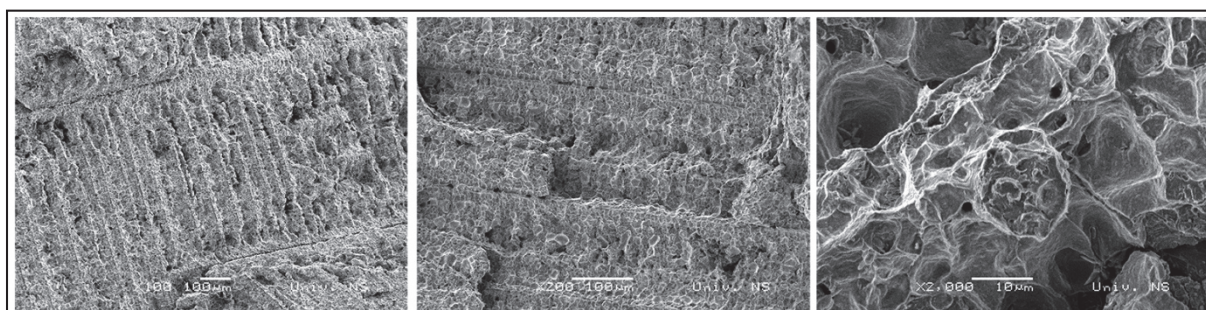




Slika 3.36. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 613.3



Slika 3.37. Uvećanje 20x, 30x, 50x / 613.3



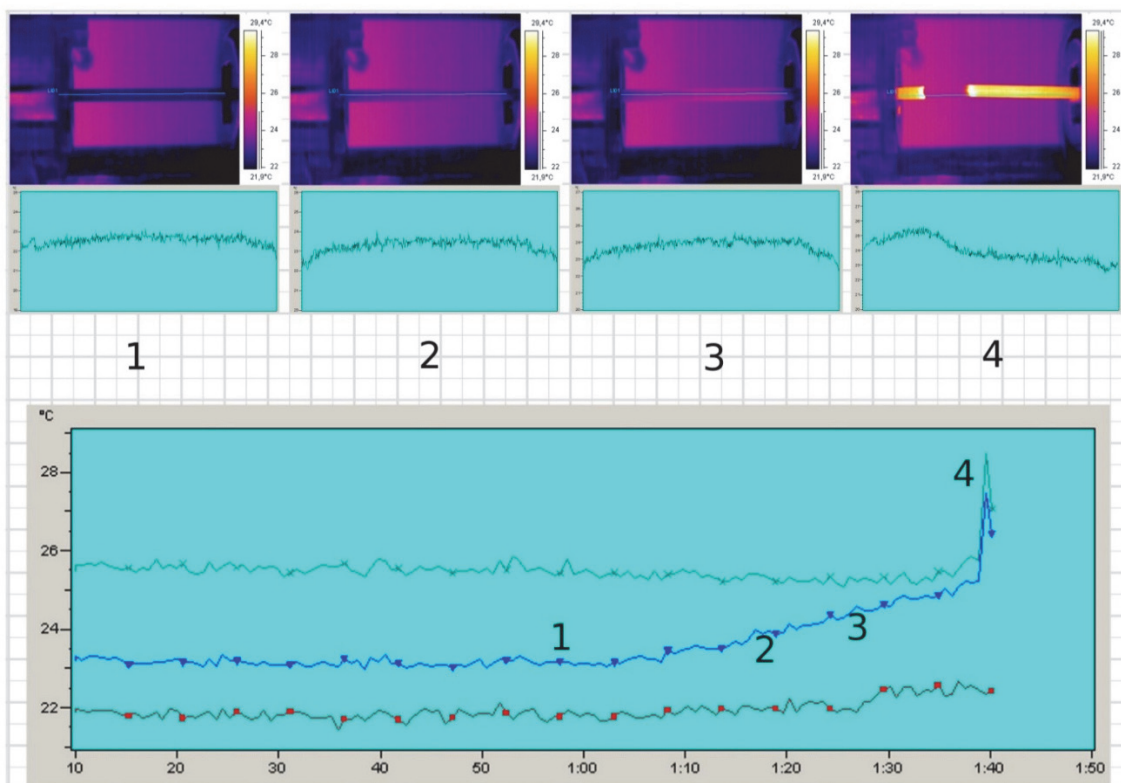
Slika 3.38. Uvećanje 100x, 200x, 2000x / 613.3

**Tabela T.3.9.** Rezultati merenja za epruvete serije 621

Oznaka uzorka	a0b0	l0	S0	lu	Fe	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
621.1	12	120	113,1		17	30,9	150	273	
621.2	12,1	120	114,9		18,4	22,9	150	199	
621.3	12,05	120	114	131	17	28,5	149	250	9
Srednja vrednost					17,47	27,43	149,67	240,67	-

Za analizu epruvete 621.3 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.39: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

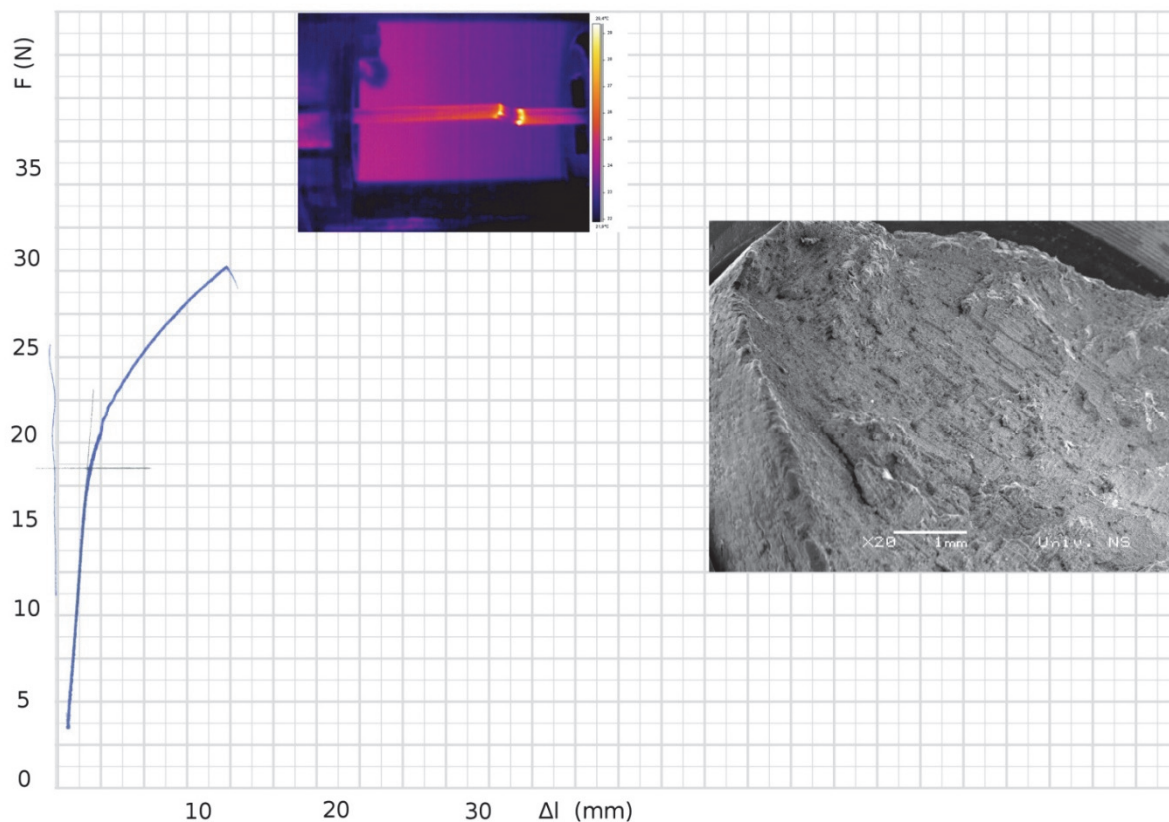
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



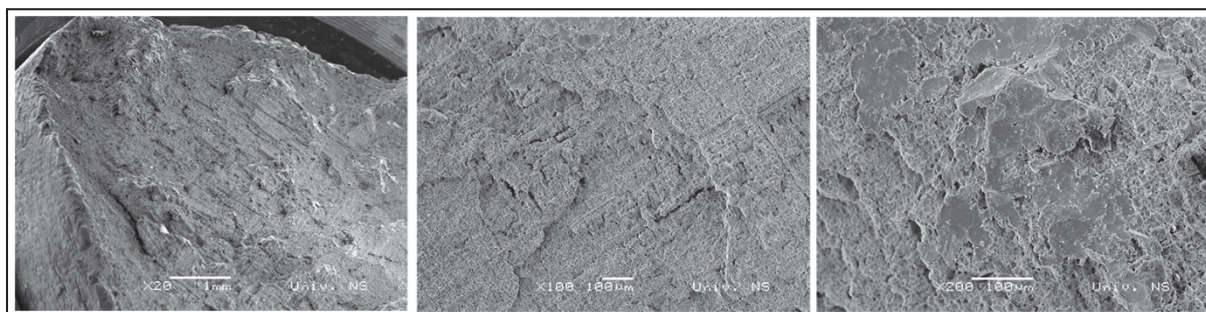
**Slika 3.39.** Termodijagrami za epruvetu 621.3



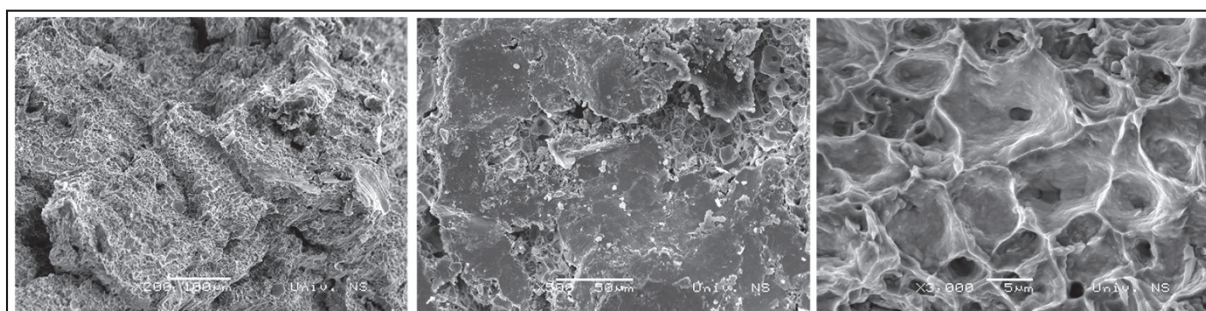
Na slici 3.40 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 621.3.



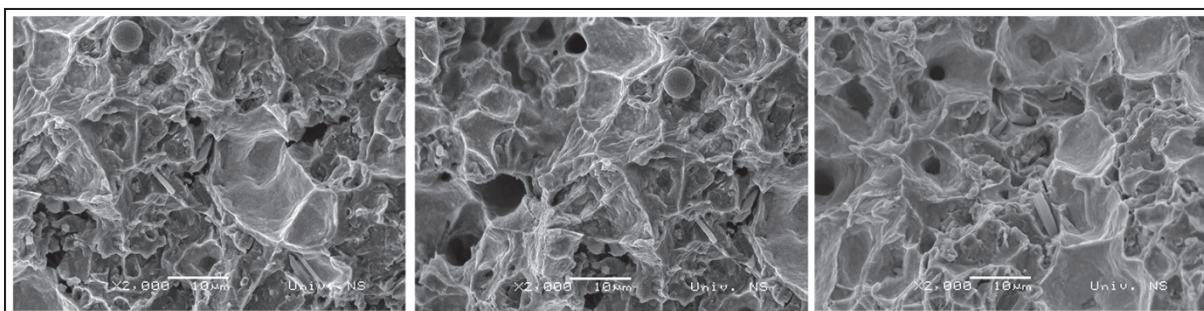
Slika 3.40. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 621.3



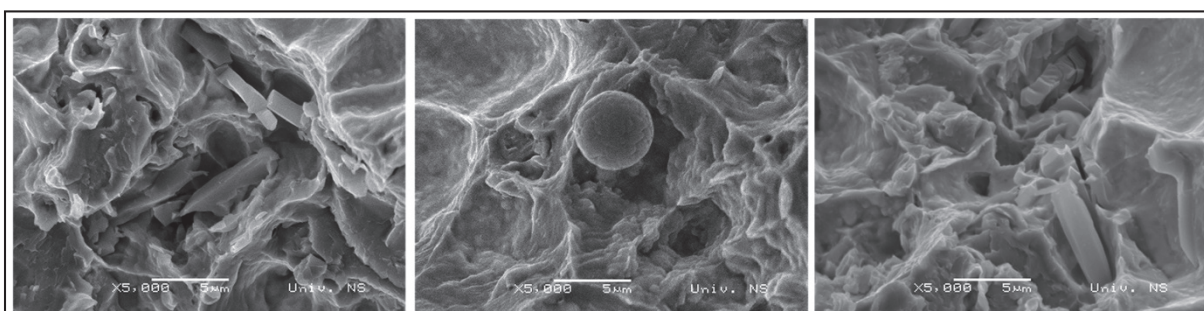
Slika 3.41. Uvećanje 20x, 100x, 200x / 621.3



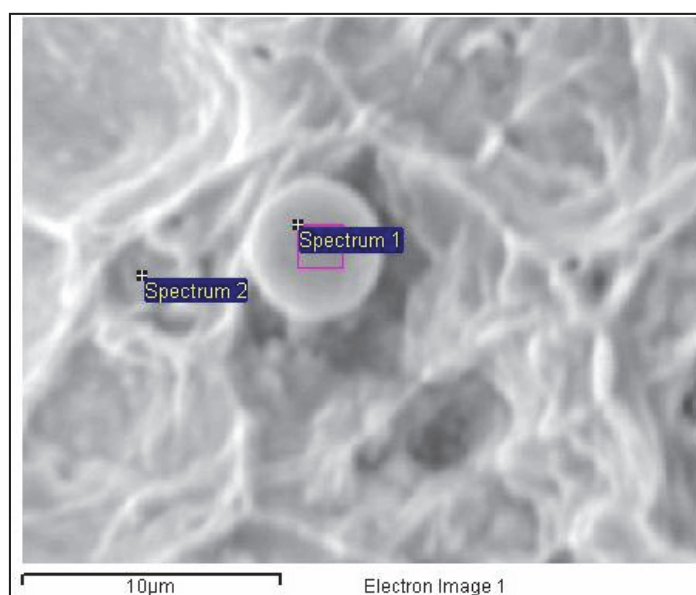
Slika 3.44. Uvećanje 200x, 500x, 3000x / 621.3



Slika 3.45. Uvećanje 2000x / 621.3

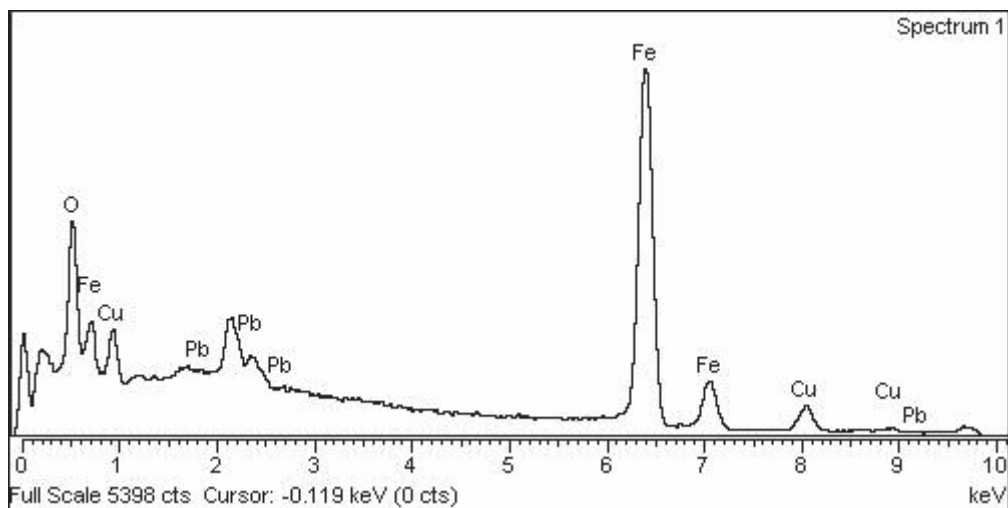


Slika 3.46. Uvećanje 5000x / 621.3

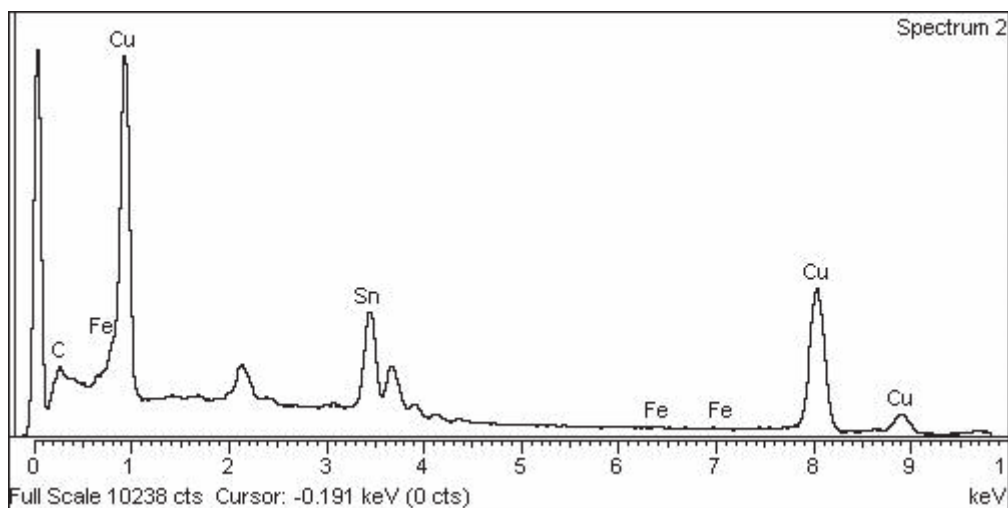


Spectrum	In stats.	C	O	Fe	Cu	Sn	Pb	Total
Spectrum 1	Yes		27.56	60.07	7.97		4.40	100.00
Spectrum 2	Yes	21.39		0.34	54.85	23.42		100.00
Max.		21.39	27.56	60.07	54.85	23.42	4.40	
Min.		0.00	0.00	0.34	7.97	0.00	0.00	

Slika 3.47. Rezultati spectrum za uzorak 621.3



a)



b)

**Slika 3.48.** Prikaz dijagrama za spectrum uzorka 621.3

Na slici 3.49. prikazani su snimci metalografskih ispitivanja uzdužnog i poprečnog preseka uzorka 621.3 sa različitim uvećanjima i bez uvećanja (slika 3.50)

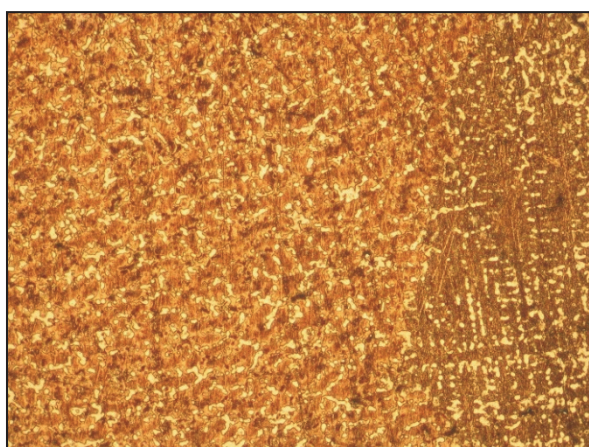




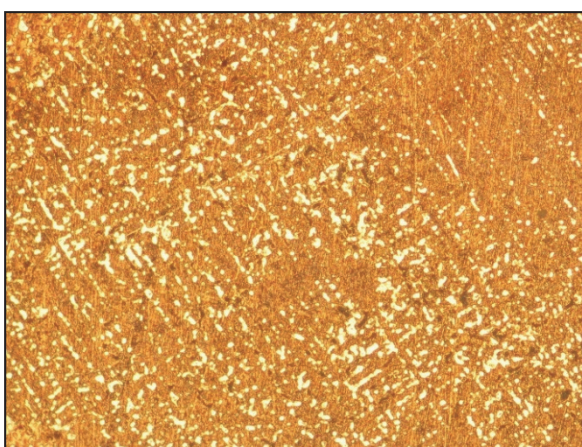
Poprečni presek za uzorak 621.3, 20X uvećanje



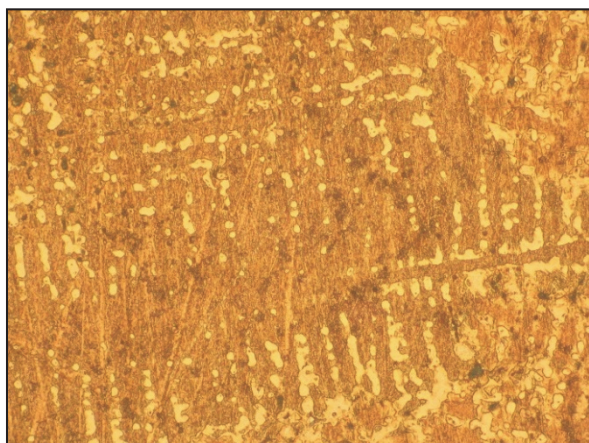
Uzdužni presek za uzorak 621.3, 20X uvećanje



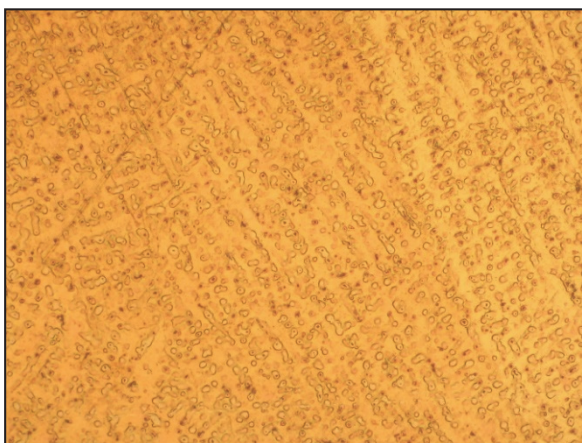
Poprečni presek za uzorak 621.3, 100X uvećanje



Uzdužni presek za uzorak 621.3, 100X uvećanje

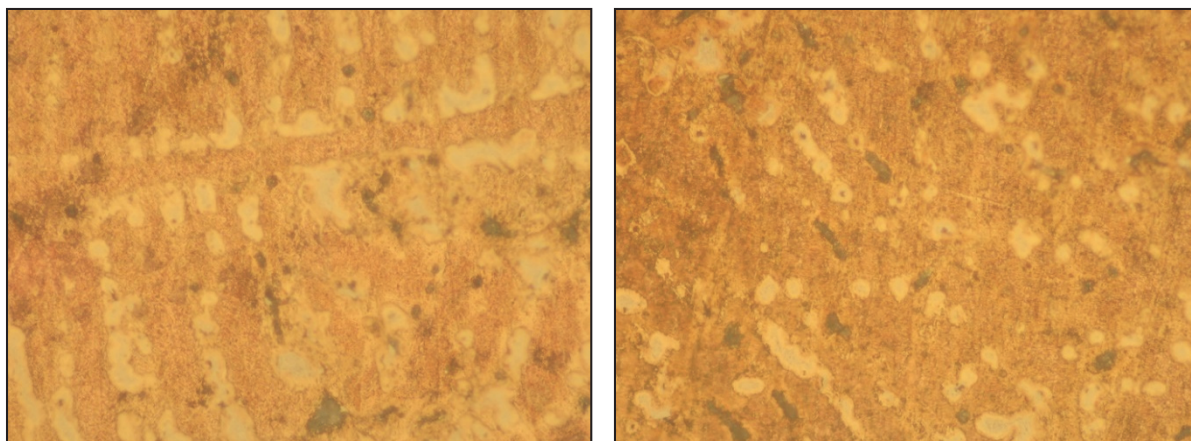


Poprečni presek za uzorak 621.3, 200X uvećanje



Uzdužni presek za uzorak 621.3, 200X uvećanje

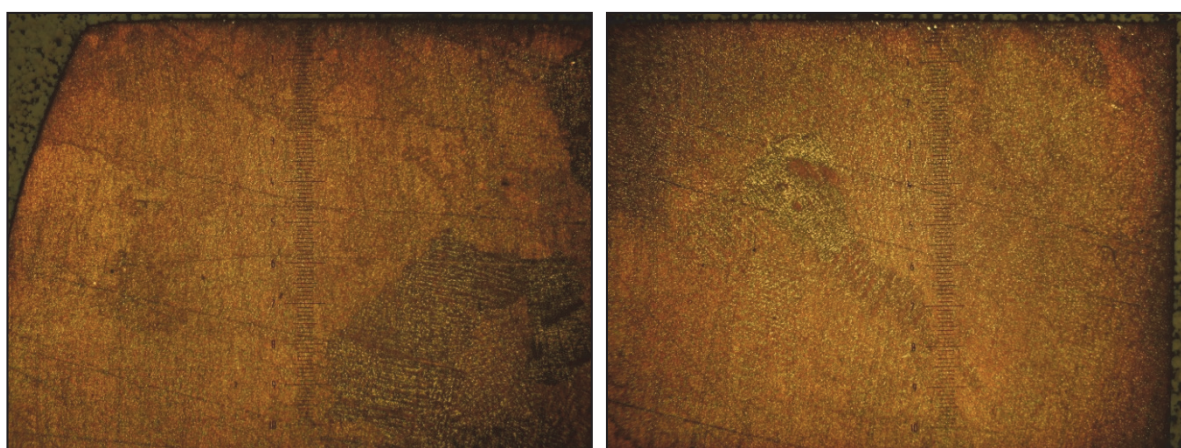




Poprečni presek za uzorak 621.3, 500X uvećanje

Uzdužni presek za uzorak 621.3, 500X uvećanje

**Slika.3.49.** Snimci metalografskih ispitivanja uzdužnog poprečnog preseka 621.3.



Poprečni presek za uzorak 621.3

Uzdužni presek za uzorak 621.3

**Slika 3.50.** Snimci metalografskih ispitivanja uzdužnog i poprečnog preseka uzorka 621.3 bez uvećanja

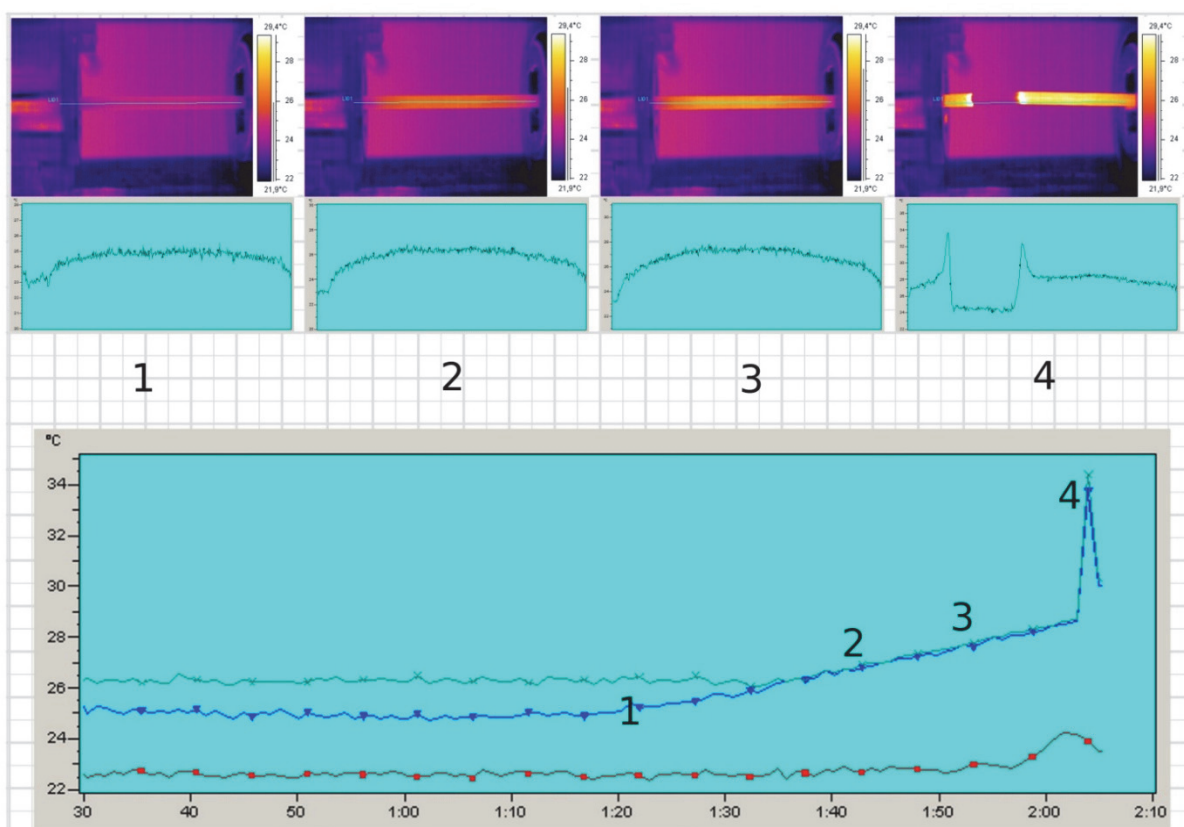
Rezultati mehaničkih ispitivanja epruveta iz serije 623 dati su u tabeli T.3.10.

**Tabela T.3.10.** Rezultati merenja za epruvete iz serije 623

Oznaka uzorka	a <sub>0b0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
623.1	12,1	120	114,9	130	192	30,2	167	263	8
623.2	12,07	120	114,4		19,5	33,5	170	293	
623.3	12,08	120	114,6	132	19,5	33,4	170	291	10
Srednja vrednost					77	32,37	169	282,33	0

Za analizu epruvete 623.3 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.51: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

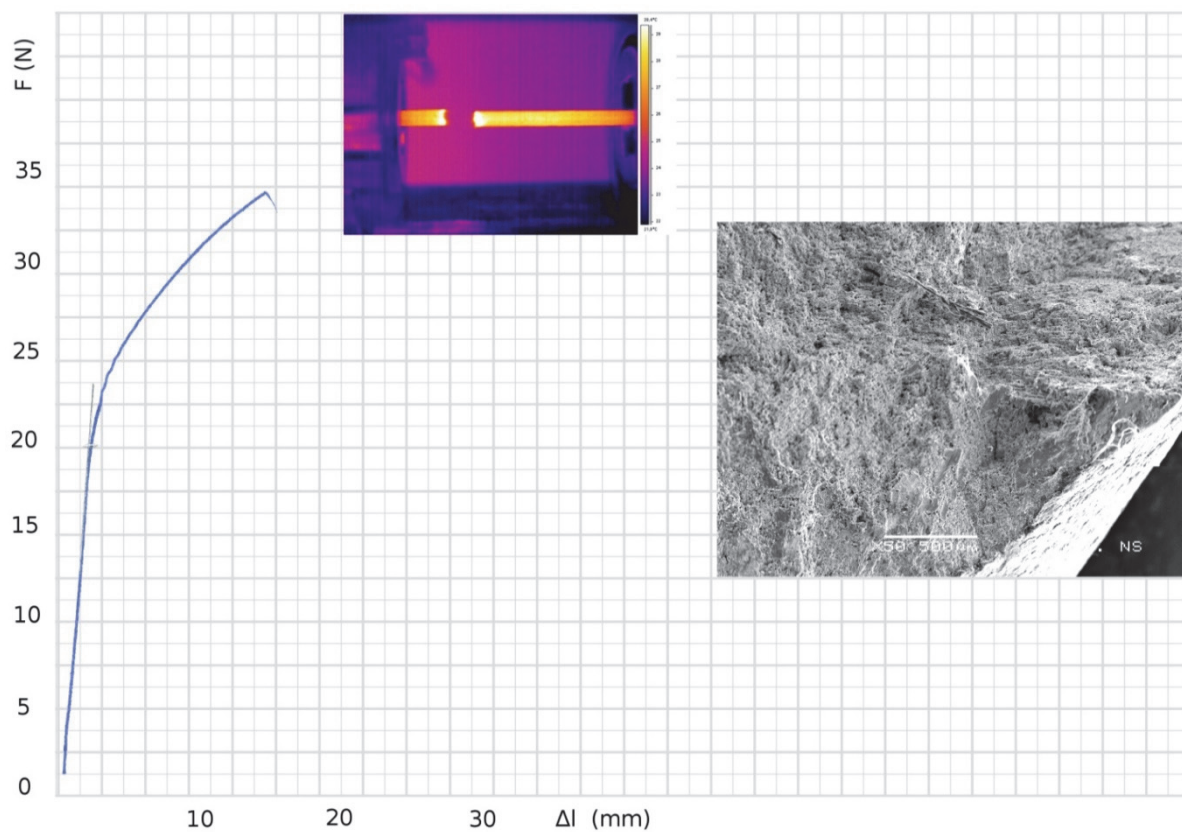
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



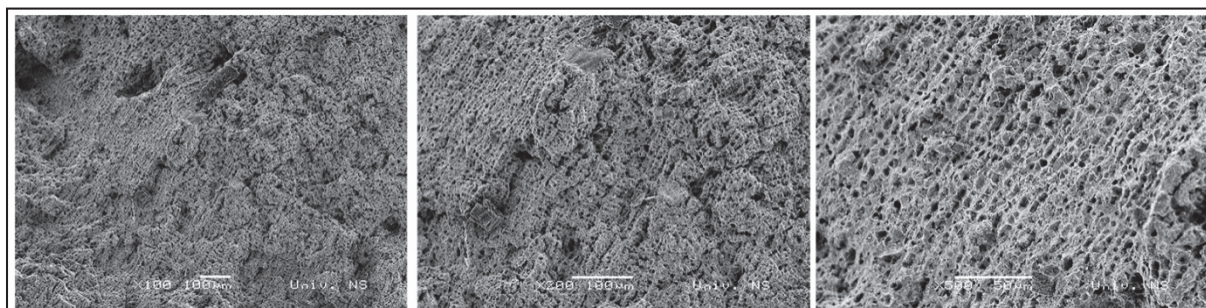
Slika 3.51. Termodijagrami za epruvetu 623.3

Na slici 3.52 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 623.3.

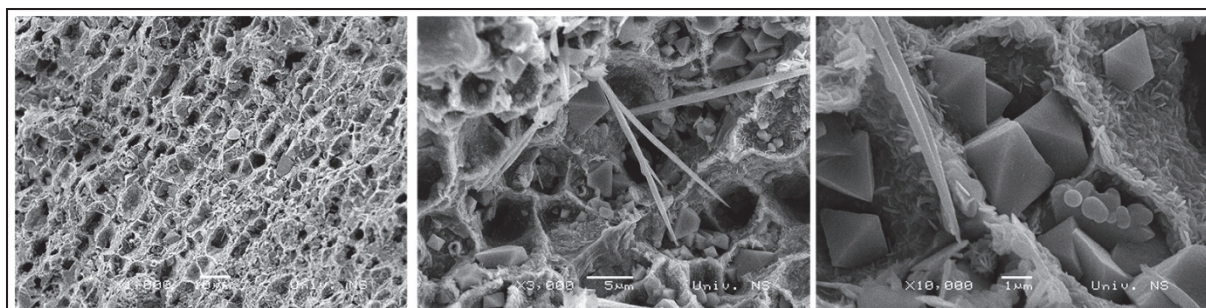




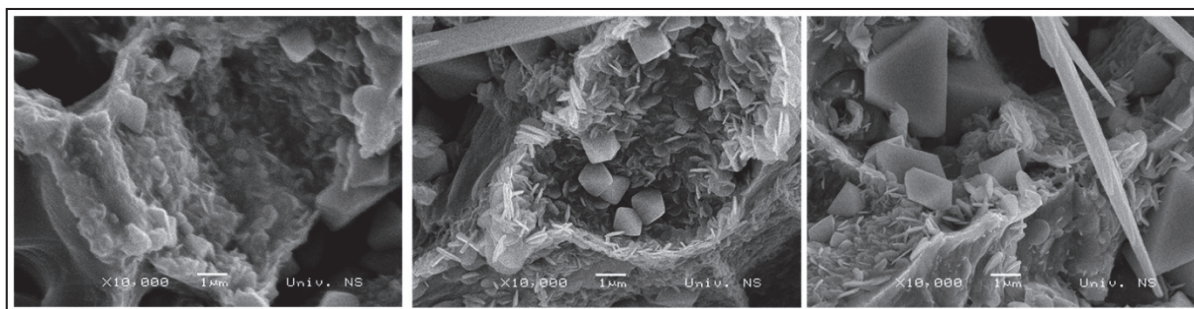
Slika 3.52. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 623.3



Slika 3.53. Uvećanje 100x, 200x, 500x / 623.3



Slika 3.54. Uvećanje 1000x, 3000x, 10000x / 623.3



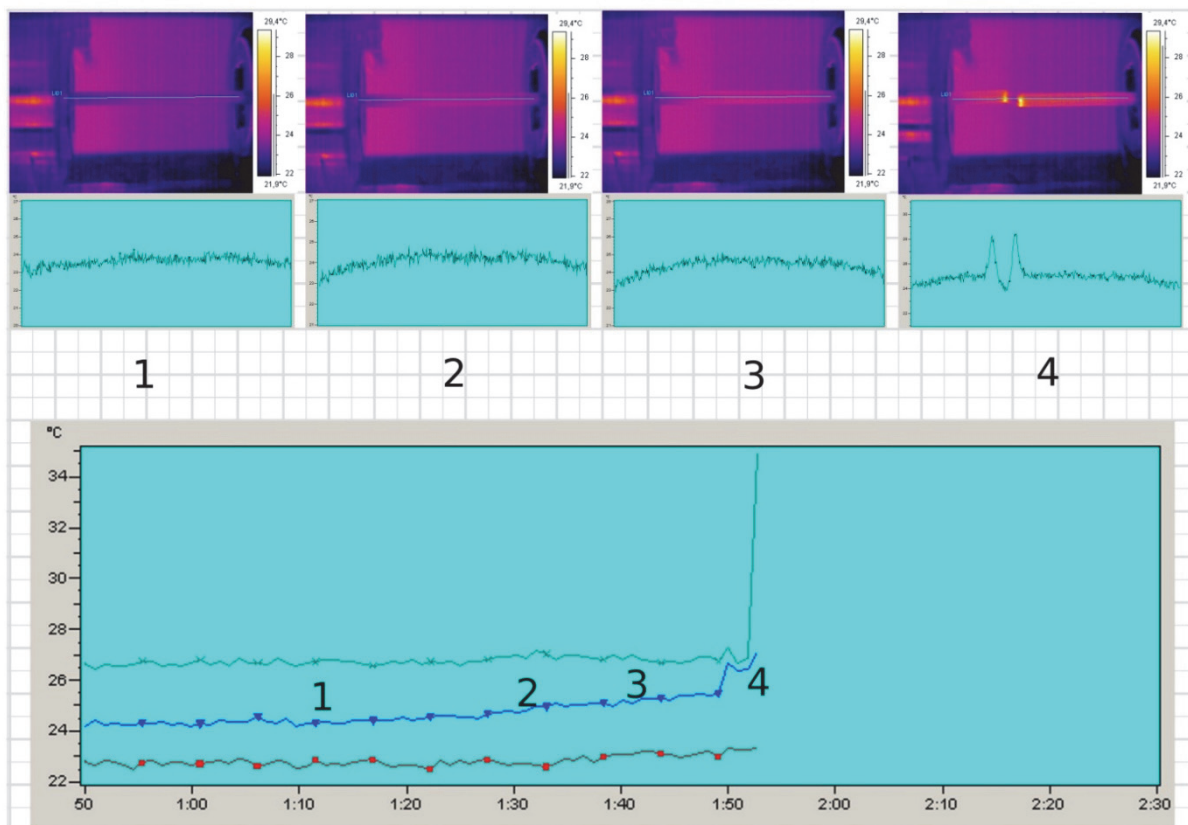
Slika 3.55. Uvećanje 10000x / 623.3

Tabela T.3.11. Rezultati merenja za epruvete iz serije 631

Oznaka uzorka	$a_0b_0$	$l_0$	$S_0$	$l_u$	$F_e$	$F_m$	$R_e$	$R_m$	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
631.1	12,1	120	114,9		19,9	31,2	173	271	
631.2	12,1	120	114,9	130	19,3	29,9	168	260	8
631.3	12,1	120	114,9	127	19	27,8	165	242	6
Srednja vrednost					19,4	29,63	168,67	257,67	0

Za analizu epruvete 631.3 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.56: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

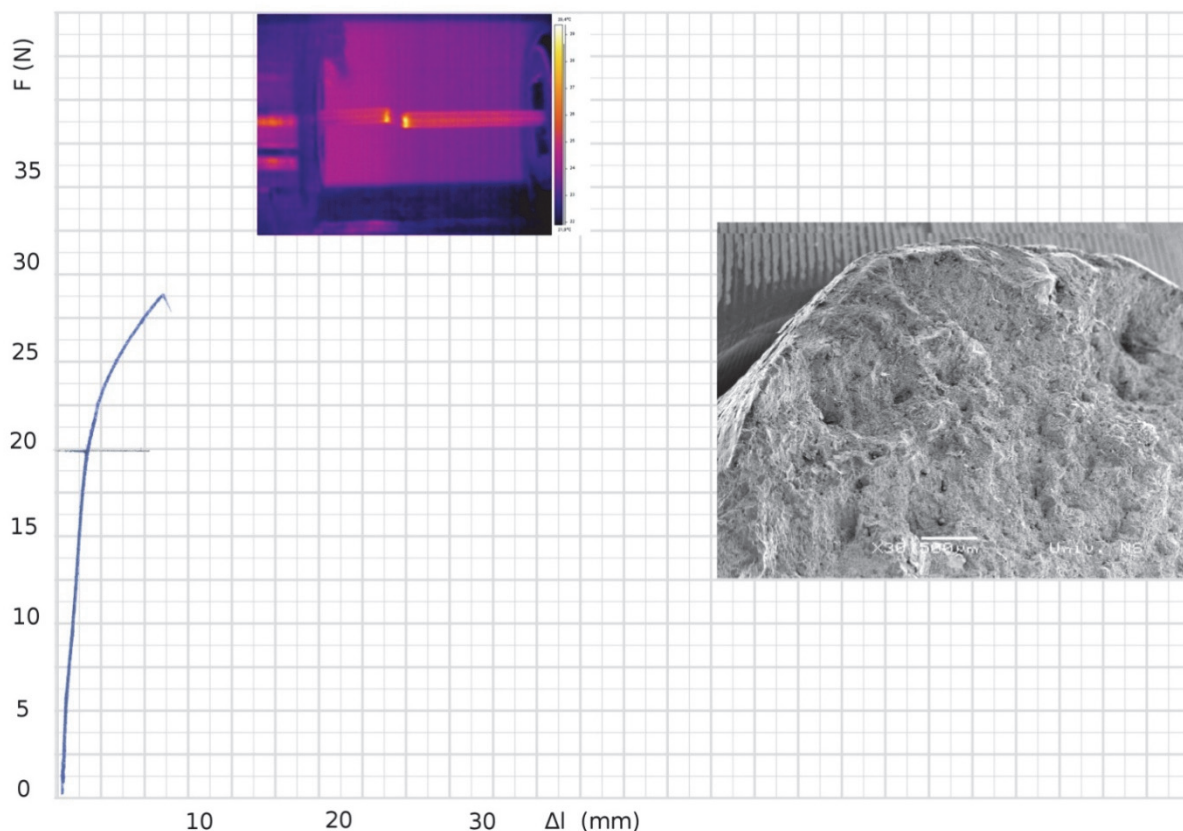
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



Slika 3.56. Termodijagrami za epruvetu 631.3

Na slici 3.57 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 631.3.





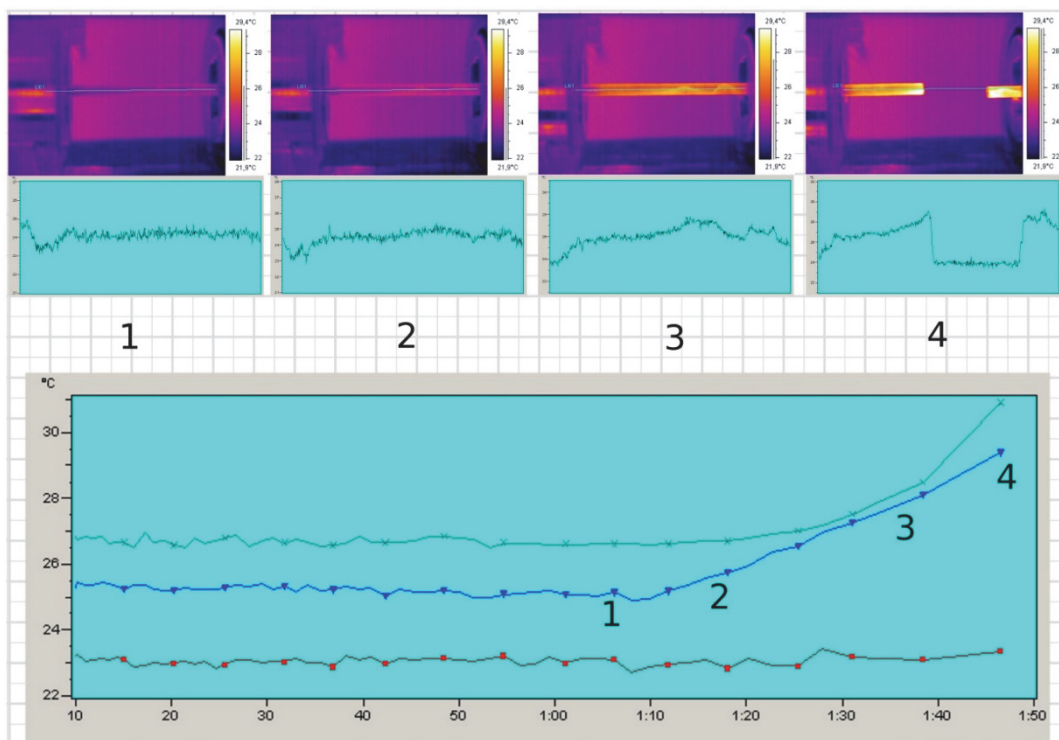
Slika 3.57. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 631.3

Tabela T.3.12. Rezultati merenja za epruvete iz serije 632

Oznaka uzorka	$a_0b_0$	$l_0$	$S_0$	$l_u$	$F_e$	$F_m$	$R_e$	$R_m$	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
632.1	12,1	120	114,9	136	20,1	34,6	175	301	13
632.2	12,1	120	114,9	136	21,2	34,5	184	300	13
632.3	12,1	120	114,9	137	20,3	34,8	177	303	14
Srednja vrednost					20,53	34,63	178,67	301,33	13,33

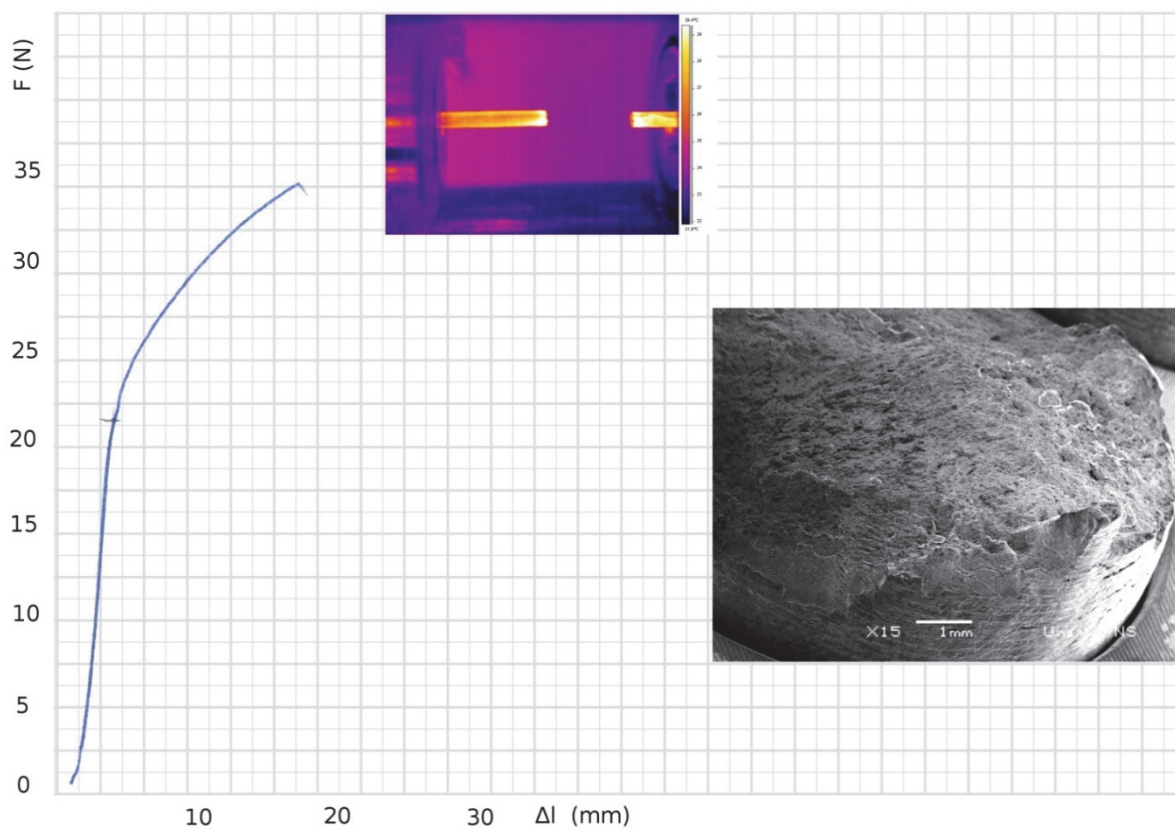
Za analizu epruvete 632.2 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.58: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 30 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



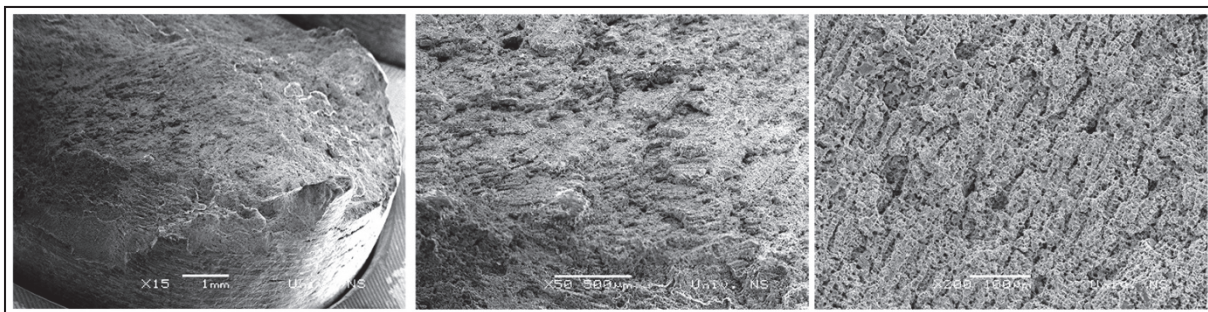
Slika 3.58. Termodijagrami za epruvetu 632.2

Na slici 3.59 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogram i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 632.2.

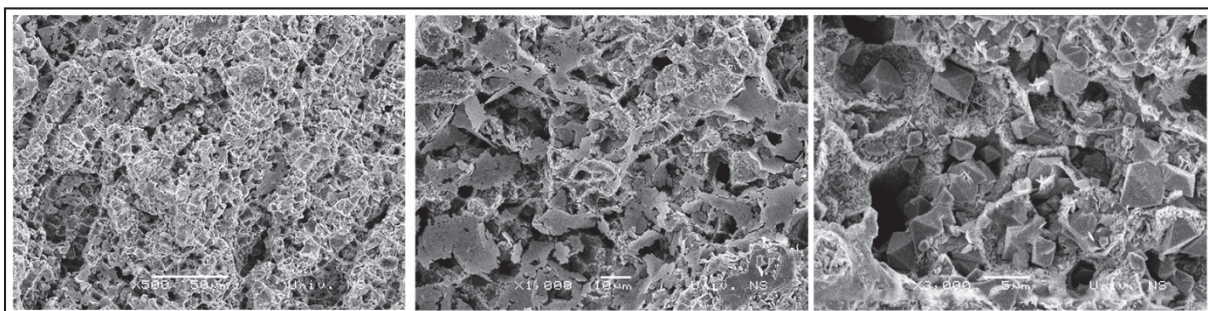


Slika 3.5. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 632

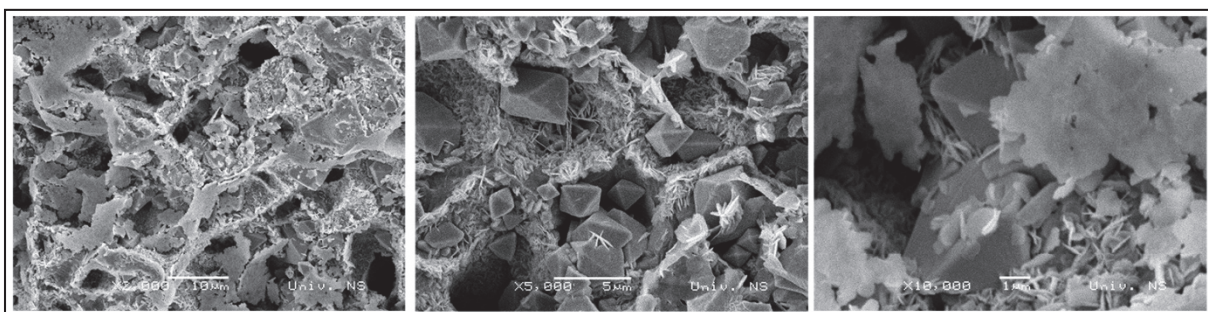




**Slika 3.60.** Uvećanje 15x, 50x, 200x / 632.2



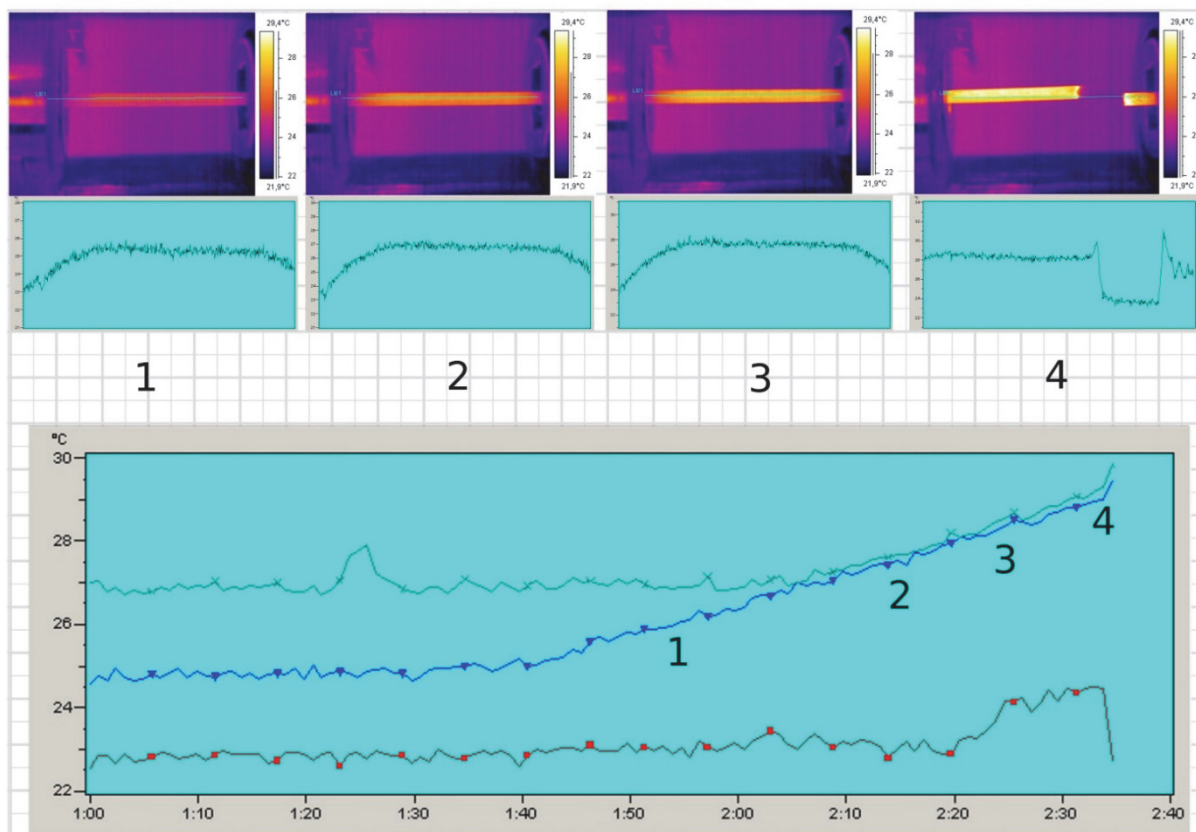
**Slika 3.61.** Uvećanje 500x, 1000x, 3000x / 632.2



**Slika 3.62.** Uvećanje 2000x, 5000x, 10000x / 632.2

Za analizu epruvete 632.3 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.63: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

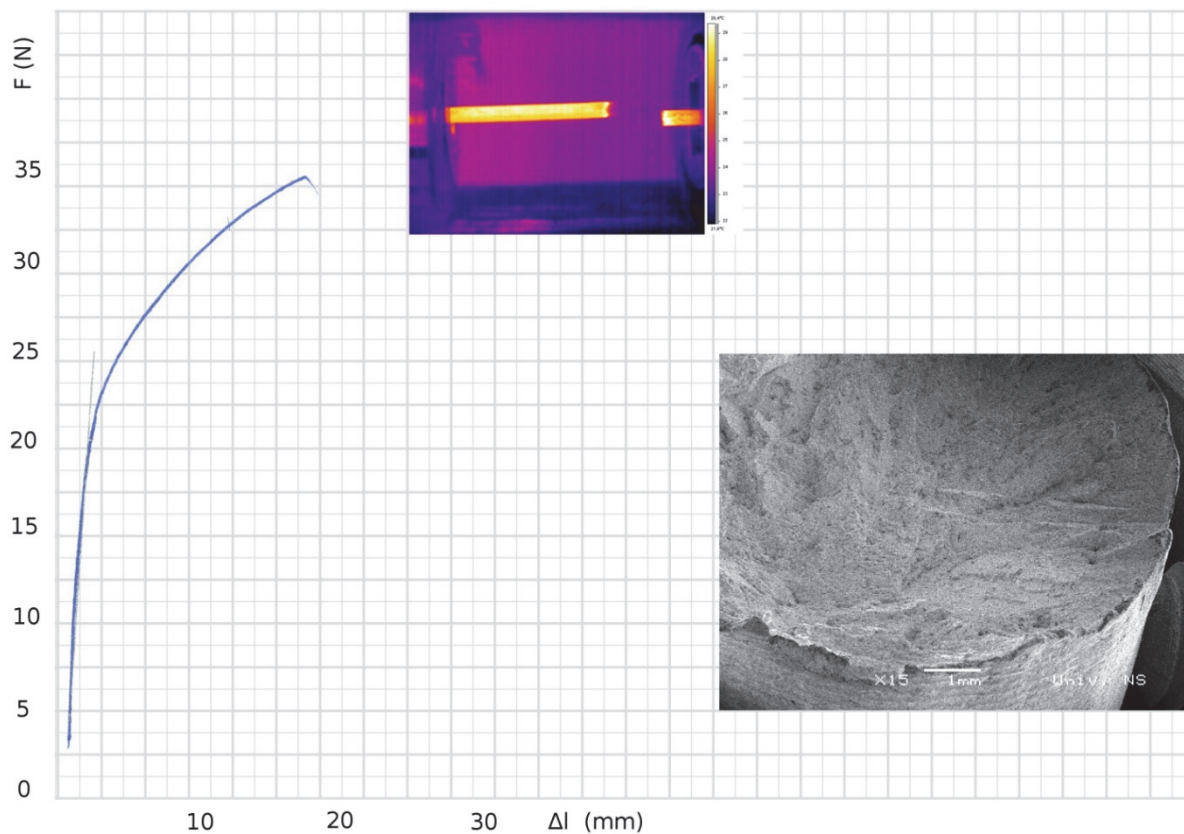
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



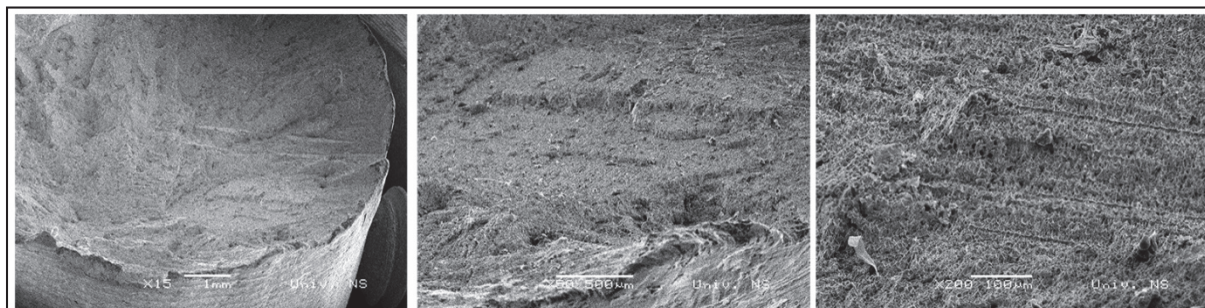
Slika 3.63. Termodijagrami za epruvetu 632.3

Na slici 3.64 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 632.3.

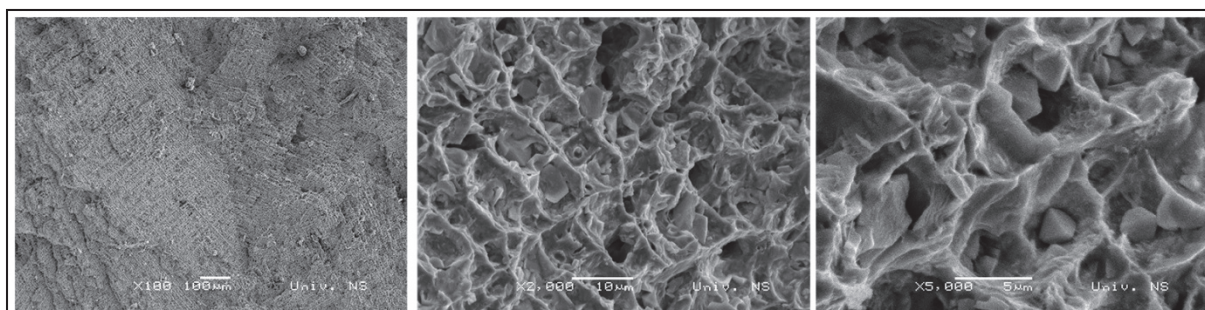




Slika 3.64. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 632.3



Slika 3.65. Uvećanje 15x, 50x, 200x / 632.3



Slika 3.66. Uvećanje 100x, 2000x, 5000x / 632.3

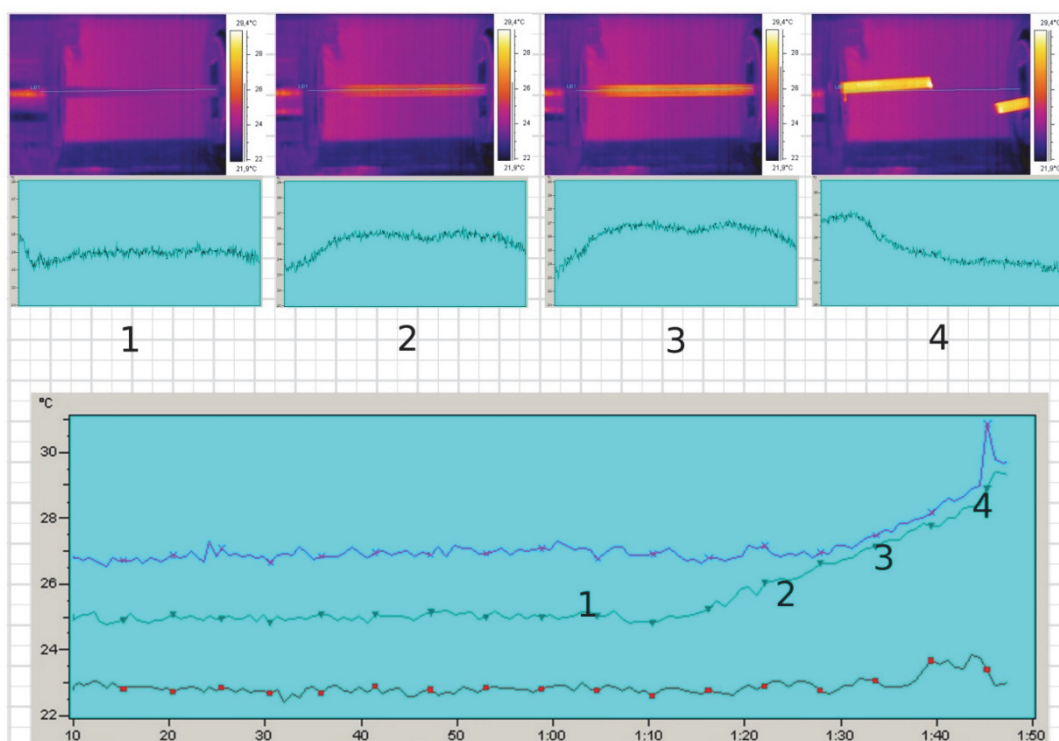


**Tabela T.3.13.** Rezultati merenja za epruvete iz serije 633

Oznaka uzorka	$a_0b_0$	$l_0$	$S_0$	$l_u$	$F_e$	$F_m$	$R_e$	$R_m$	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
633.1	12,1	120	114,9	135	20,6	33,4	179	291	12
633.2	12,1	120	114,9		20,6	33,7	179	293	
633.3	12,05	120	114	136	20,7	30,7	182	269	13
Srednja vrednost					20,63	32,6	180	284,33	0

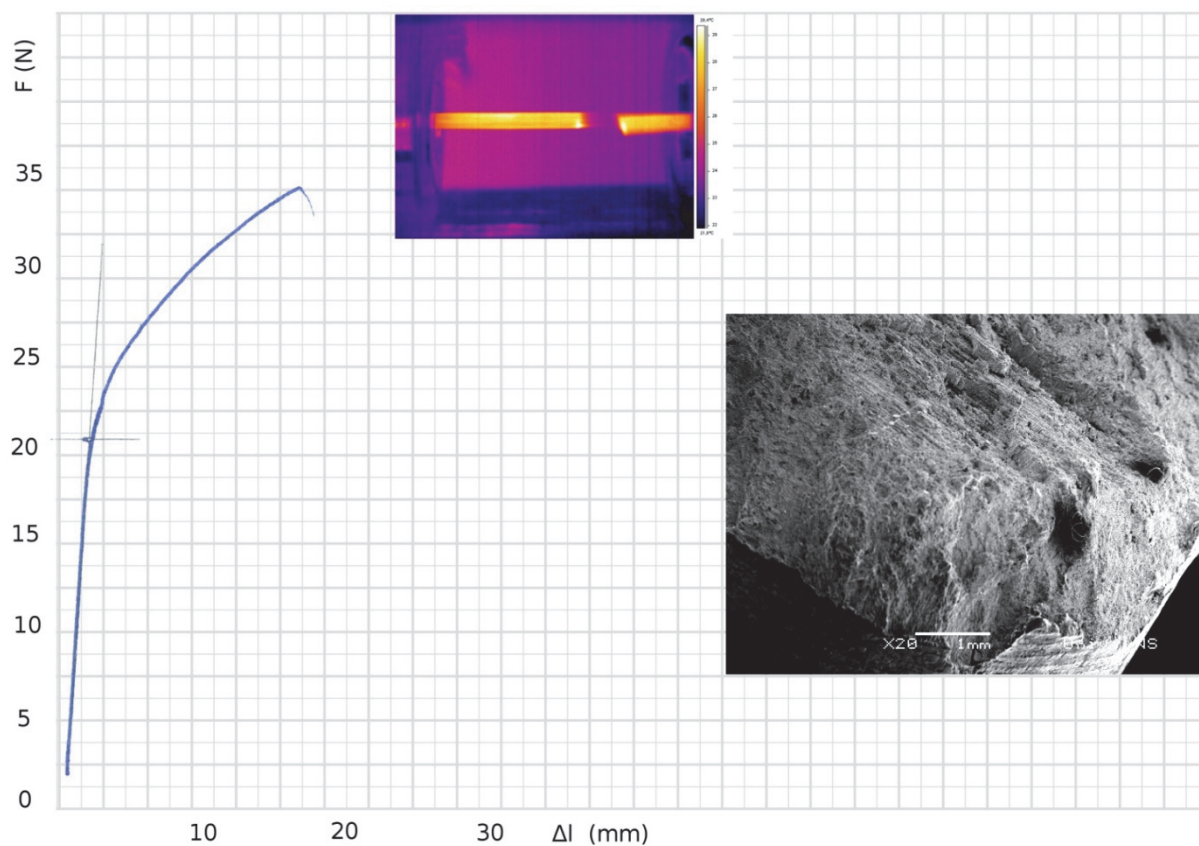
Za analizu epruvete 633.1 sa kružnim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.67: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 30 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida

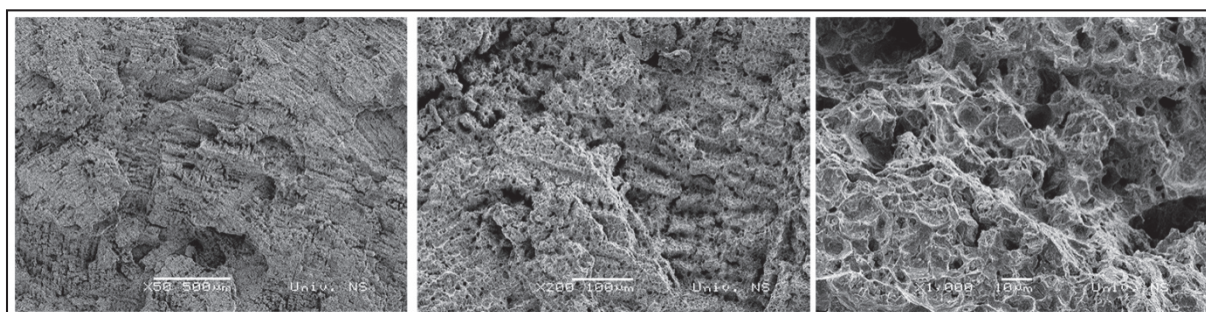


**Slika 3.67.** Termodijagrami za epruvetu 633.1

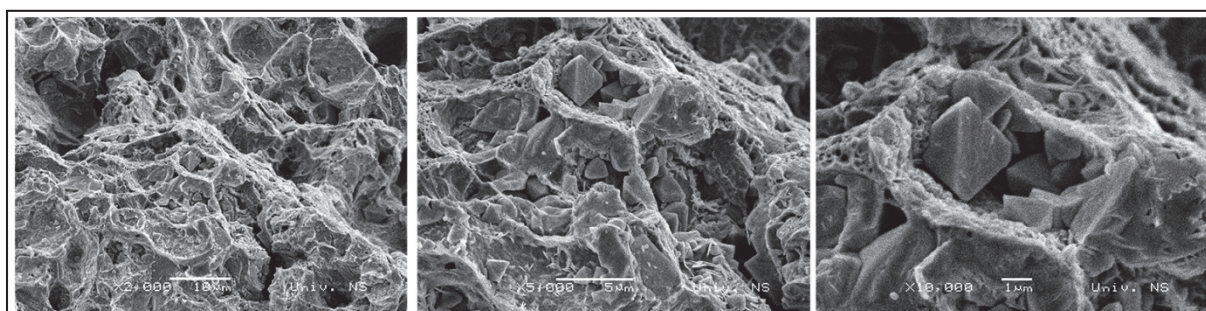
Na slici 3.68 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 633.1.



Slika 3.68. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 633.1

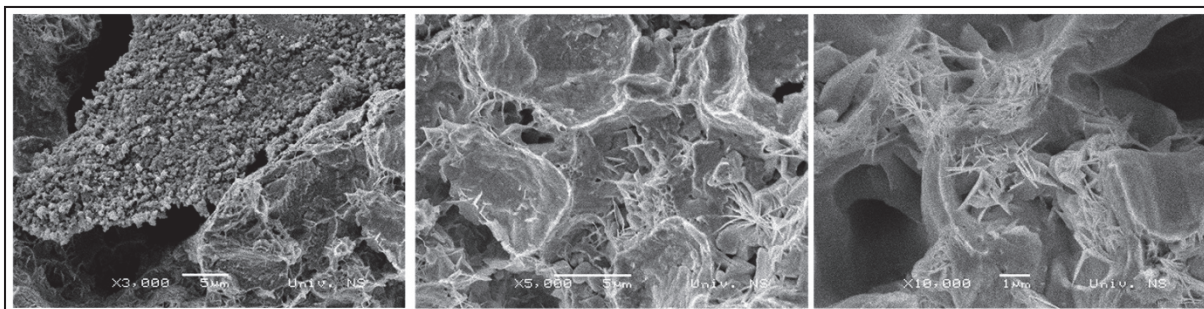


Slika 3.69. Uvećanje 50x, 200x, 1000x / 633.1

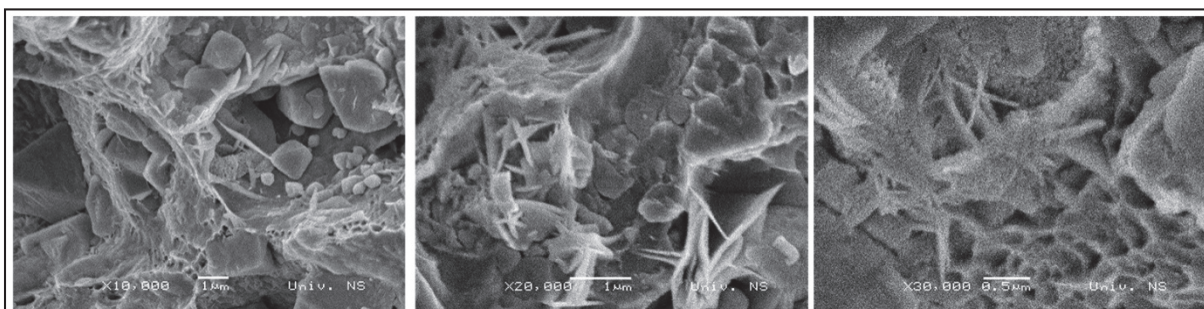


Slika 3.70. Uvećanje 2000x, 5000x, 10000x / 633.1

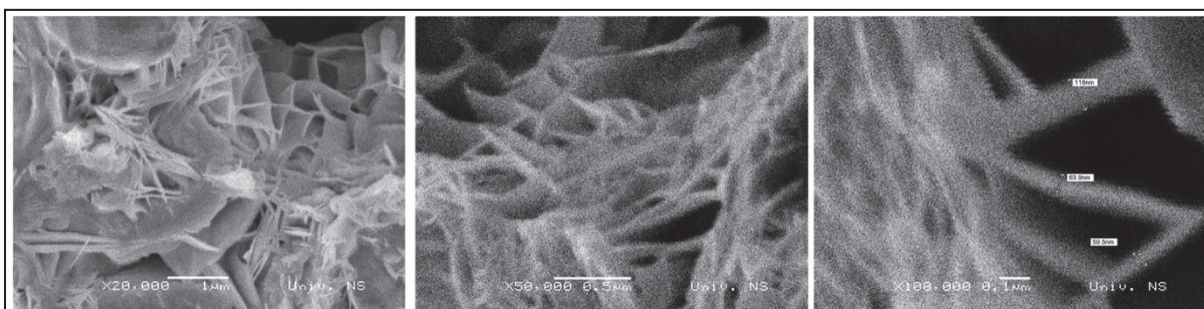




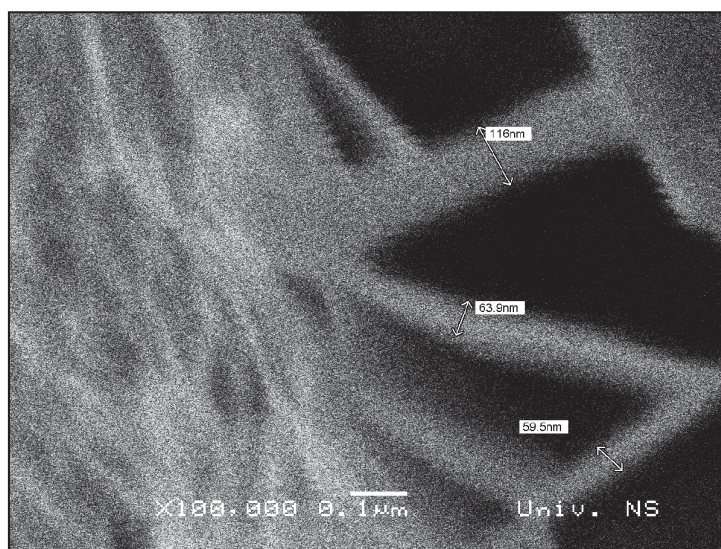
Slika 3.71. Uvećanje 3000x, 5000x, 10000x / 633.1



Slika 3.72. Uvećanje 10000x, 20000x, 30000x / 633.1

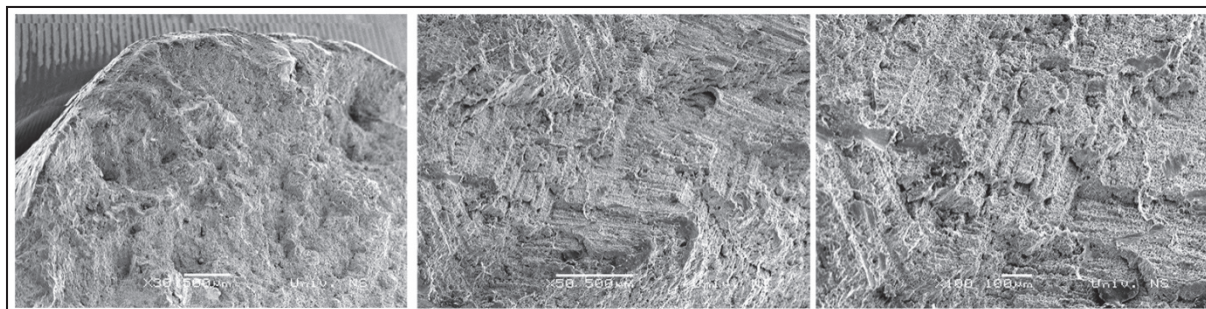


Slika 3.73. Uvećanje 20000x, 50000x, 100000x / 633.1

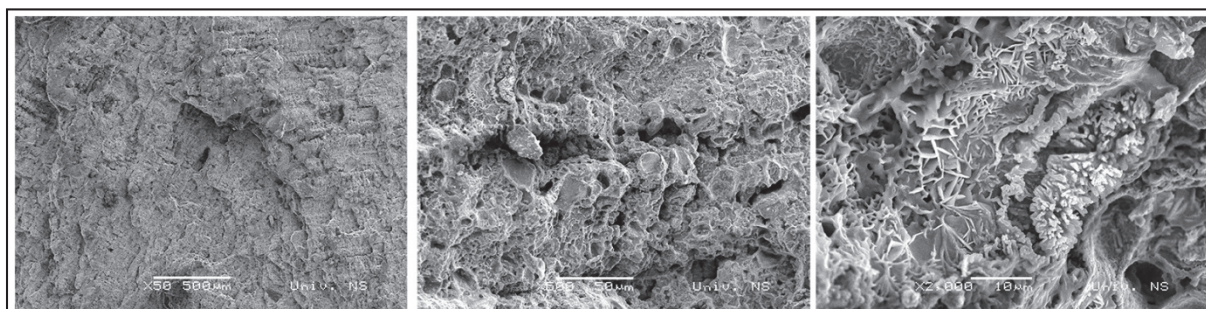


Slika 3.74. Uvećanje 100000x zauzorak 633.1

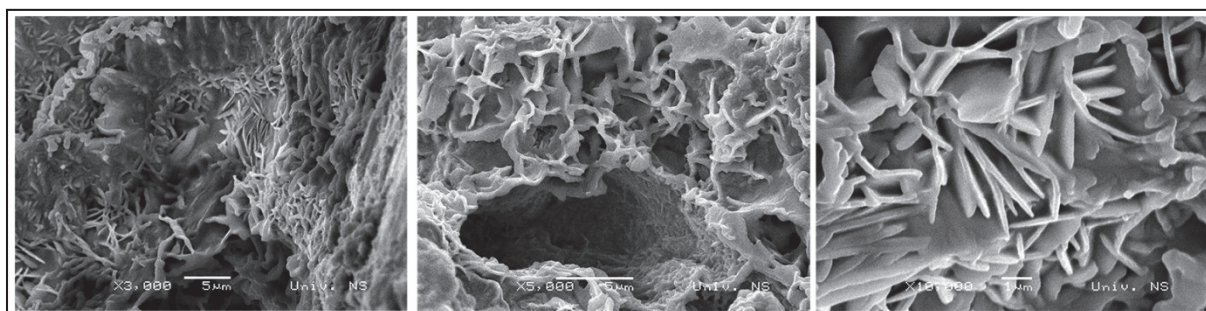




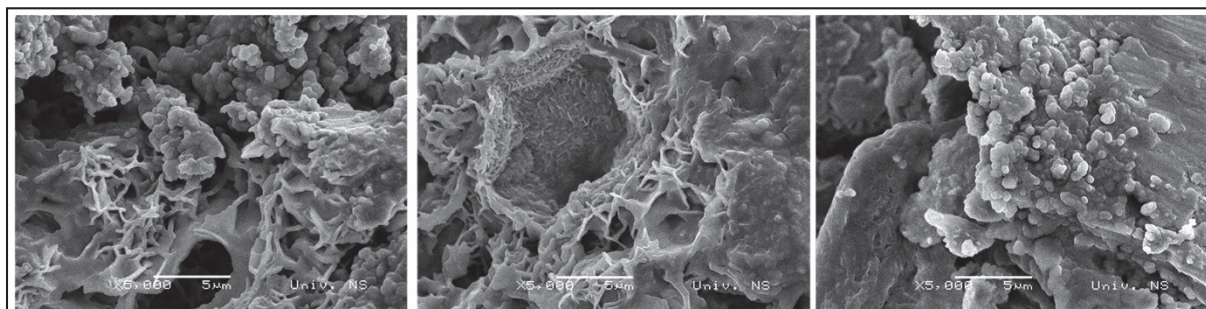
Slika 3.75. Uvećanje 30, 50, 100 / 633.3



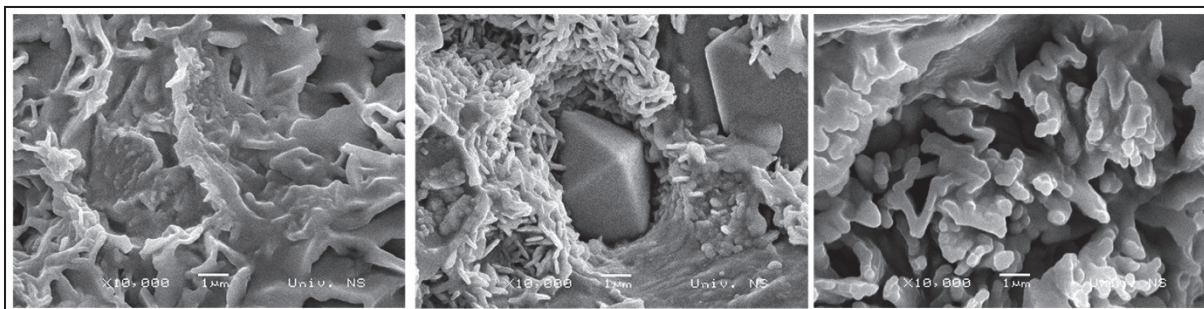
Slika 3.76. Uvećanje 50x, 500x, 2000x / 633.3



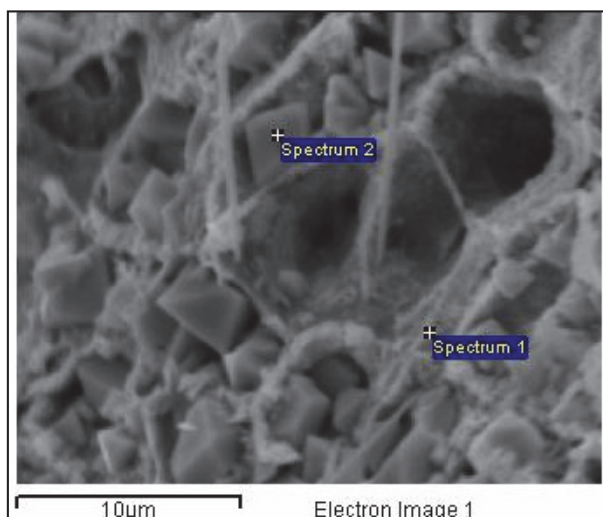
Slika 3.77. Uvećanje 3000x, 5000x, 10000x / 633.3



Slika 3.78. Uvećanje 5000x / 633.3



Slika 3.79. Uvećanje 10000x / 633.3

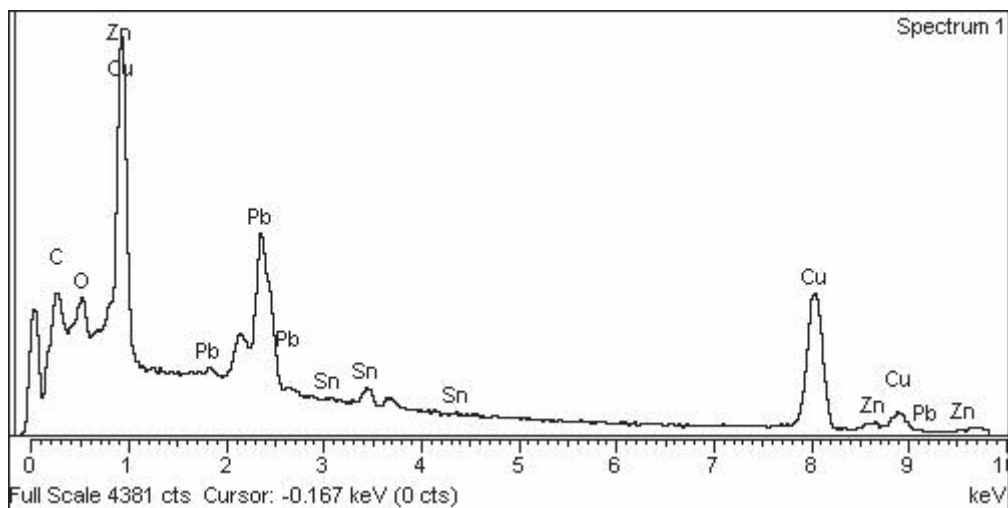


Slika 3.80. Spectrum 633.3

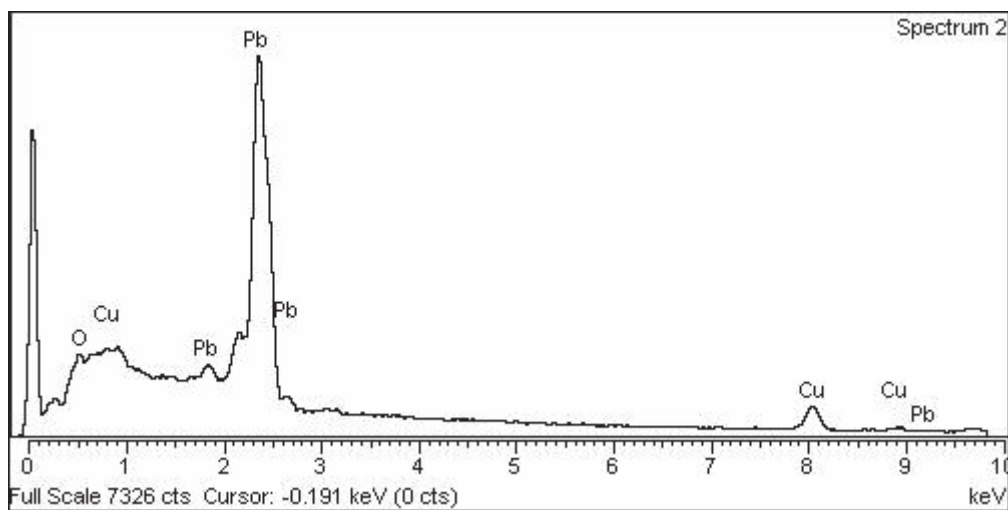
Spectrum	In stats.	C	O	Cu	Zn	Sn	Pb	Total
Spectrum 1	Yes	27.61	12.52	34.95	1.99	3.19	19.74	100.00
Spectrum 2	Yes		9.20	10.34			80.46	100.00
Max.		27.61	12.52	34.95	1.99	3.19	80.46	
Min.		0.00	9.20	10.34	0.00	0.00	19.74	

a)



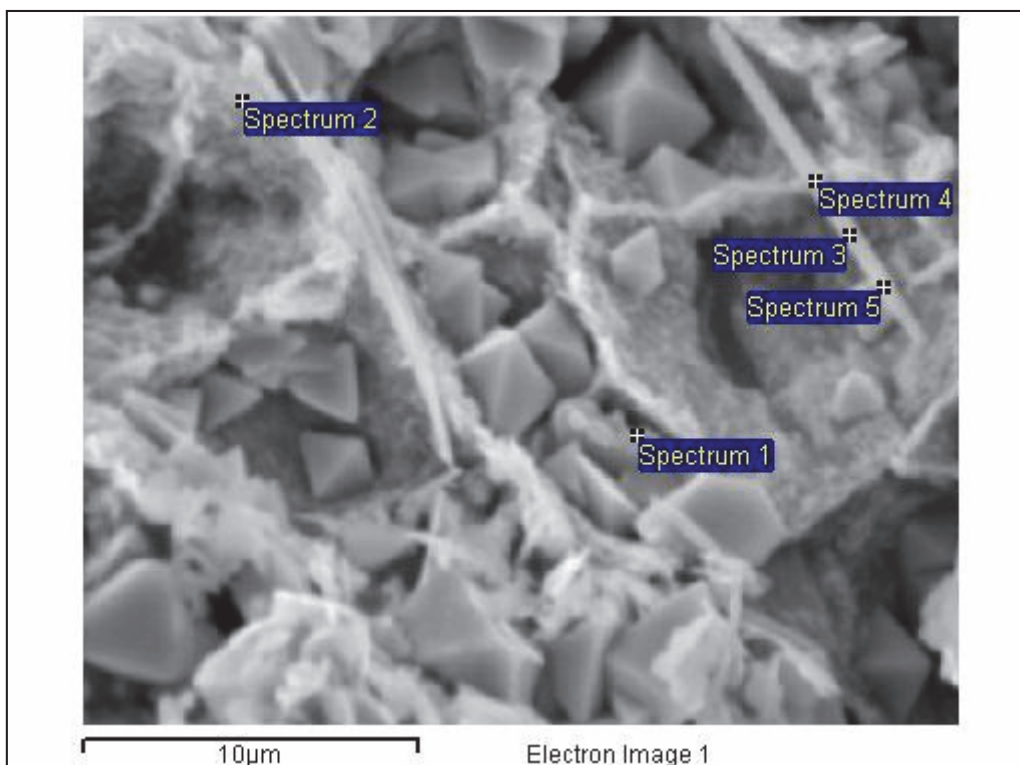


b)



c)

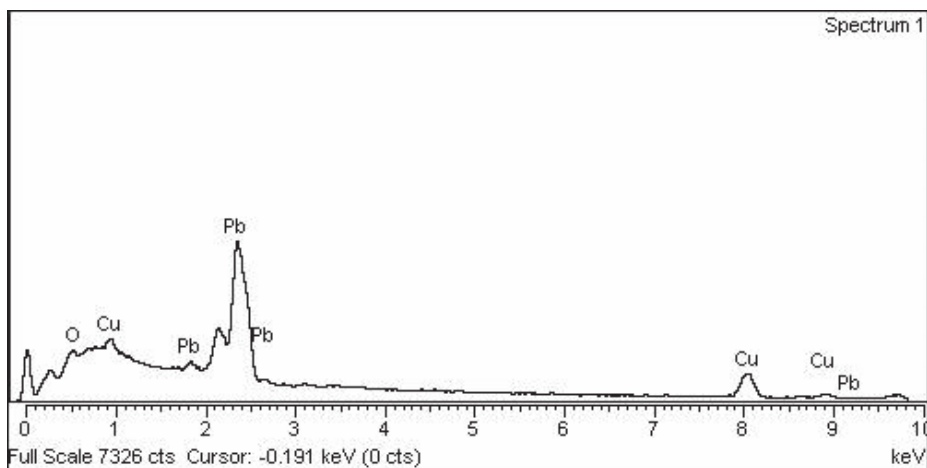
Slika 3.81. Spectrum 633.3



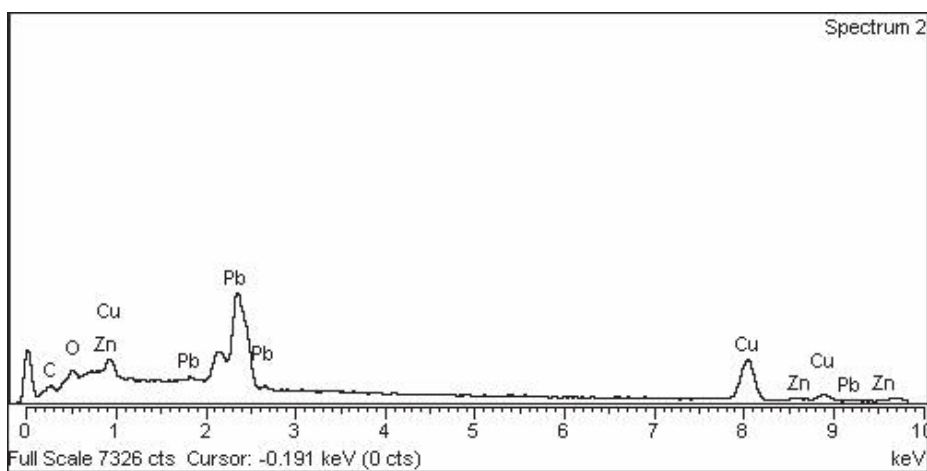
Spectrum	In stats.	C	O	Cu	Zn	Sn	Pb	Total
Spectrum 1	Yes		14.39	21.01			64.60	100.00
Spectrum 2	Yes	15.22	9.50	33.25	1.53		40.50	100.00
Spectrum 3	Yes		11.62	34.58		3.01	50.79	100.00
Spectrum 4	Yes	21.19	10.47	23.04		1.88	43.41	100.00
Spectrum 5	Yes		14.36	14.55			71.09	100.00
<b>Max.</b>		21.19	14.39	34.58	1.53	3.01	71.09	
<b>Min.</b>		0.00	9.50	14.55	0.00	0.00	40.50	

Slika 3.82. Spectrum 633.3.a

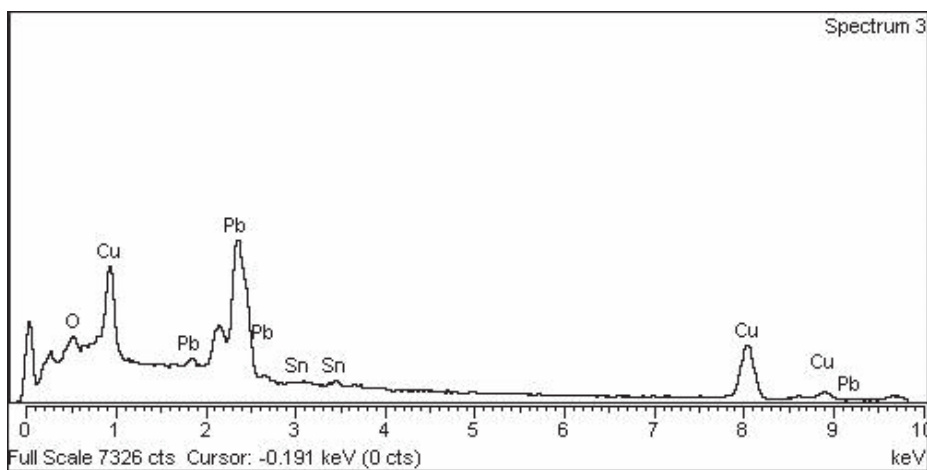
Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronz



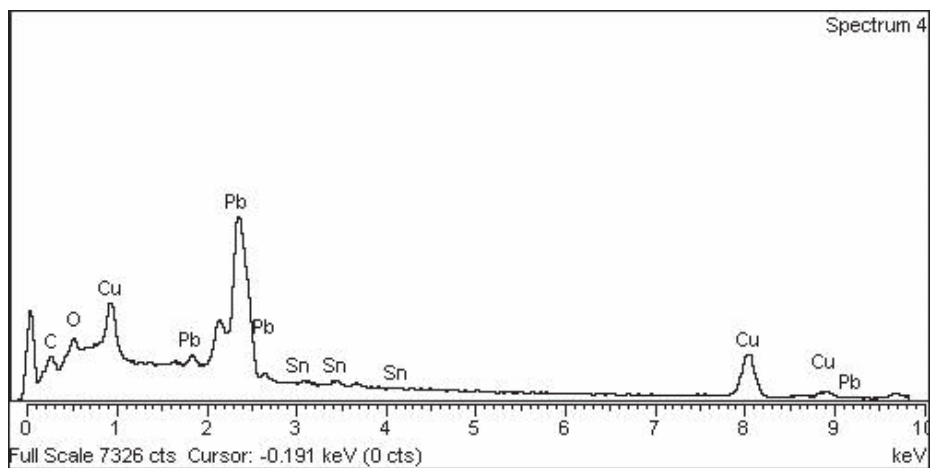
a)



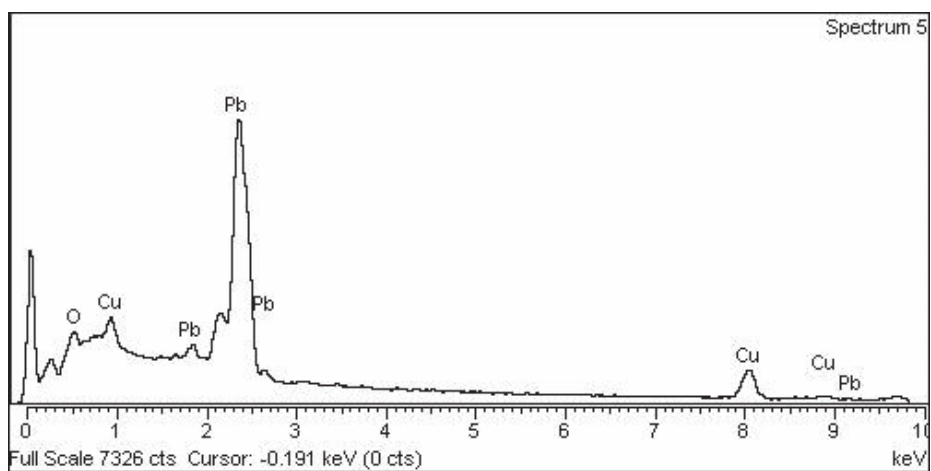
b)



c)



d)



e)

Slika 3.83. Spectrum 633.3



Poprečni presek uzorka 633.3, 20X uvećanje



Uzdužni presek uzorka 633.3, 20X uvećanje





Poprečni presek uzorka 633.3, 100X uvećanje



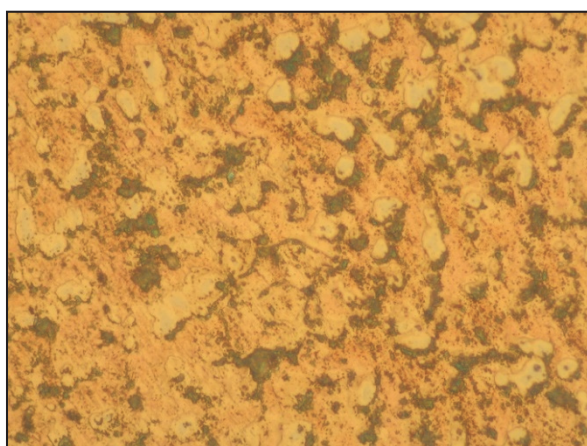
Uzdužni presek uzorka 633.3, 100X uvećanje



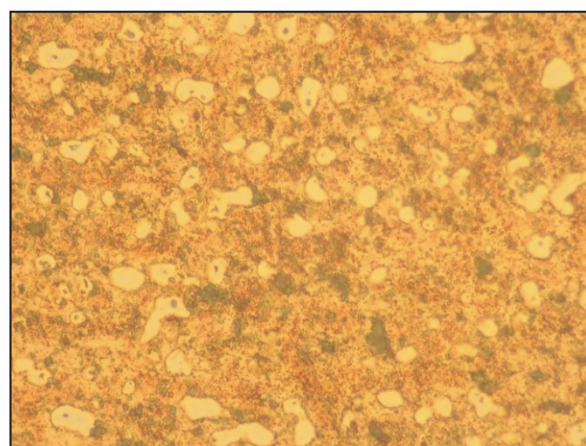
Poprečni presek uzorka 633.3, 200X uvećanje



Uzdužni presek uzorka 633.3, 200X uvećanje



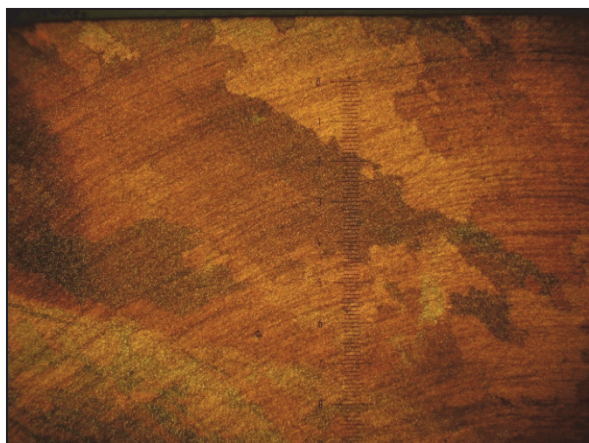
Poprečni presek uzorka 633.3, 500X uvećanje



Uzdužni presek uzorka 633.3, 500X uvećanje

**Slika 3.84.** Snimak metalografskih ispitivanja sa različitim uvećanjima za poprečni i uzdužni presek uzorka 633.3





Poprečni presek uzorka 633.3



Uzdužni presek uzorka 633.3

Slika 3.85. Snimak metalografskih ispitivanja za poprečni i uzdužni presek uzorka 633.3 bez uvećanja

### 3.5.2. Rezultati ispitivanja za pun šestougaoni profil OK27mm

Režimi livenja priprema šestougaonog profila, OK 27mm, dati su u tabeli T3.14. Rezultati mehaničkog merenja za epruvete iz serije 1012 su prikazani u tabeli T.3.14.

Tabela T.3.14. Režimi livenja za uzorke od punog šestougaonog profila ok 27

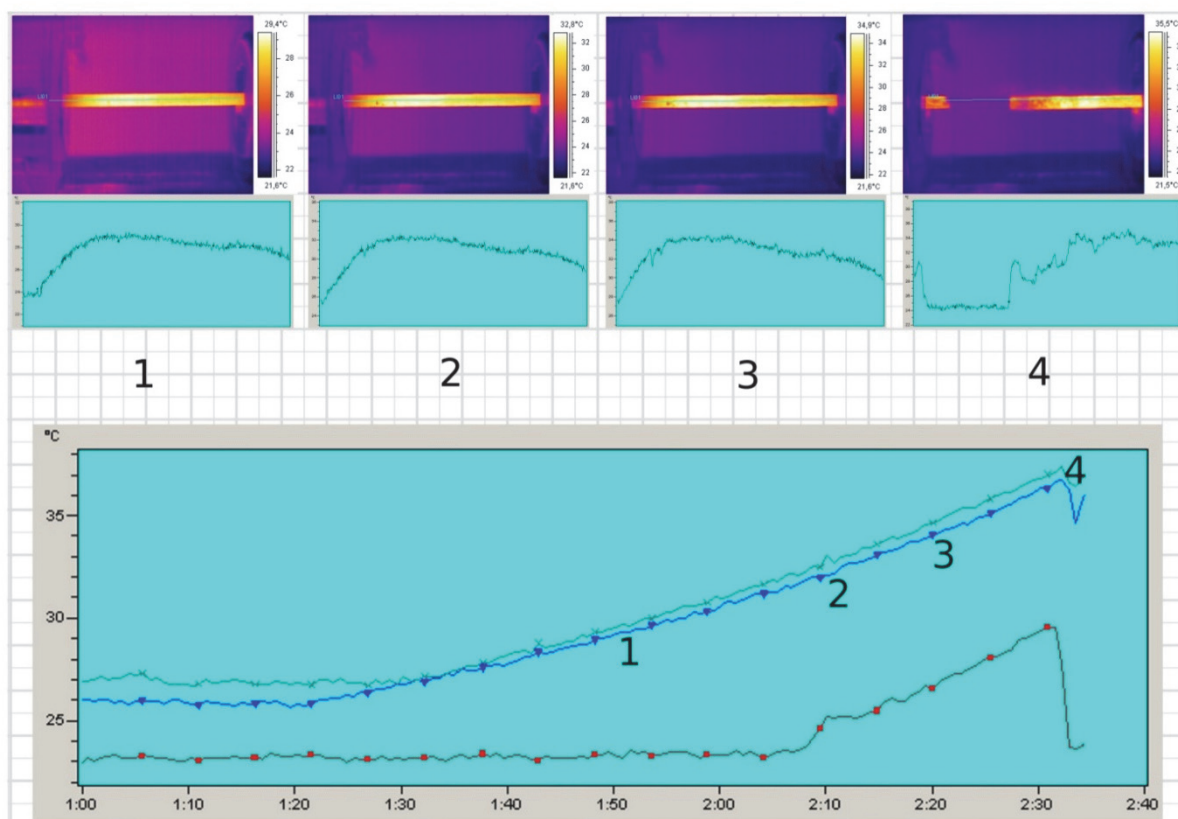
Broj promena	Veličina koraka	promena	sekundi		
1	21	1	1.9	188	1011
		2	2.1	174	1012
		3	2.3	161	1013
2	17	1	2.3	133	1021
		2	2.1	144	1022
		3	1.9	157	1023
3	25	1	1.9	221	1031
		2	2.1	199	1032
		3	2.3	186	1033

Tabela T.3.15. Rezultati ispitivanja za epruvete iz serije 1012

Oznaka uzorka	a0b0	l0	S0	lu	Fe	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
1012.1	11,9	120	111,2	161	16,1	36,1	145	327	34
1012.2	11,85	120	110,3	156	15,9	35,6	144	323	30
1012.3	11,85	120	110,3	156	16,3	35,2	148	319	30
Srednja vrednost					16,1	35,63	145,67	323	31,33

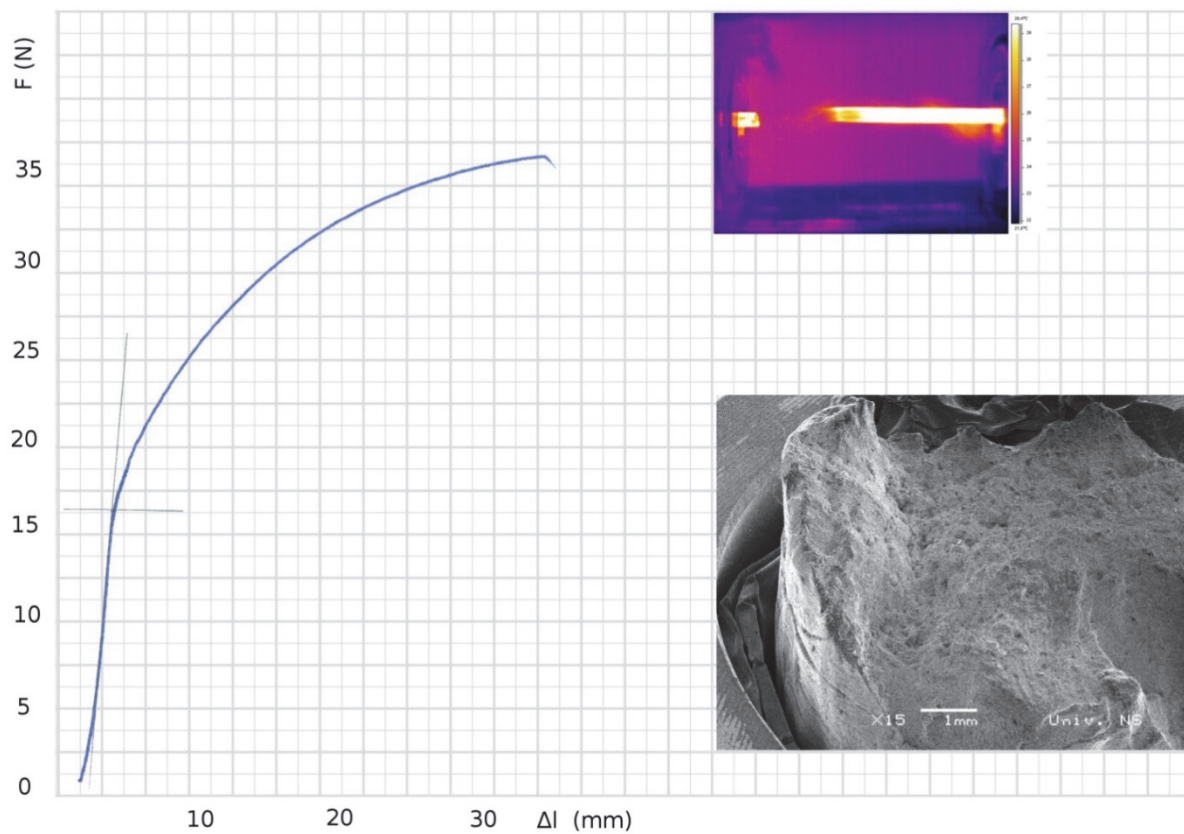
Za analizu epruvete 1012.2 sa šestougaonim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.86: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida

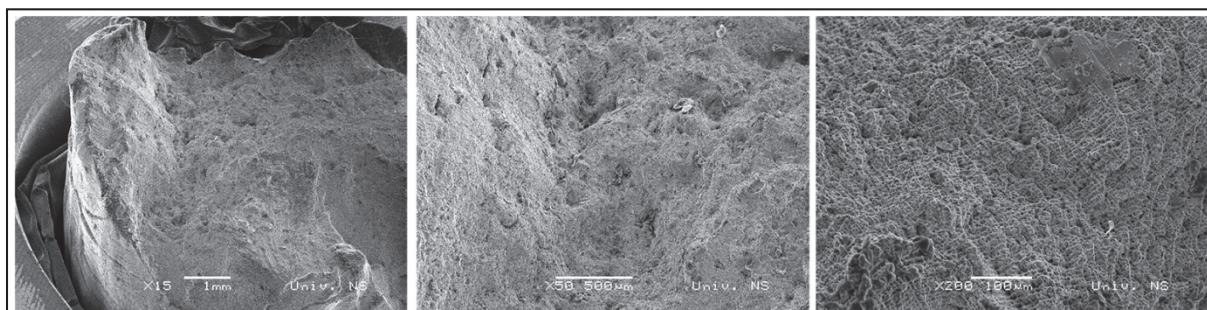


Slika 3.86. Termodijagrami za epruvetu 1012.2

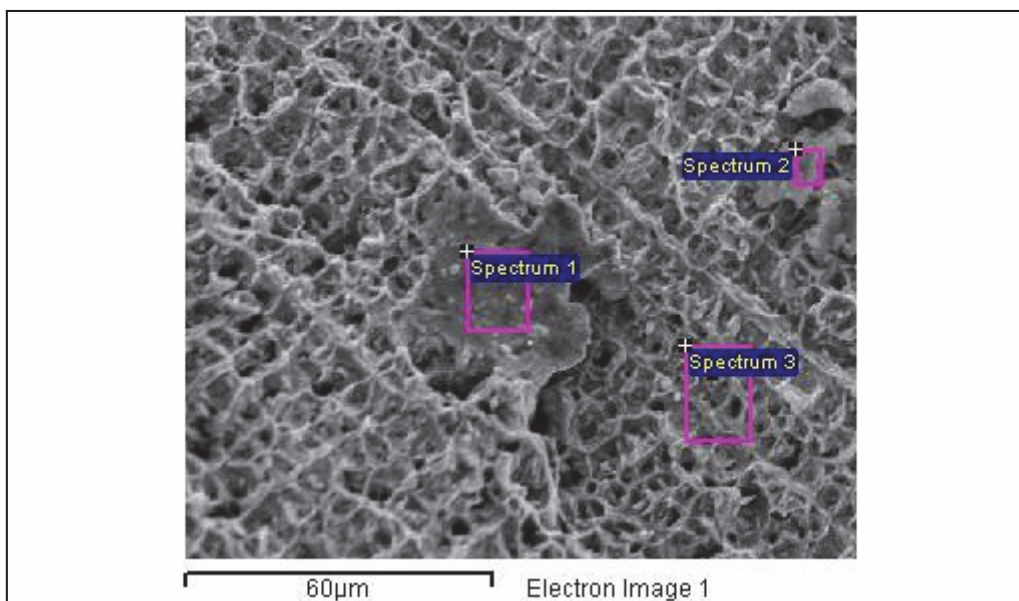
Na slici 3.87 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 1012.2.



Slika 3.87. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 1012.2

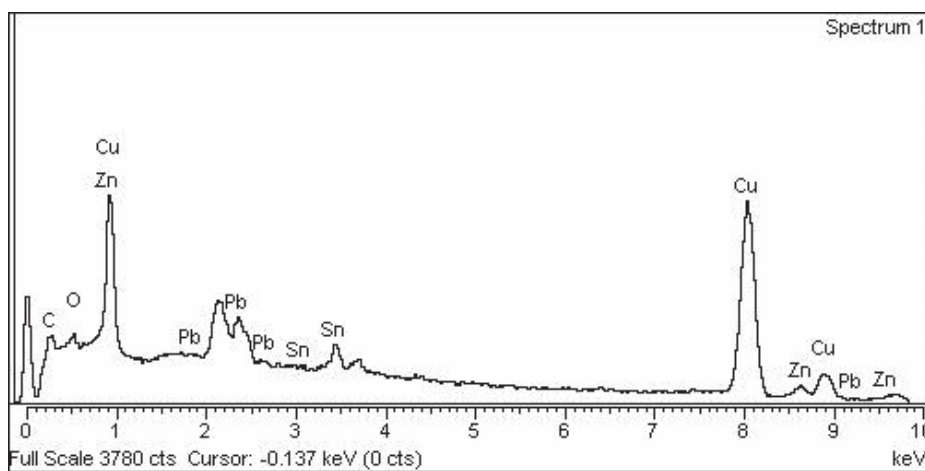


Slika 3.88. Uvećanje 15, 50, 100 / 1012.2



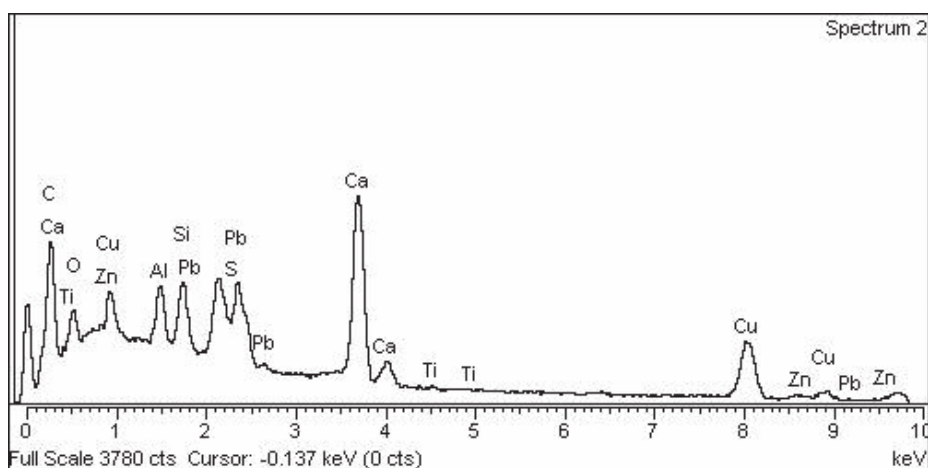
Spectrum	Inst ats.	C	O	Al	Si	S	Ca	Ti	Cu	Zn	Sn	Pb	Total
Spectrum 1	Yes	21.38	4.53						58.25	3.67	4.69	7.47	100.00
Spectrum 2	Yes	46.69	15.71	2.21	2.37	0.47	9.68	0.23	13.64	0.86		8.15	100.00
Spectrum 3	Yes	27.46	3.71						51.03	3.64	4.16	10.00	100.00
Max.		46.69	15.71	2.21	2.37	0.47	9.68	0.23	58.25	3.67	4.69	10.00	
Min.		21.38	3.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.64	0.86	0.00	7.47	

Slika 3.89. Spectrum 1012.2



Slika 3.90. Spectrum 1012.2





Slika 3.91. Spectrum 1012.2

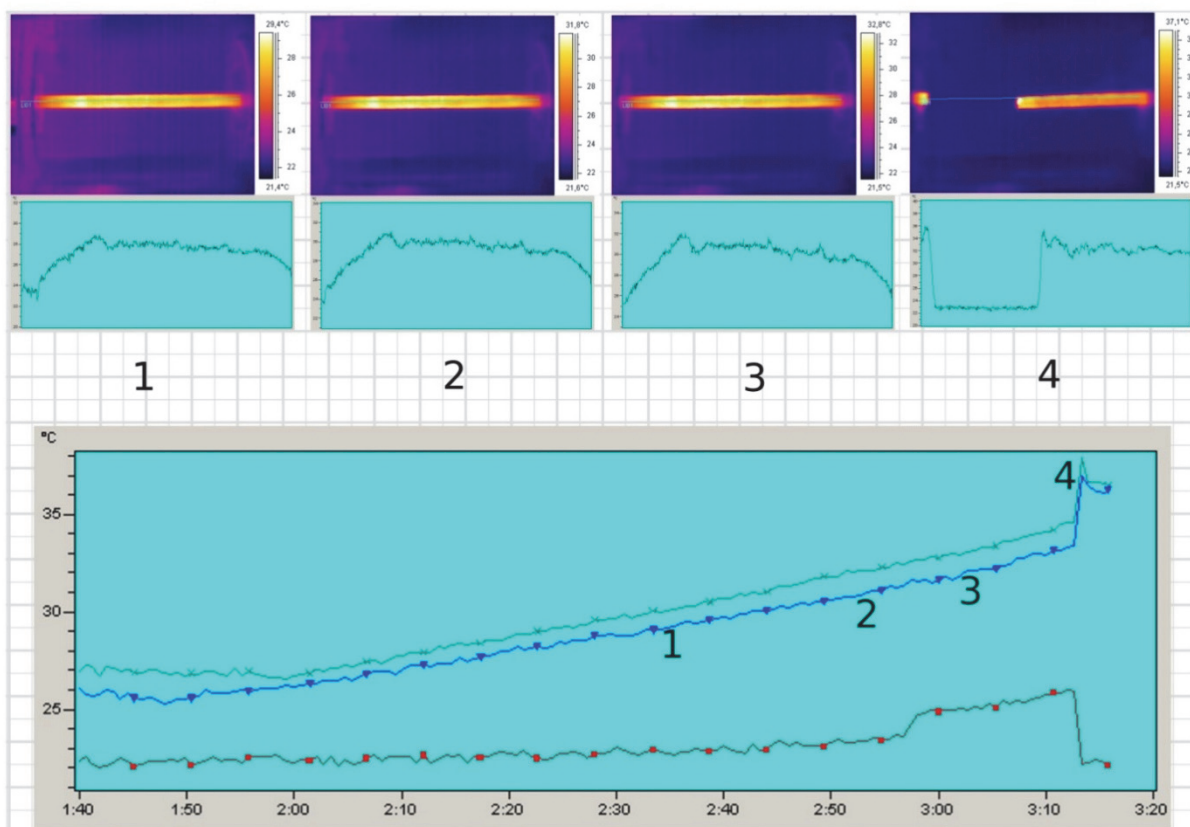
Tabela T.3.16. Rezultati merenja za epruvete iz serije 1031

Oznaka uzorka	$a_0b_0$	$l_0$	$S_0$	$l_u$	$F_e$	$F_m$	$R_e$	$R_m$	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
1031.1	12,0	120	113,1	153	17,2	35,5	152	317	28
1031.2	12,0	120	113,1	155	16,7	35,7	148	316	29
1031.3	12,0	120	113,1	147	17,0	34,1	150	302	22
Srednja vrednost					16,97	35,1	150	311,67	26,33

Za analizu epruvete 1031.2 sa šestougaoim presekom izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.92: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

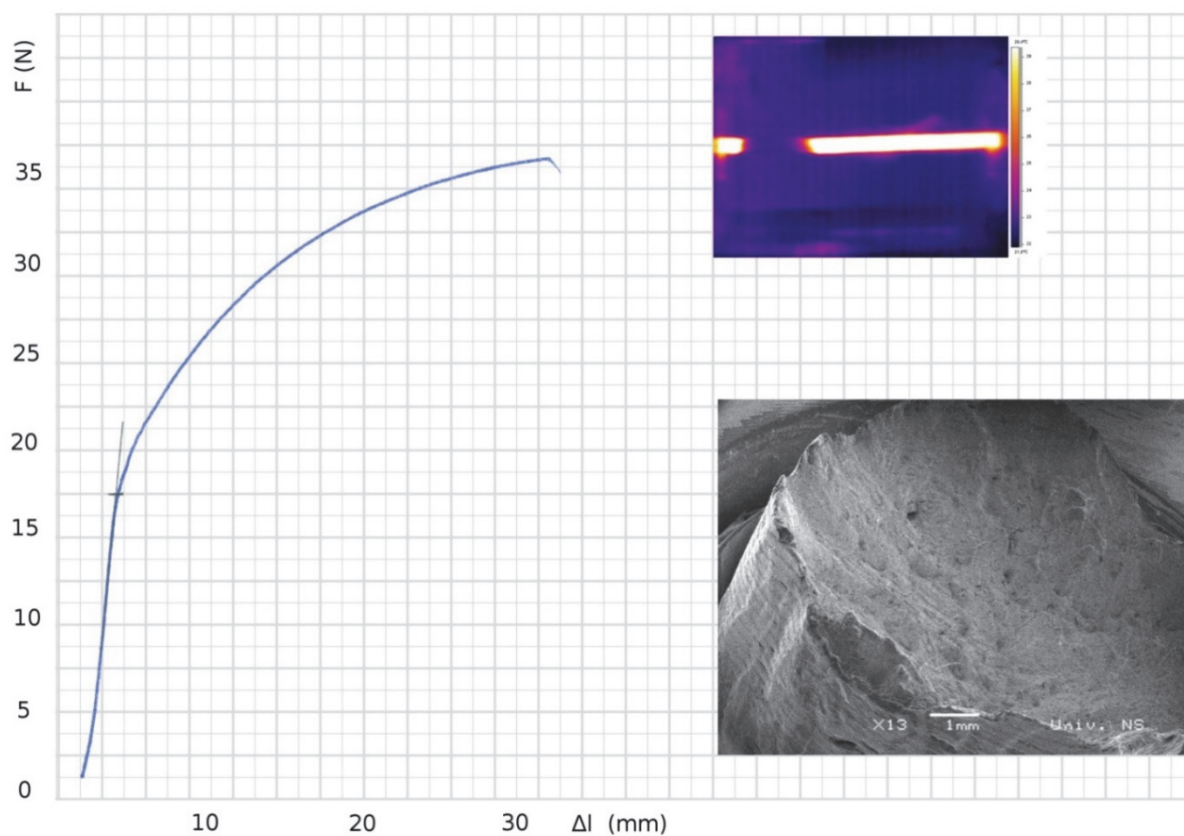
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



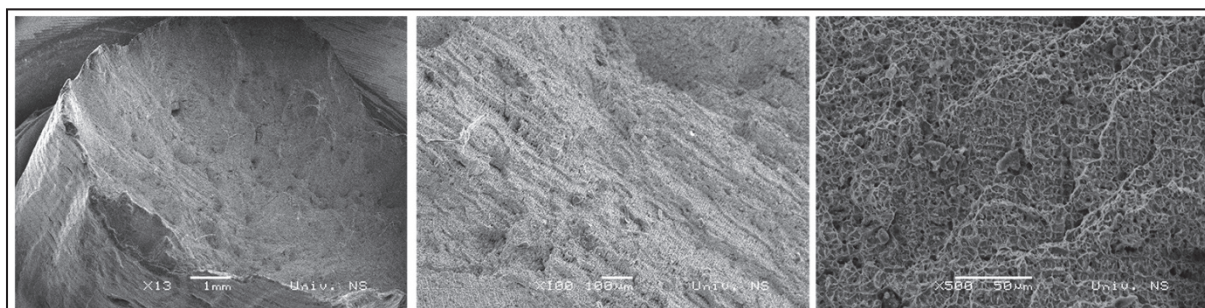


Slika 3.92. Termodijagrami za epruvetu 1031.2

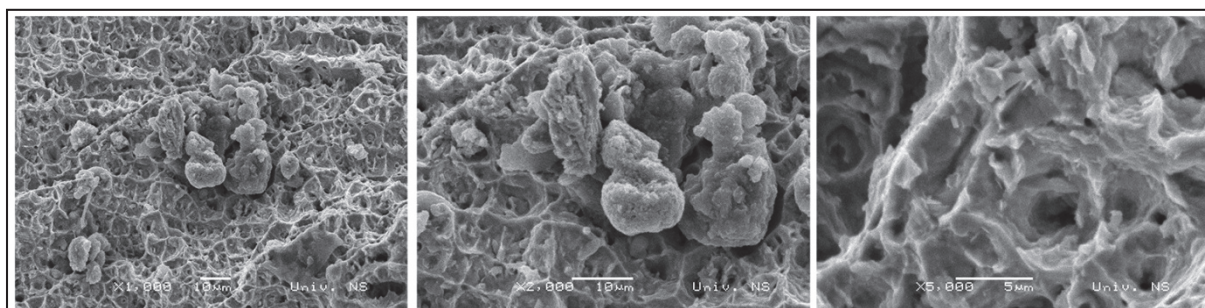
Na slici 3.93 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 1031.2.



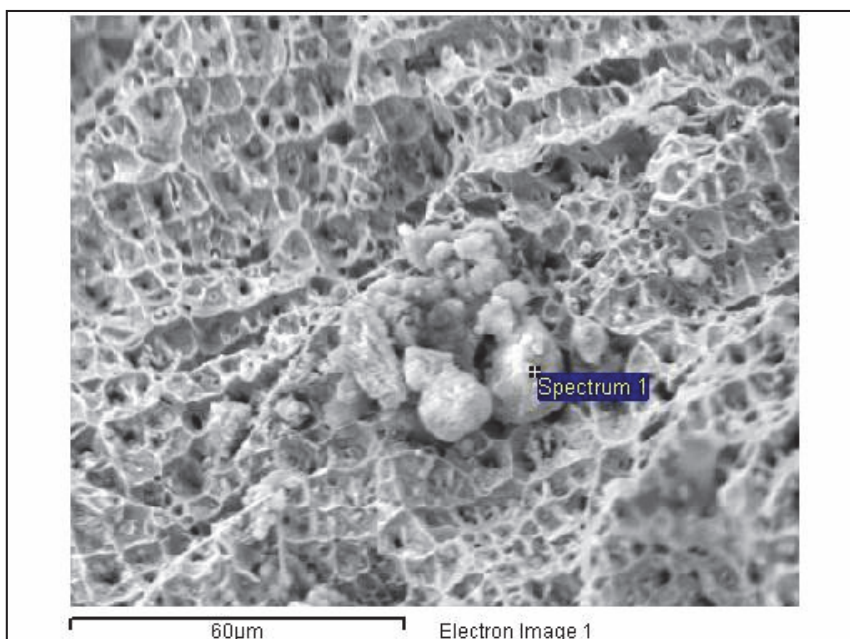
Slika 3.93. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 1031.2



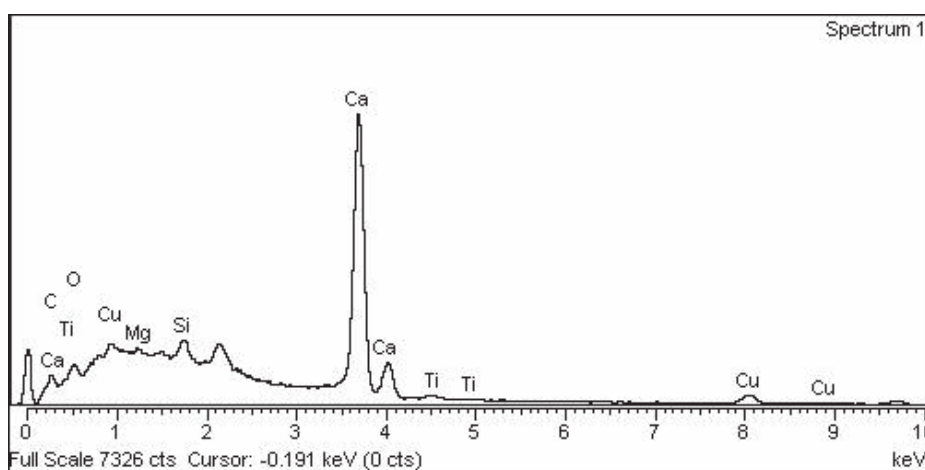
Slika 3.94. Uvećanje 13x, 100x, 500x / 1031.2



Slika 3.95. Uvećanje 1000x, 2000x, 5000x / 1031.2



Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Si	Ca	Ti	Cu	Total
Spectrum 1	Yes	15.15	30.80	0.93	2.29	43.91	0.87	6.05	100.00
Mean		15.15	30.80	0.93	2.29	43.91	0.87	6.05	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		15.15	30.80	0.93	2.29	43.91	0.87	6.05	
Min.		15.15	30.80	0.93	2.29	43.91	0.87	6.05	



Slika 3.96. Spectrum 1031.2

### 3.5.3. Rezultati ispitivanja za cev 45x25 mm

Režimi livenja priprema prstenastog poprečnog preseka, spoljašnjeg prečnika 45mm i unutrašnjeg prečnika 23mm, dati su u tabeli T.3.17. Rezultati mehaničkih ispitivanja za epruvete izserije 12 su prikazani u tabeli T.3.18.

**Tabela T.3.17.** Režimi livenja za uzorke od cevi 45x25 mm od 111 do 133

KORAK		PAUZA		Brzina livenja kg/h	Oznaka uzorka
Broj promena	Veličina koraka	promena	sekundi		
1	21	1	3.05	226	111
		2	3.25	210	112
		3	2.85	237	113
2	17	1	2.85	200	121
		2	3.05	187	122
		3	3.25	176	123
3	25	1	3.25	247	131
		2	3.05	261	132
		3	2.85	278	133

**Tabela T.3.18.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za epruvete iz serije 122

Oznaka uzorka	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
122.1	7,6	12,2	120	92,7	143	13,2	26,4	142	285	19
122.2	7,8	12,1	120	94,4		13,5	25,7	143	272	Van repera
122.3	7,7	12,1	120	93,2	145	14,2	26,8	152	287	21
Srednja vrednost						13,63	26,3	145,67	281,33	-

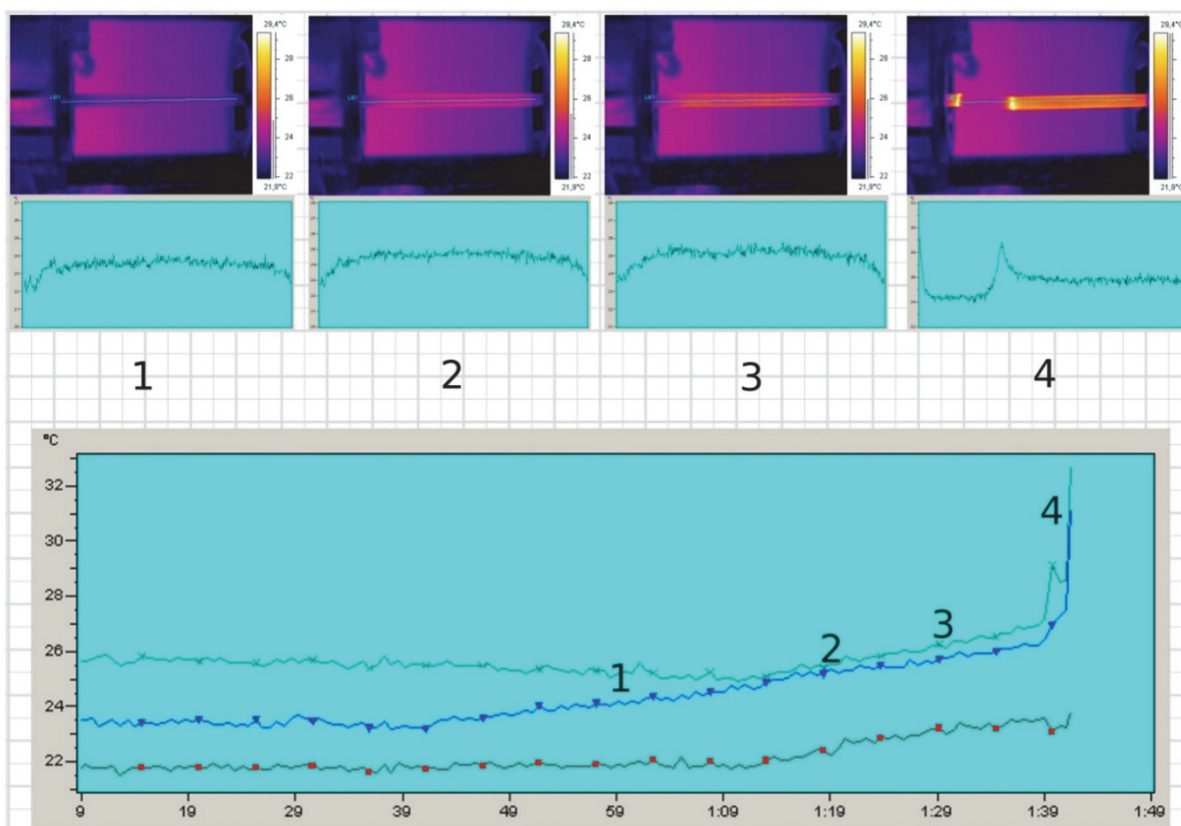
Za analizu epruvete 122.1 sa prstenastim presekom, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.97: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

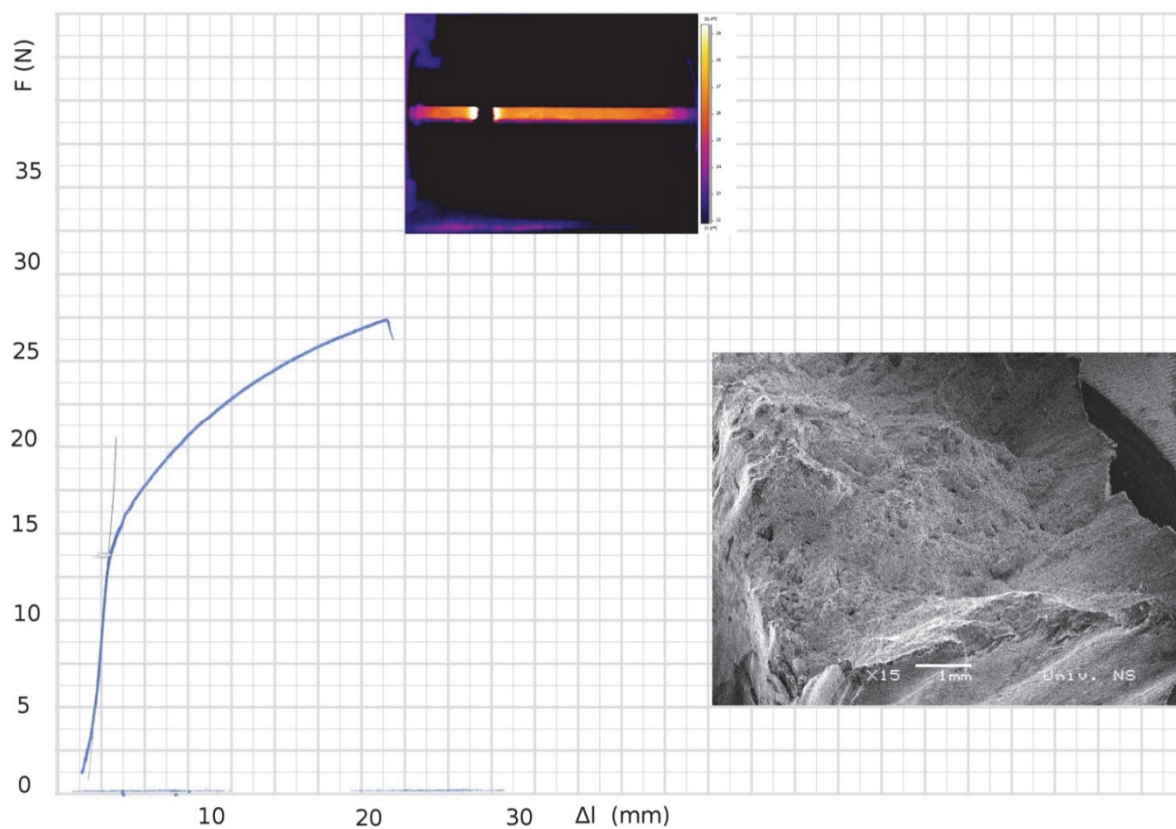
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



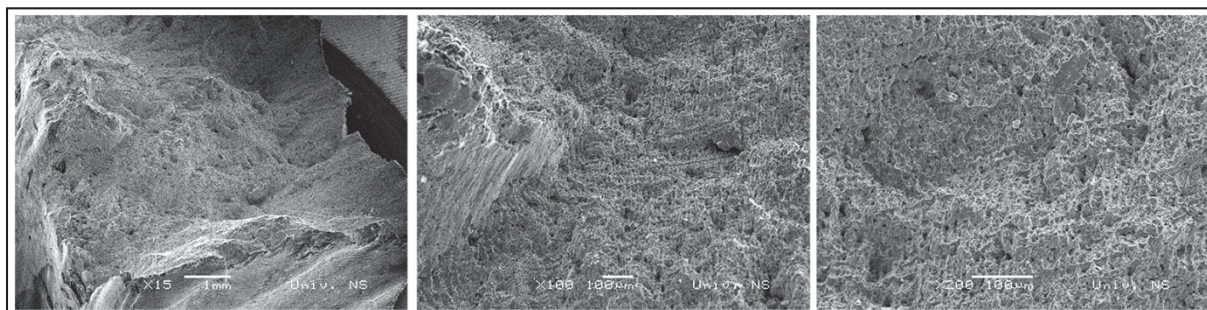
**Slika 3.97.** Termodijagrami za epruvetu 122.1

Na slici 3.98 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 122.1.

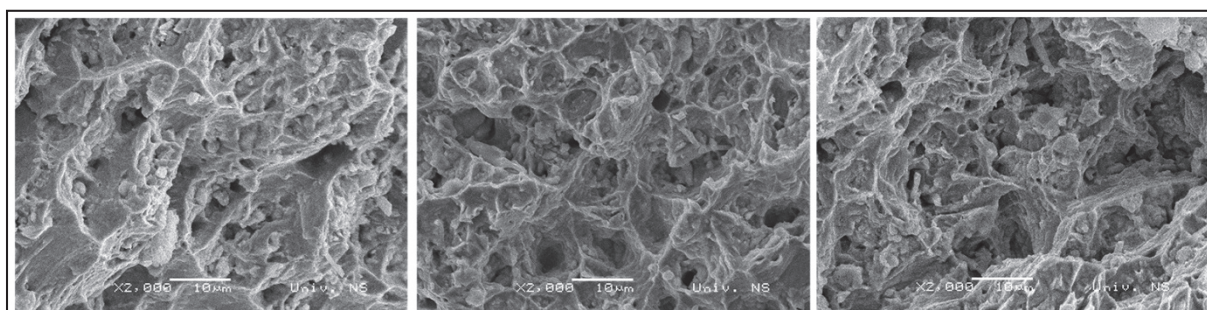




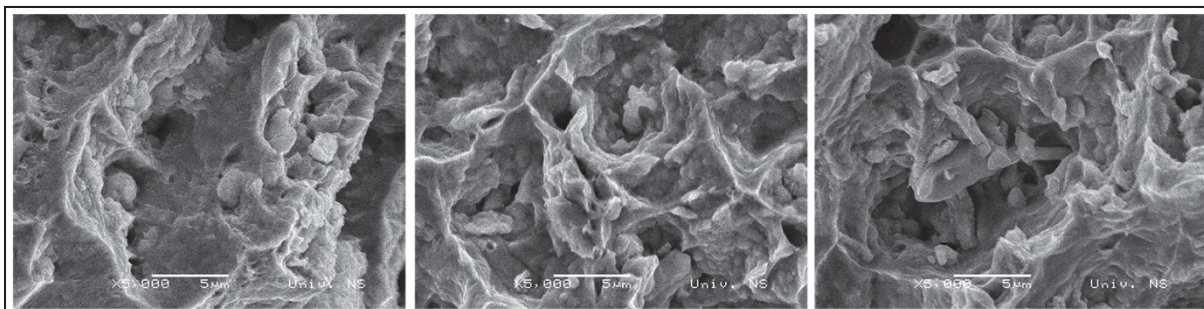
Slika 3.98. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 122.1



Slika 3.99. Uvećanje 15x, 100x, 200x / 122.1



Slika 3.100. Uvećanje 2000x / 122.1



Slika 3.101. Uvećanje 5000 / 122.1

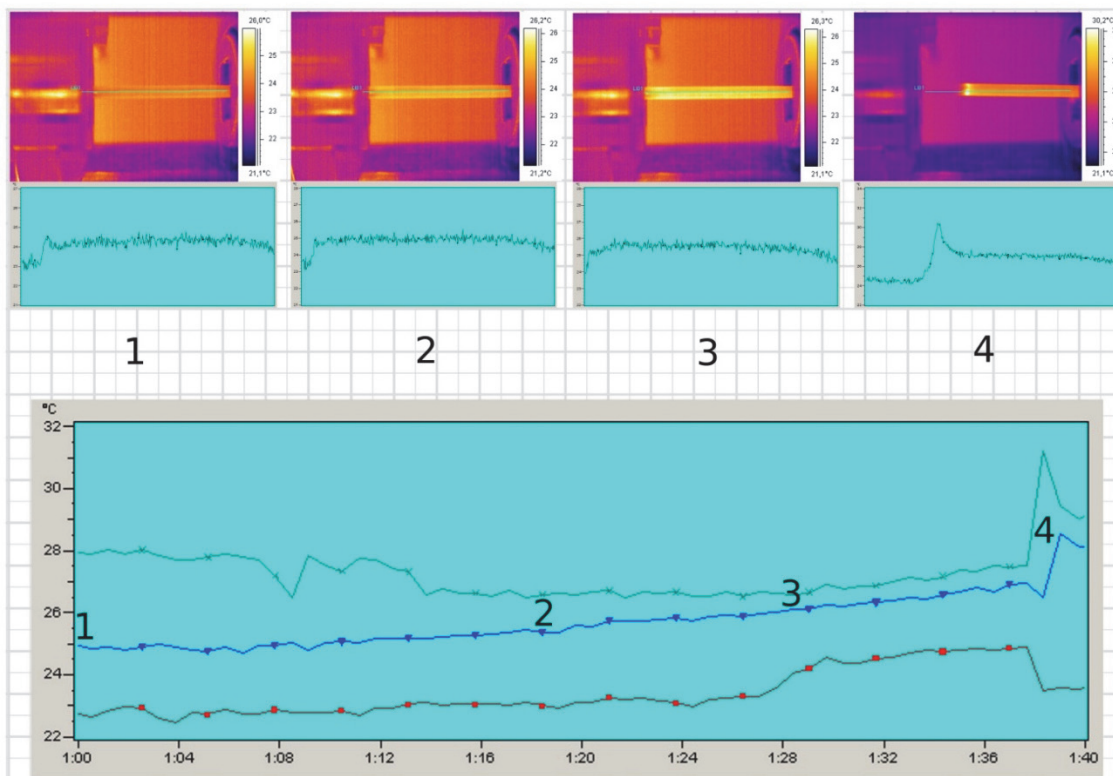
Tabela T.3.19. Rezultati merenja za epruvete iz serije 123

Oznaka uzorka	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
123.1	7,2	12,2	120	87,8		11,5	26,2	131	298	Van repera
123.2	7,1	12,1	120	85,9	149	12,5	25,3	145	294	24
123.3	7,4	12,3	120	91	146	13,2	26,3	145	289	22
Srednjavrednost						12,4	25,93	140,33	293,67	-

Za analizu epruvete 123.3 sa prstenastim presekom, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.102: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

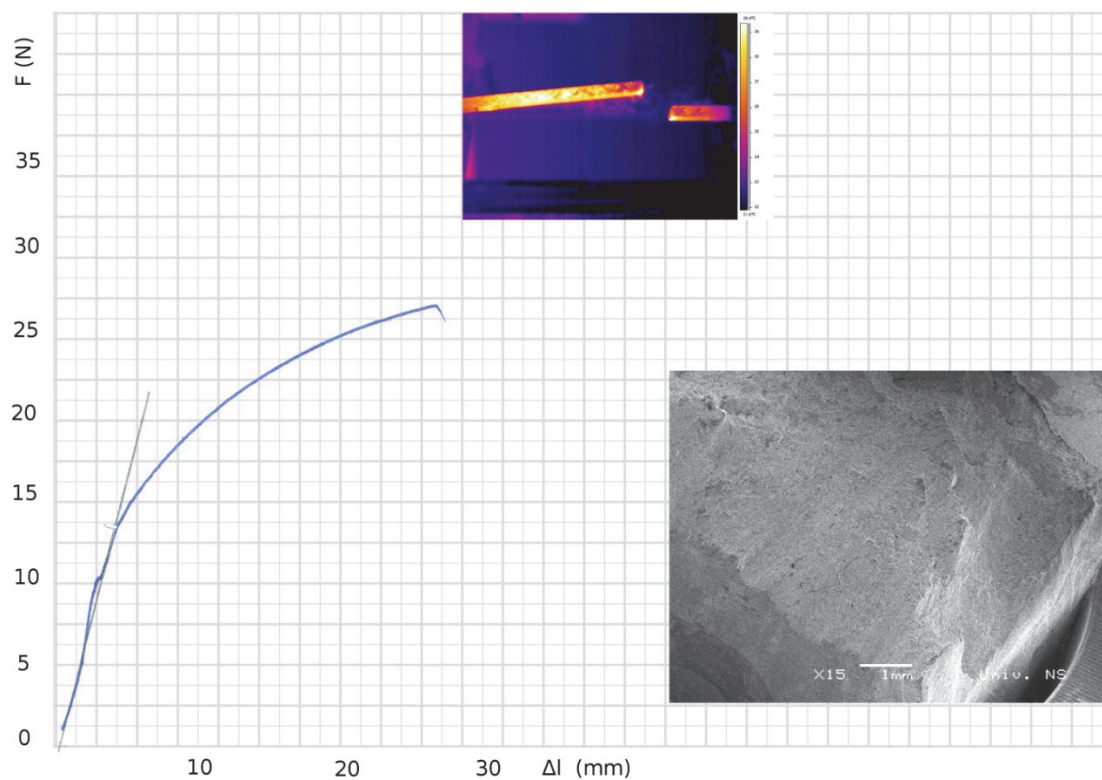
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



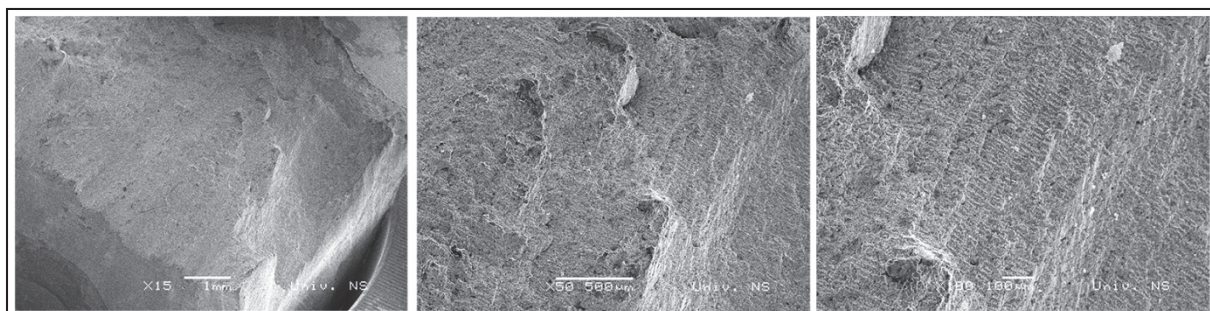


Slika 3.102. Termodijagrami za epruvetu 123.3

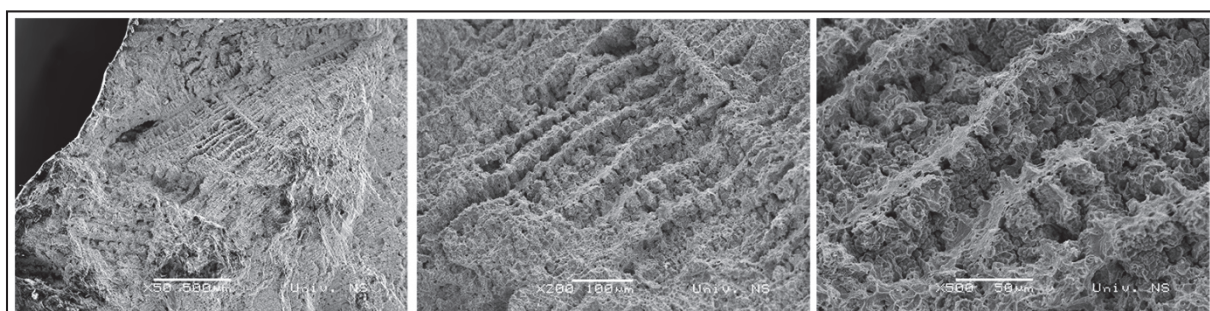
Na slici 3.103 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogram i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 123.3.



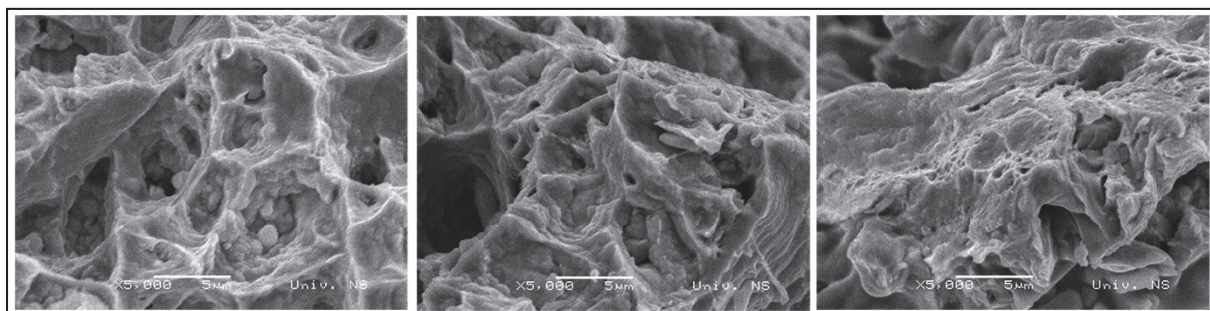
Slika 3.103. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 123.3



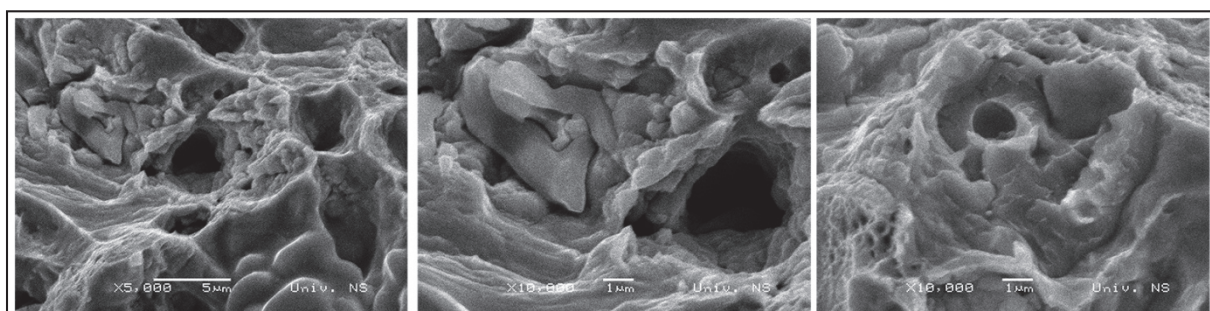
Slika 3.104. Uvećanje 15x, 50x, 100x / 123.3



Slika 3.105. Uvećanje 50x, 200x, 500x / 123.3



Slika 3.106. Uvećanje 5000x / 123.3



Slika 3.107. Uvećanje 10000x / 123.3



### 3.5.4. Rezultati ispitivanja za šestougaonu cev OK 22x9mm

Režimi livenja priprema oblika šestougaone cevi OK 22x9mm, dati su u tabeli T.3.20. Rezultati mehaničkog merenja za epruvete iz serije 722 su prikazani u tabeli T.3.21.

**Tabela T.3.20.** Režimi livenja za liveni profil OK 22x9 mm

KORAK		PAUZA		Brzina livenja kg/h	Oznaka uzorka
Broj promena	Veličina koraka	promena	sekundi		
1	21	1	1.5	96	711
		2	1	141	712
		3	3	48	713
2	17	1	2	95	721
		2	1.4	137	722
		3	1.1	174	723
3	25	1	3.5	68	731
		2	2.7	88	732
		3	1.5	160	733

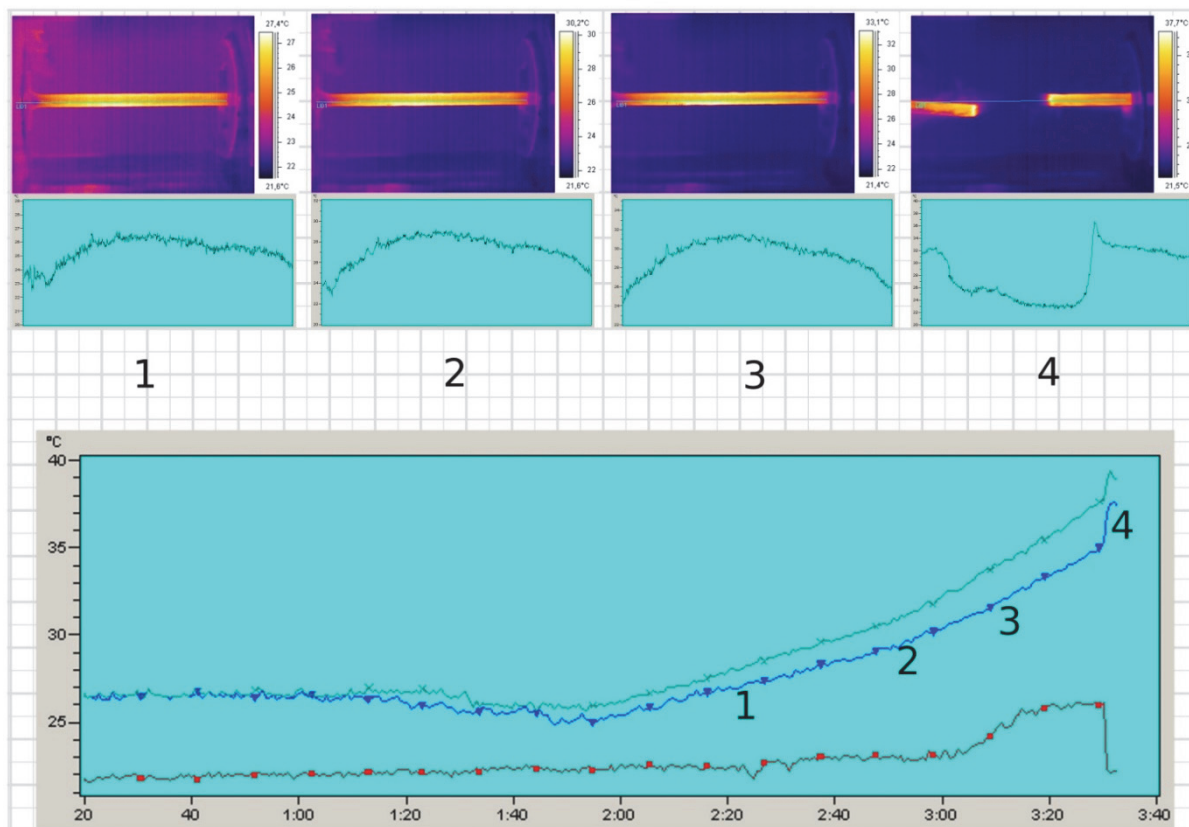
**Tabela T.3.21.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za seriju epruveta 722

Oznaka uzorka	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
722.1	6,5	7,1	120	46,1		7,5	12,9	163	280	Van repera
722.2	6,3	6,7	120	42,2	150	6,6	12,3	156	291	25
722.3	6,3	6,5	120	40,9	142	7,2	11,6	176	284	18
Srednja vrednost						7,1	12,27	165	285	0

Za analizu epruvete 722.3 sa šestougaonim prstenastim presekom, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.108: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

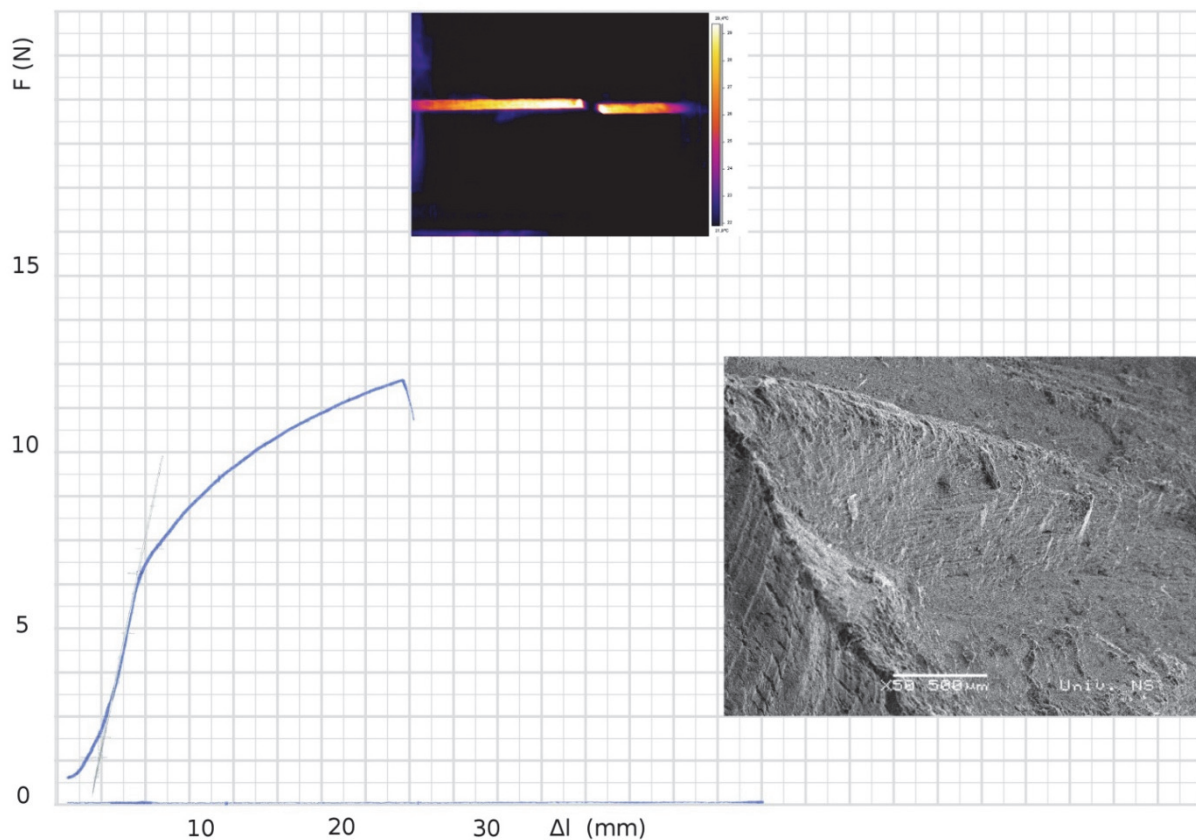
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



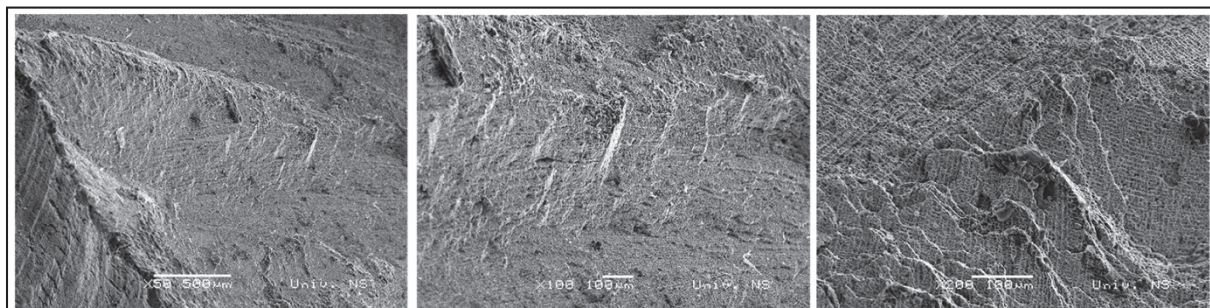


Slika 3.108. Termodijagrami za eprvetu 722.3

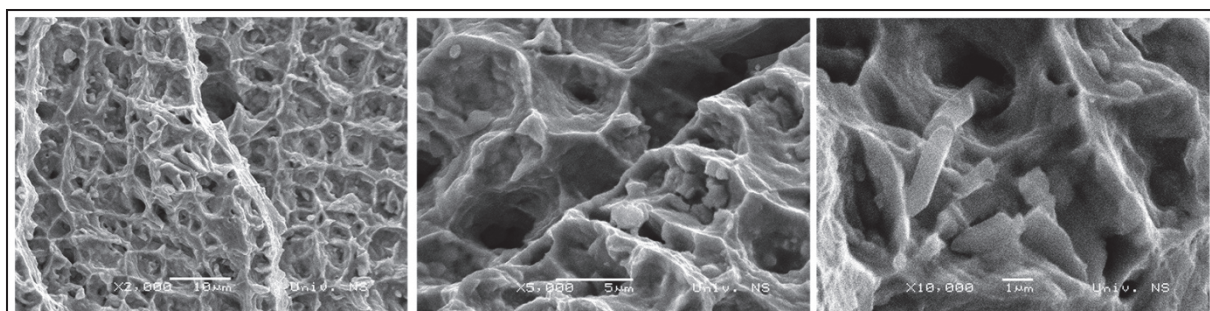
Na slici 3.109 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za eprvetu 722.3.



Slika 3.109. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 722.3



Slika 3.110. Uvećanje 50x, 100x, 200x / 722.3



Slika 3.111. Uvećanje 2000x, 5000x, 10000x / 722.3

### 3.5.5. Rezultati ispitivanja uzoraka za vertikalno kontinualno livenje na gore u elektromagnetnom kristalizatoru

Svi uzorci su uzeti za pun profil prečnika 24mm. Hemijski sastav uzoraka dobijenih vertikalnim kontinualnim livenjem na gore u elektromagnetnim kristalizatorima dati su u tabeli T.3.22.

**Tabela T.3.22.** Hemijski sastav uzoraka dobijenih vertikalnim kontinualnim livenjem na gore u elektromagnetnim kristalizatorima

Učestanost polja	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Al	Fe	Mn	P	S	Si	Sb
<b>30 Hz</b>	87.66	4.16	2.437	5.02	0.36	0.001	0,07	0.001	0	0.035	0.001	0.11
<b>25 Hz</b>	87.55	4.2	2.469	5.04	0.35	0.001	0.07	0.001	0	0.036	0.002	0.12
<b>20 Hz</b>	87.49	4.26	2.5	5.02	0.36	0.001	0.07	0.001	0	0.034	0.002	0.11
<b>Bez polja</b>	87.26	4.24	2.542	5.22	0.36	0.001	0.07	0.001	0	0.035	0.002	0.12
	<b>87.49</b>	<b>4.22</b>	<b>2.487</b>	<b>5.08</b>	<b>0.36</b>	<b>0.001</b>	<b>0.07</b>	<b>0.001</b>	<b>0</b>	<b>0.035</b>	<b>0.002</b>	<b>0.12</b>

Režimi livenja priprema, dati su u tabeli T.3.23. Rezultati mehaničkih ispitivanja za uzorke uzete na liniji za vertikalno kontinualno livenje na gore u elektromagnetnim kristalizatorima dati su u tabeli T.3.24. Uzorci 2,3 i 6 uzeti su bez rada elektromagnetnog polja u kristalizatoru, sa različitim koracima livenja, dok su uzorci 1,4 i 5 uzeti za isti korak 21 mm, pri istim brzinama livenja, ali za različite frekvence elektromagnetnog polja u kristalizatoru. Jačina polja kod svih uzoraka koji su rađeni u polju bila je 60% od max snage.

**Tabela T.3.23.** Režim livenja za uzorke dobijene vertikalnim kontinualnim livenjem na gore u elektromagnetnim kristalizatorima

Broj uzorka	Frekvencija elektromagnetnog polja u kristalizatoru	Korak	Pauza	Brzina livenja
	Hz	mm	s	kg/h
1	25	21	2.5	120
2	bez polja	15	2	108
3	bez polja	10	1.5	96
4	30	21	2.5	120
5	20	21	2.5	120
6	bez polja	21	2.5	120

**Tabela T.3.24.** Rezultati mehaničkih ispitivanja uzoraka sa tehnološke linije za vertikalno kontinualno livenje na gore u elektromagnetnim kristalizatorima

Oznaka uzorka	a0b0	l0	S0	lu	Fe	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>rezultati ispitivanja za uzorke uzetih sa livenja na gore</b>									
1.1	10,06	100	79,48	142	11,2	22,7	141	286	42
1.2	10,03	100	79,01	131	11,2	22,2	141	281	31`
1.3	10,05	100	79,33	142	11,3	22,7	142	286	42
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,23</b>	<b>22,53</b>	<b>141,33</b>	<b>284,33</b>	<b>38,33</b>
2.1	10,0	100	78,5	143	11,5	23,1	146	297	43
2.2	10,0	100	78,5	135	11,6	23,0	147	293	35
2.3	10,0	100	78,5	138	11,4	23,1	145	294	38
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,5</b>	<b>23,07</b>	<b>146</b>	<b>294,67</b>	<b>38,67</b>
3.1	10,03	100	79,01	130	11,1	22,4	140	283	30
3.2	9,98	100	78,2	138	11,7	22,4	150	286	38
3.3	10,03	100	79,01	137	11,5	23,1	145	292	37
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,43</b>	<b>22,63</b>	<b>145</b>	<b>287</b>	<b>35</b>
4.1	10,0	100	78,5	144	11,2	22,6	143	288	44
4.2	10,0	100	78,5	140	11,2	22,6	143	288	40
4.3	10,0	100	78,5	142	10,9	22,7	139	289	42
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,1</b>	<b>22,63</b>	<b>141,67</b>	<b>288,33</b>	<b>42</b>
5.1	10,04	100	79,2	138	11,0	22,5	139	284	38
5.2	10,05	100	79,3	140	11,3	22,6	142	285	40
5.3	10,05	100	79,3	144	11,1	22,6	140	285	44
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,13</b>	<b>22,57</b>	<b>140,33</b>	<b>284,67</b>	<b>40,67</b>
6.1	10,1	100	80,1	141	11,0	22,7	137	283	41
6.2	10,05	100	79,3	140	11,3	22,9	142	289	40
6.3	10,0	100	78,5	144	11,5	22,8	146	290	44
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,27</b>	<b>22,8</b>	<b>141,67</b>	<b>287,33</b>	<b>41,67</b>

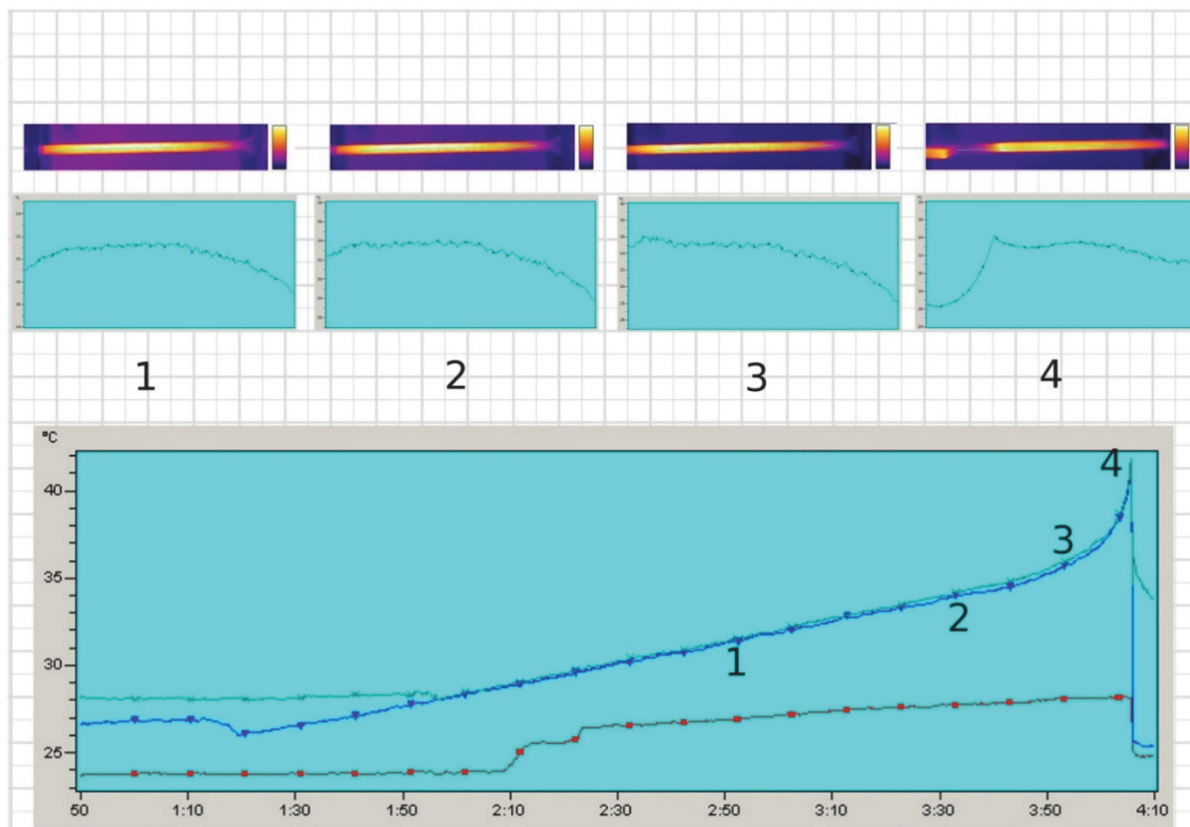
**Tabela T.3.25.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za seriju epruveta uzorka 2

Oznaka uzorka	a0b0	l0	S0	lu	Fe	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
2.1	10,0	100	78,5	143	11,5	23,1	146	297	43
2.2	10,0	100	78,5	135	11,6	23,0	147	293	35
2.3	10,0	100	78,5	138	11,4	23,1	145	294	38
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,5</b>	<b>23,07</b>	<b>146</b>	<b>294,67</b>	<b>38,67</b>



Za analizu epruvete 2.3, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.112: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

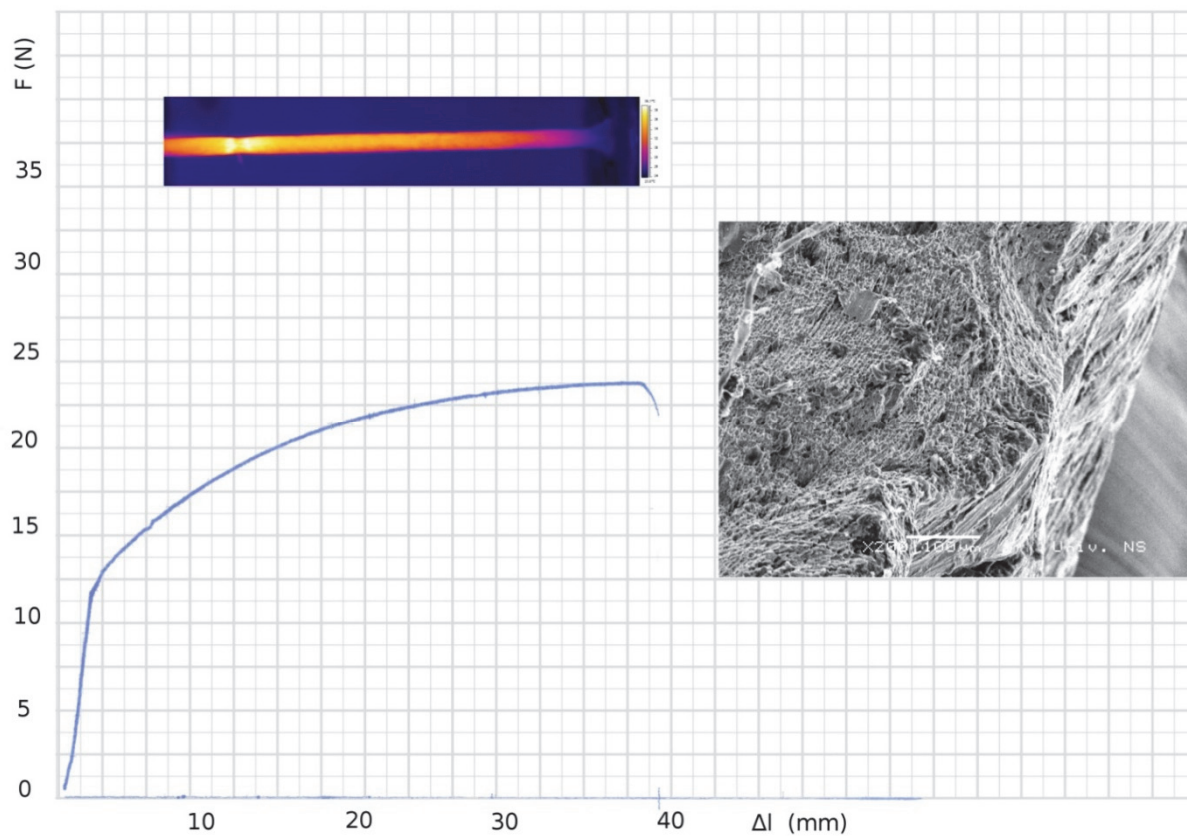
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 30 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 60 sekundi pre prekida



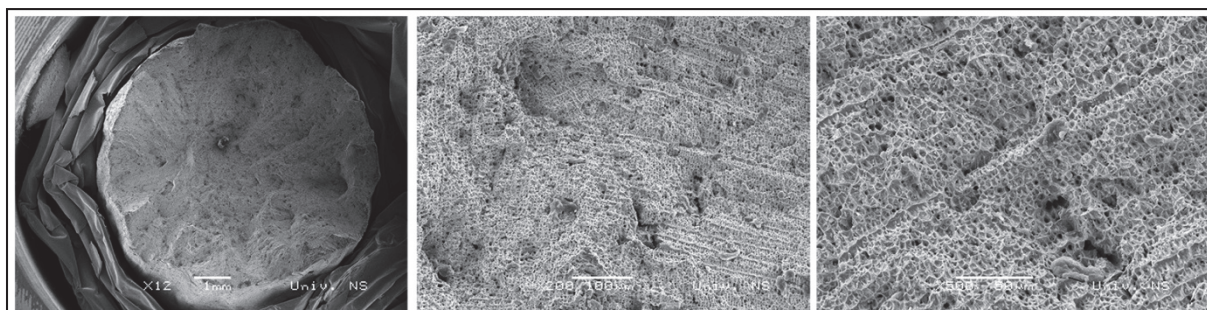
**Slika 3.112.** Termodijagrami za epruvetu 2.3

Na slici 3.113 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 2.3.

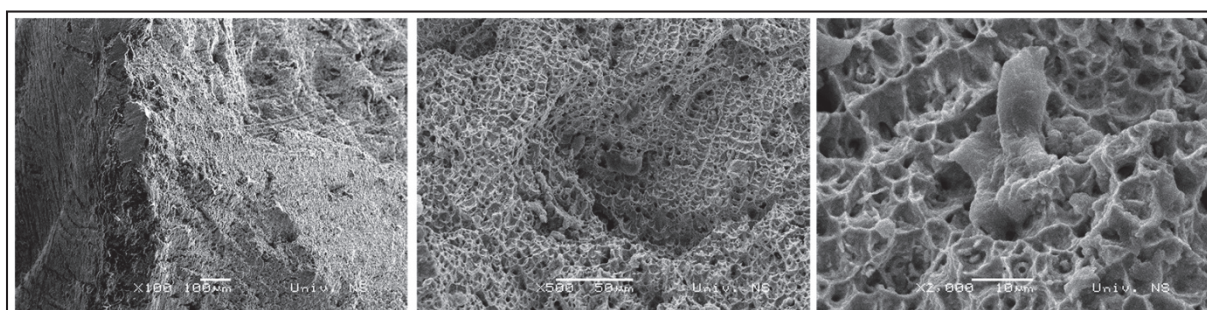




Slika 3.113. Dijagram istežanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 2.3



Uvećanje 12x, 200x, 500x / 2.3



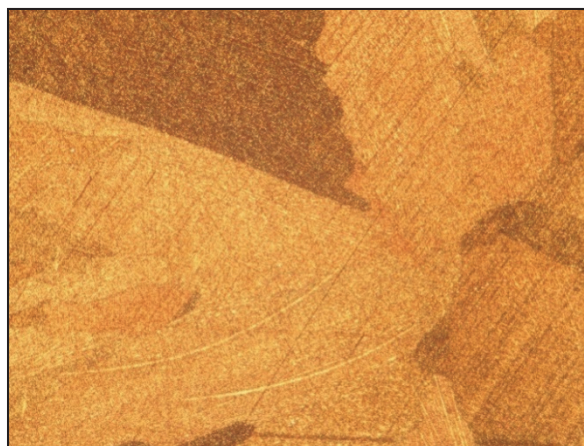
Uvećanje 100x, 500x, 2000x / 2.3

Slika 3.114. Mikroskopski snimak mesta loma epruvete 2.3

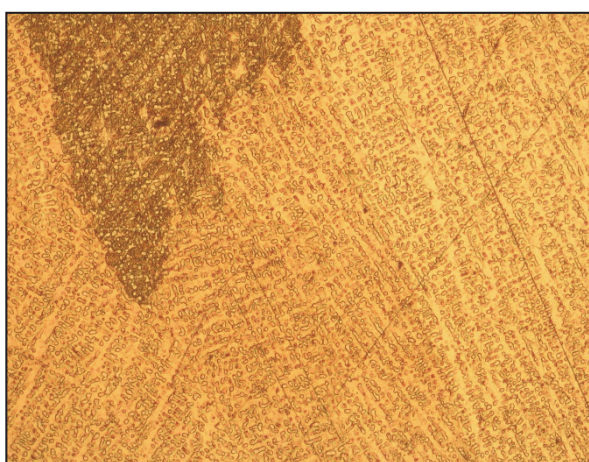




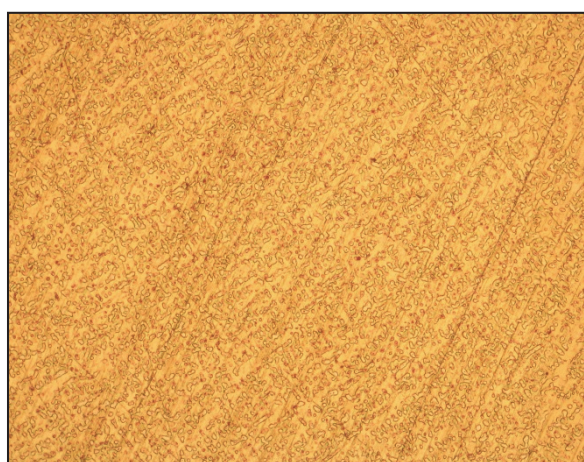
Poprečni presek za uzorak 2.3, uvećanje 20X



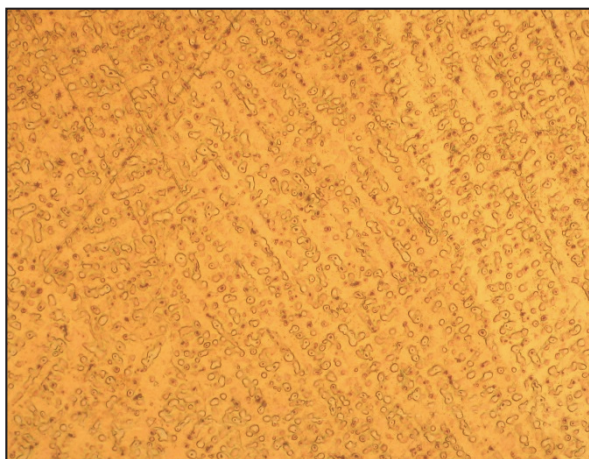
Uzdužni presek za uzorak 2.3, uvećanje 20X



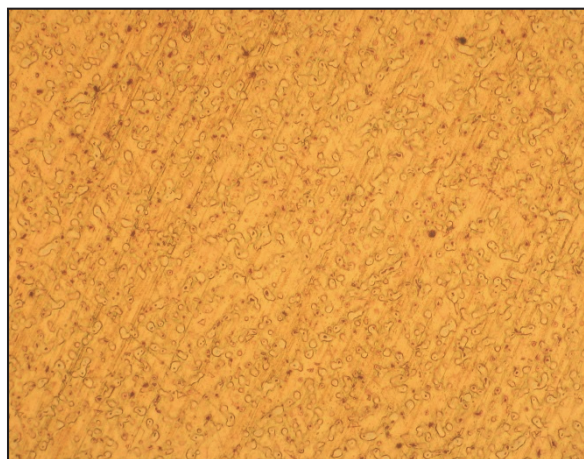
Poprečni presek za uzorak 2.3, uvećanje 100X



Uzdužni presek za uzorak 2.3, uvećanje 100X

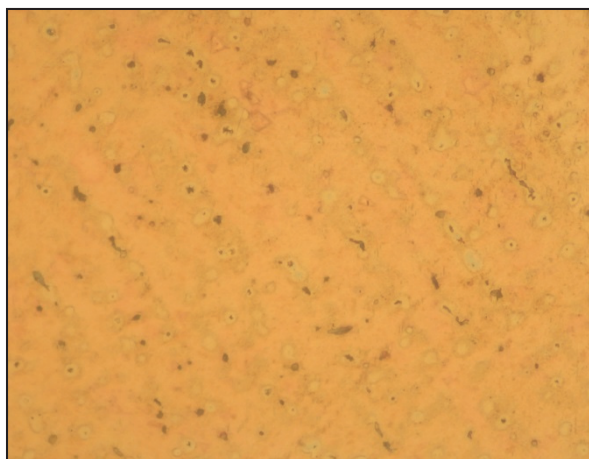


Poprečni presek za uzorak 2.3, uvećanje 200X

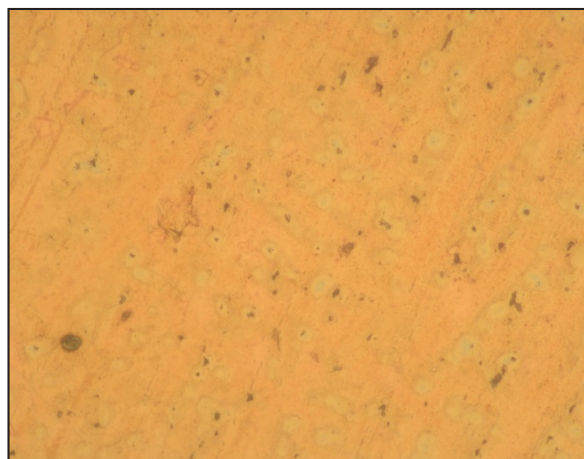


Uzdužni presek za uzorak 2.3, uvećanje 200X





Poprečni presek za uzorak 2.3, uvećanje 500X

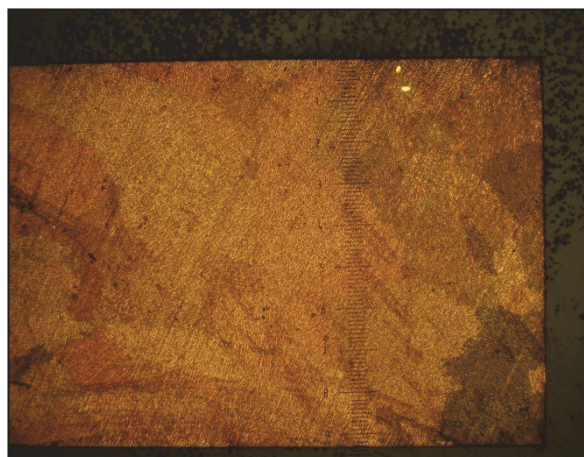


Uzdužni presek za uzorak 2.3, uvećanje 500X

**Slika 3.115.** Slike metalografskih ispitivanja poprečnog i uzdužnog preseka uzorka 2.3 sa različitim uvećanjima



Poprečni presek za uzorak 2.3



Uzdužni presek za uzorak 2.3

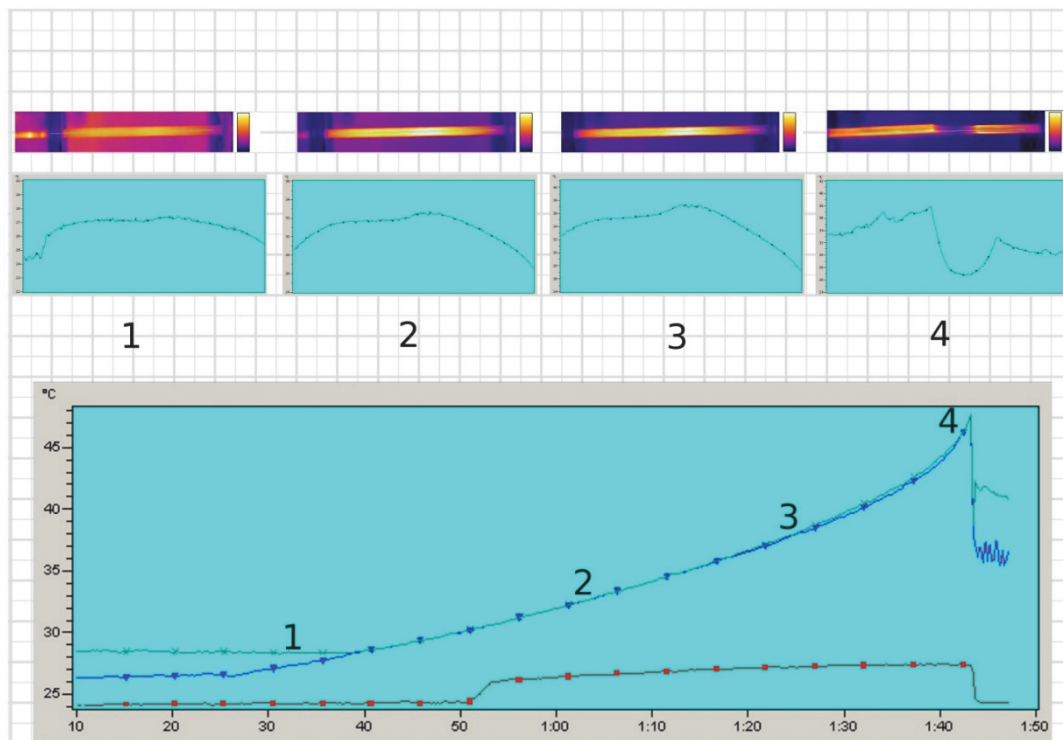
**Slika 3.116.** Slike metalografskih ispitivanja poprečnog i uzdužnog preseka uzorka 2.3, bez uvećanja

**Tabela T.3.26.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za epruvete uzorka broj 3

Oznaka uzorka	aob0	l0	S0	lu	Fe	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
3.1	10,03	100,0	79,01	130	11,1	22,4	140	283	30
3.2	9,98	100,0	78,2	138	11,7	22,4	150	286	38
3.3	10,03	100,0	79,01	137	11,5	23,1	145	292	37
Srednja vrednost					11,43	22,63	145	287	35

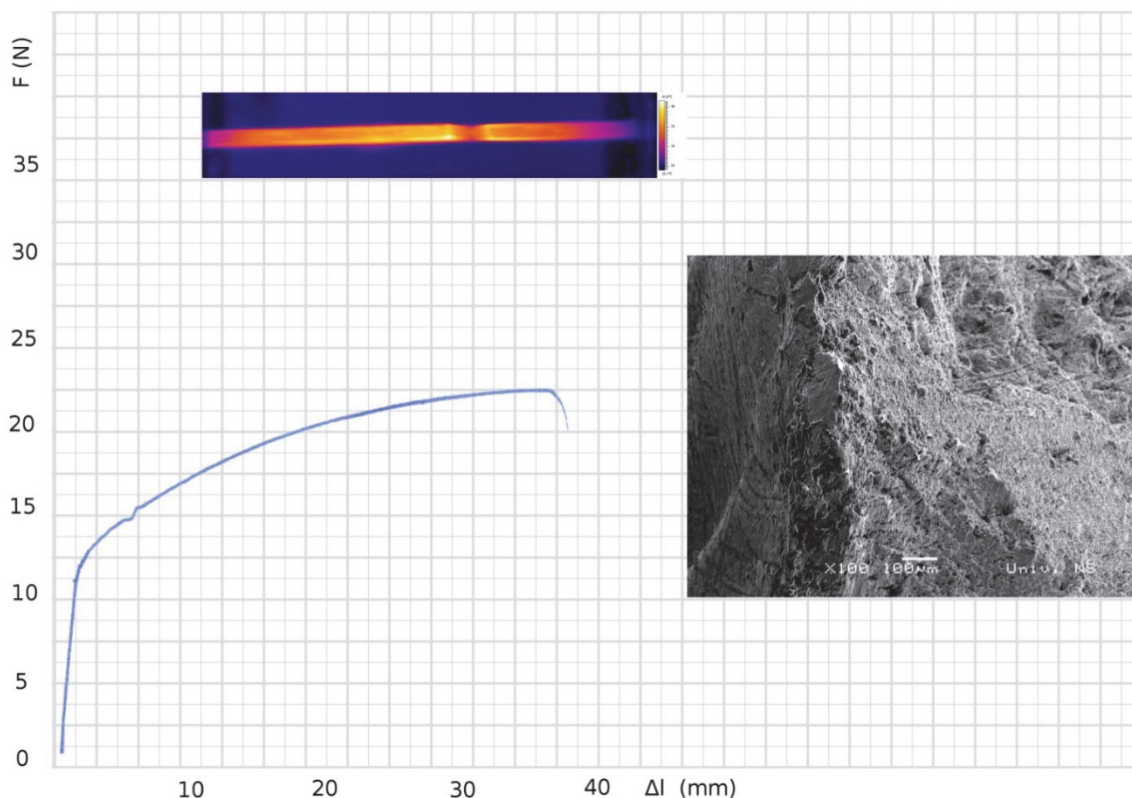
Za analizu epruvete 3.2, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.117: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 20 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 40 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 70 sekundi pre prekida



Slika 3.117. Termodijagrami za epruvetu 3.2

Na slici 3.118 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 3.2.



Slika 3.118. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 3.2

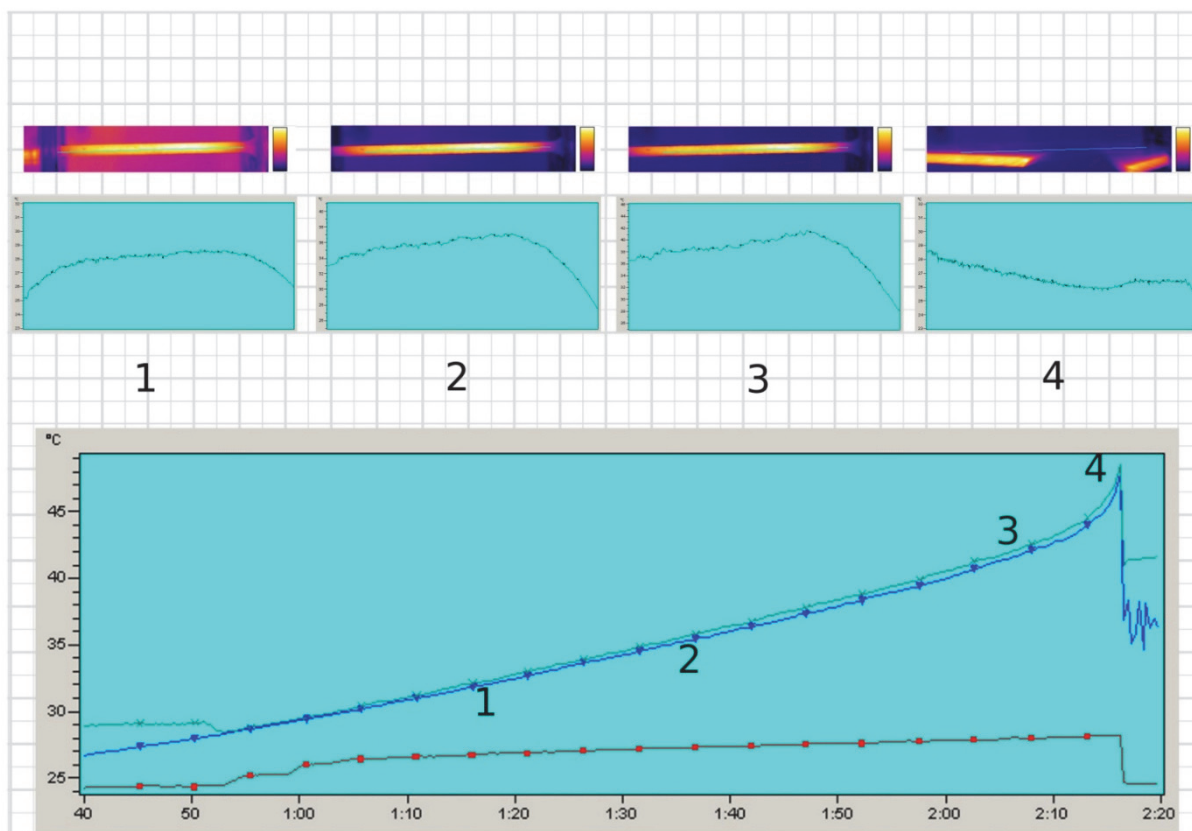
Tabela T.3.27. Rezultati mehaničkih ispitivanja za epruvete uzorka 4

Oznaka uzorka	aob0	l0	S0	lu	Fe	Fm	Re	Rm	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
4.1	10,0	100	78,5	144	11,2	22,6	143	288	44
4.2	10,0	100	78,5	140	11,2	22,6	143	288	40
4.3	10,0	100	78,5	142	10,9	22,7	139	289	42
Srednja vrednost					11,1	22,63	141,67	288,33	42

Za analizu epruvete 4.1, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.119: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

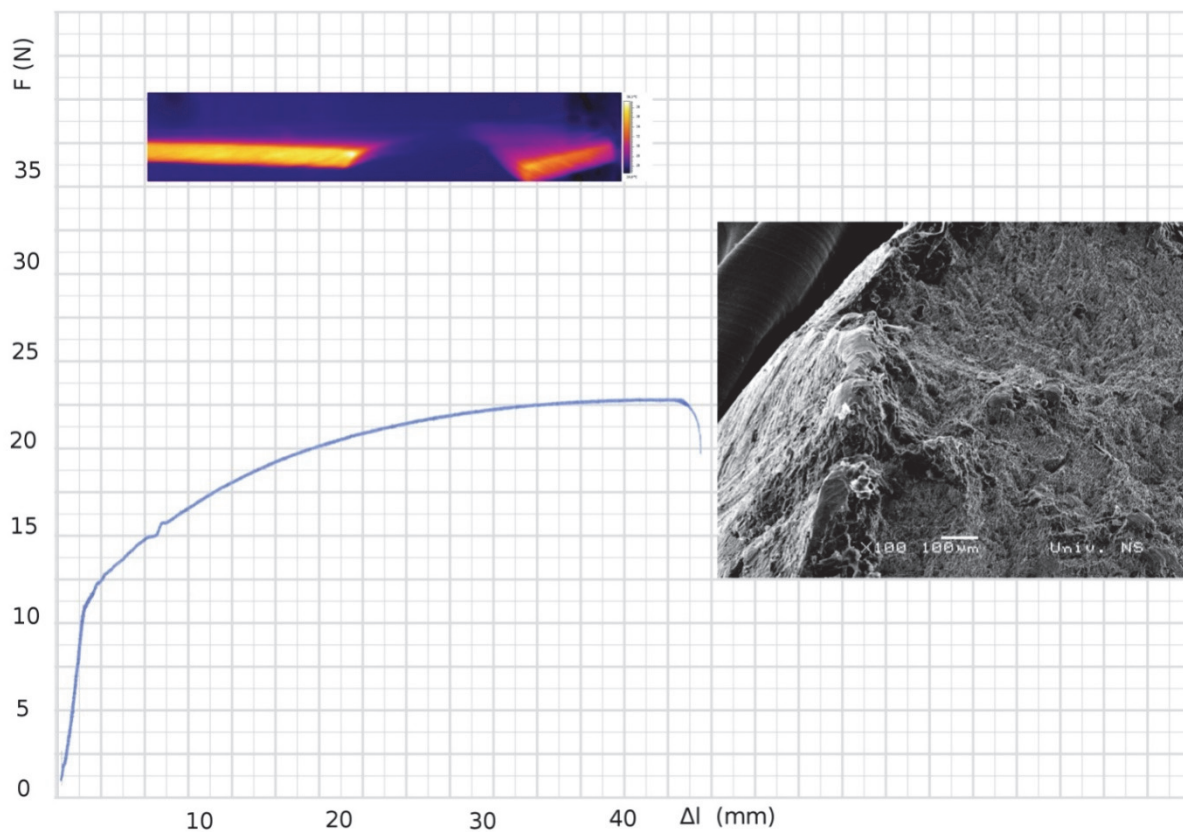
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 40 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 60 sekundi pre prekida



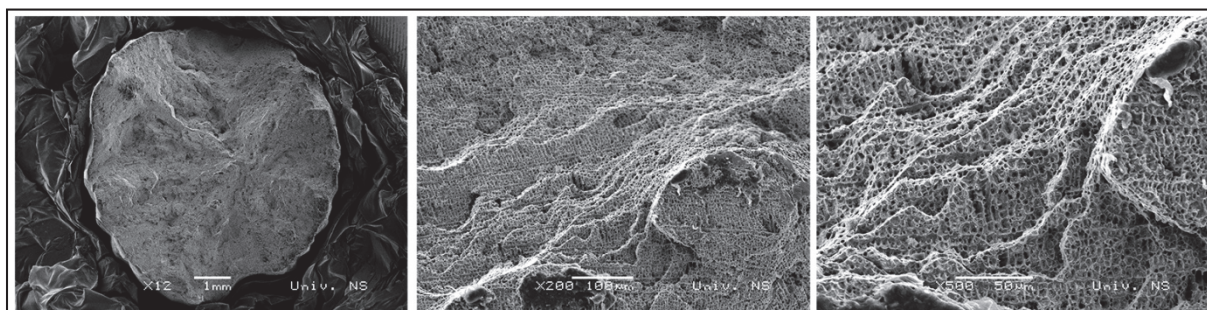


Slika 3.119. Termodijagrami za epruvetu 4.1

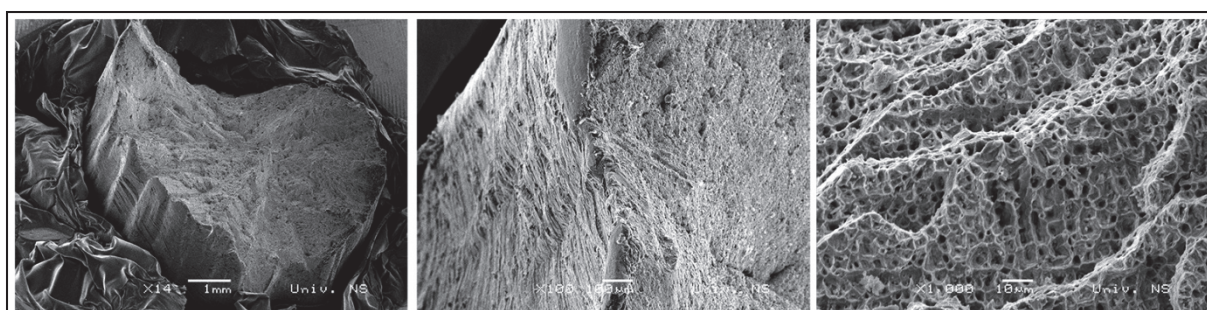
Na slici 3.120 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 4.1.



Slika 3.120. Dijagram istežanja, termogram i snimak površine loma za eprvetu 4.1



Uvećanje 12x, 200x, 500x / 4.1



Uvećanje 14x, 100x, 1000x / 4.1

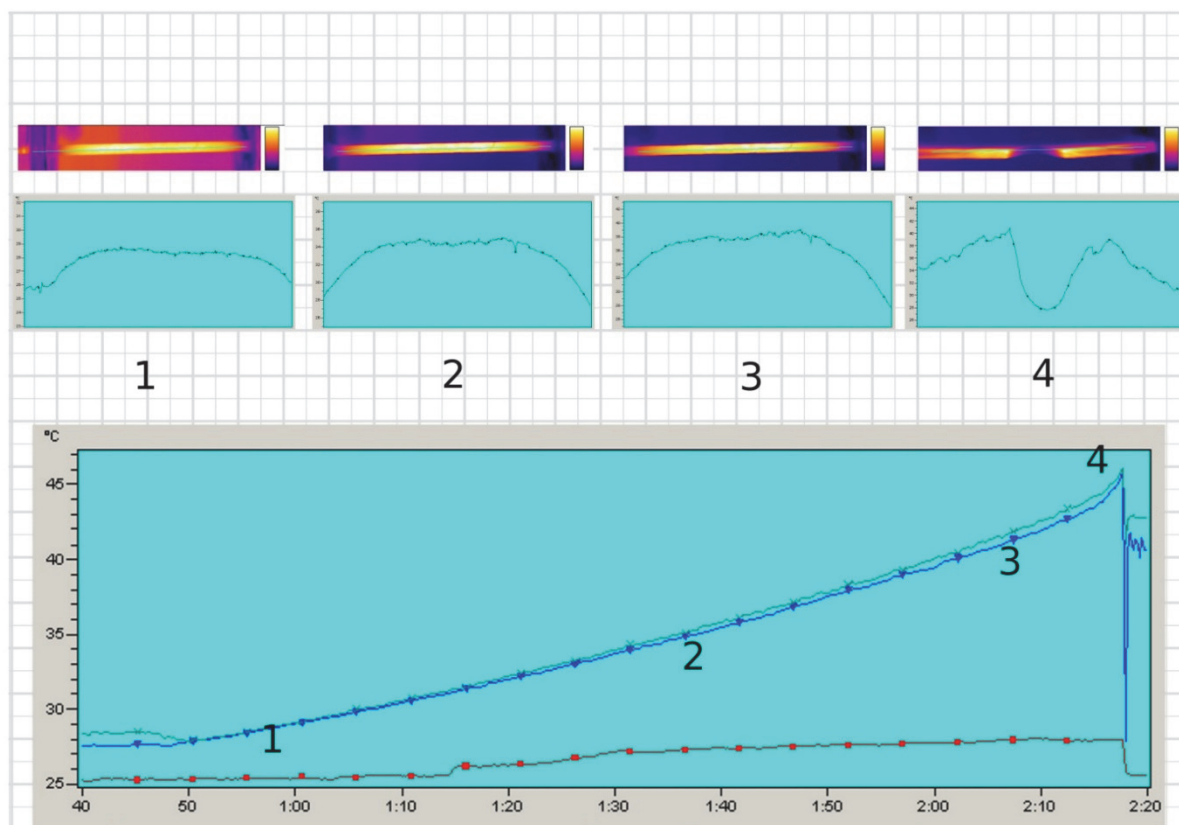
Slika 3.121. Mikroskopski snimak mesta loma epruvete 4.1.

**Tabela T.3.28.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za epruvete uzorka 5

Oznaka uzorka	a <sub>0b0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
5.1	10,04	100,0	79,2	138	11,0	22,5	139	284	38
5.2	10,05	100,0	79,3	140	11,3	22,6	142	285	40
5.3	10,05	100,0	79,3	144	11,1	22,6	140	285	44
Srednja vrednost					11,13	22,57	140,33	284,67	40,67

Za analizu epruvete 5.2, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.122: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

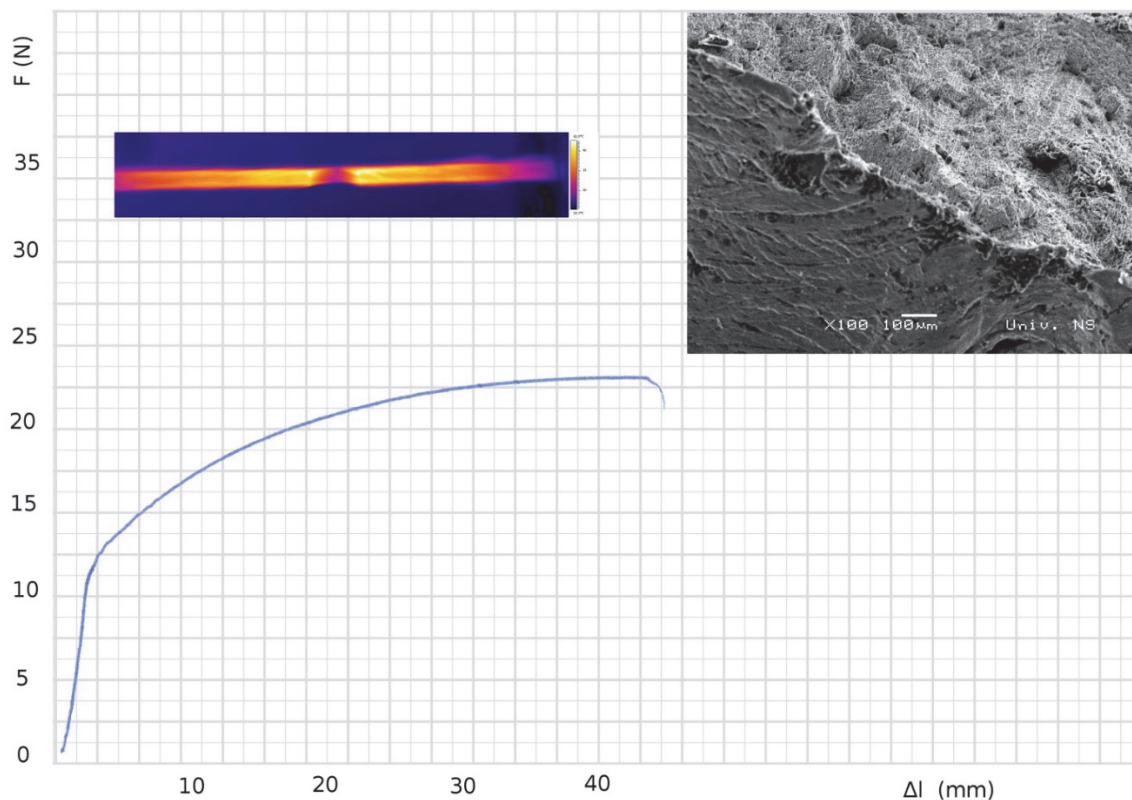
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 40 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 80 sekundi pre prekida



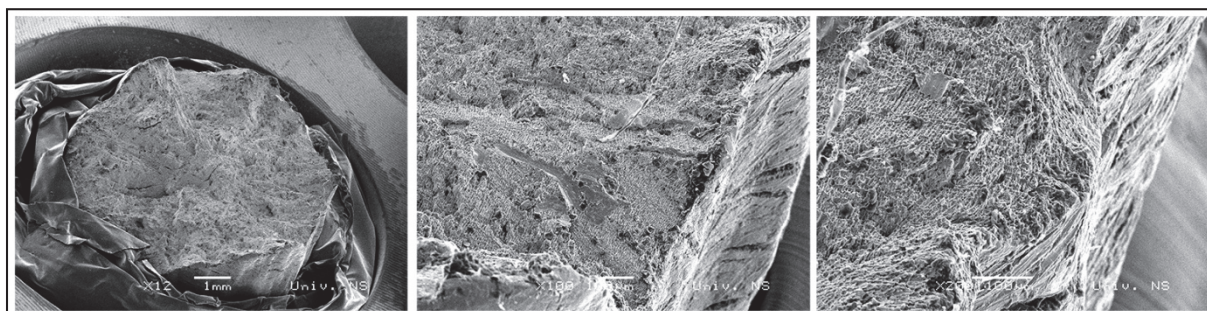
**Slika 3.122.** Termodijagrami za epruvetu 5.2



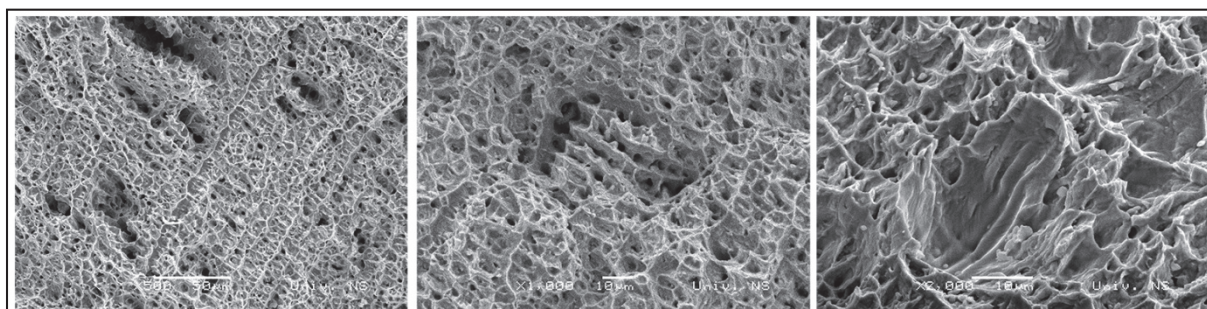
Na slici 3.123 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 5.2.



Slika 3.123. Dijagram istezanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 5.2



Uvećanje 12x, 100x, 200x / zauzorak 5.2



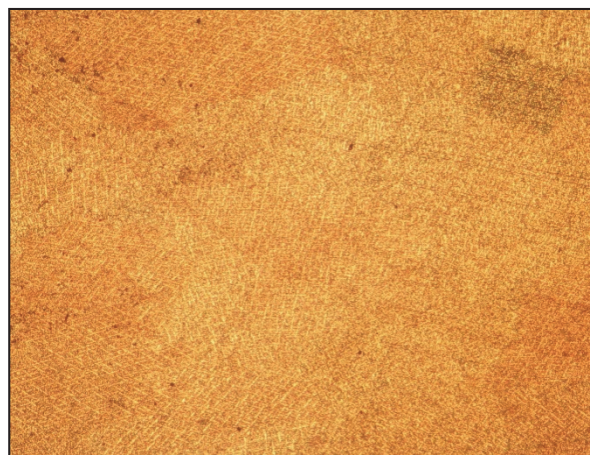
Uvećanje 500x, 1000x, 2000x / zauzorak 5.2

Slika 3.124. Mikroskopski snimak mesta loma epruvete 5.2

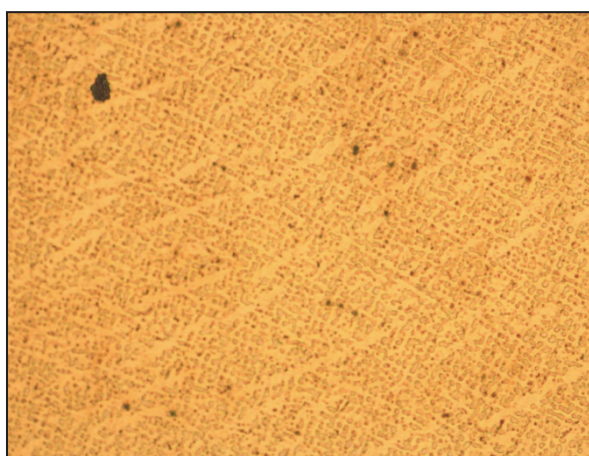




Poprečni presek za uzorak 5.2, uvećanje 20X



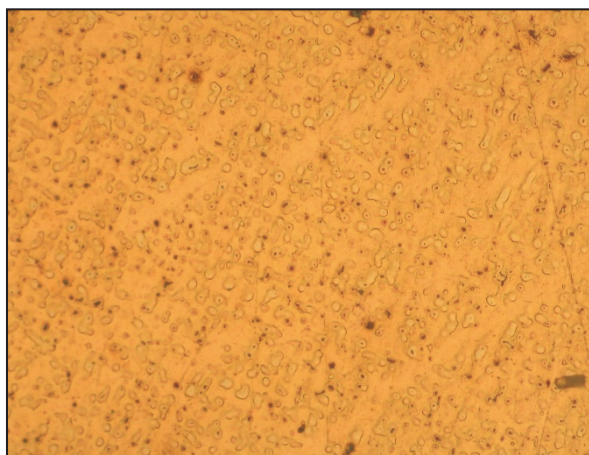
Uzdužni presek za uzorak 5.2, uvećanje 20X



Poprečni presek za uzorak 5.2, uvećanje 100X



Uzdužni presek za uzorak 5.2, uvećanje 100X

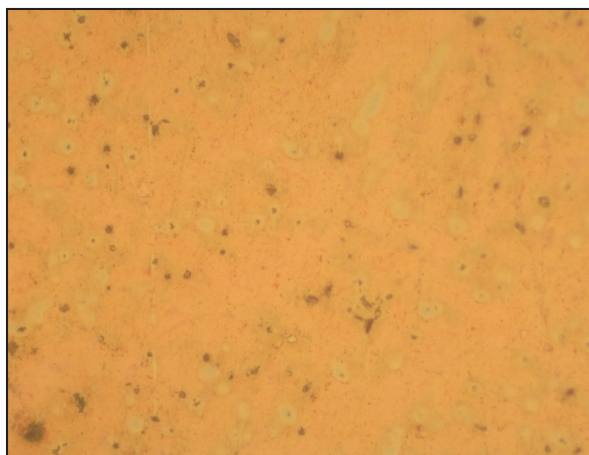


Poprečni presek za uzorak 5.2, uvećanje 200X

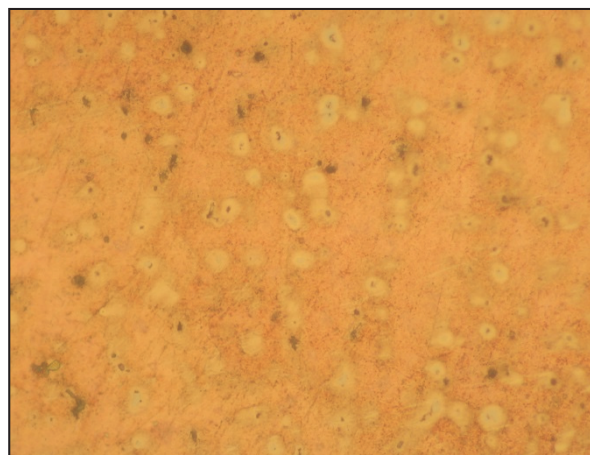


Uzdužni presek za uzorak 5.2, uvećanje 200X



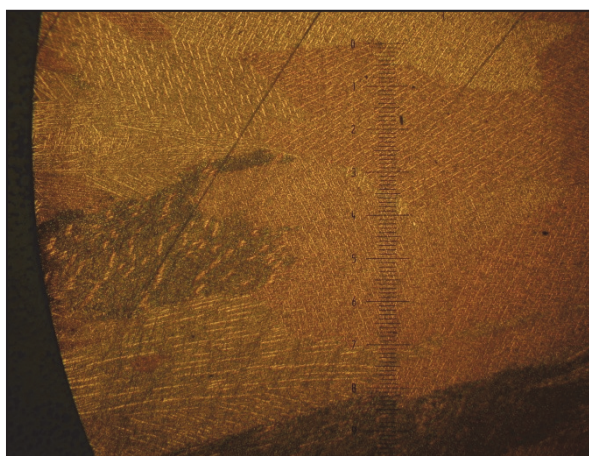


Poprečni presek za uzorak 5.2, uvećanje 500X

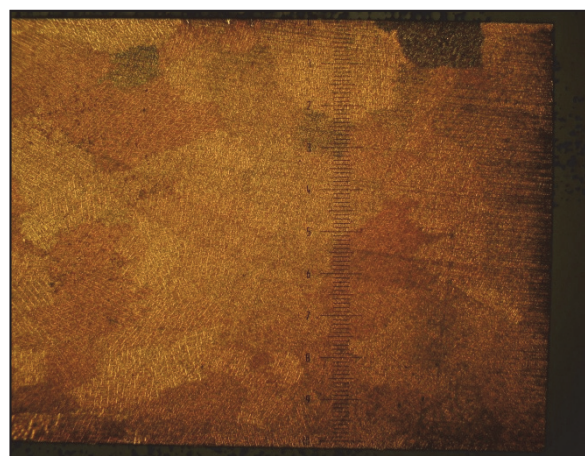


Uzdužni presek za uzorak 5.2, uvećanje 500X

**Slika 3.67.** Slike metalografskih ispitivanja poprečnog i uzdužnog preseka uzorka 5.2 sa različitim uvećanjima



Poprečni presek za uzorak 5.2



Uzdužni presek za uzorak 5.2

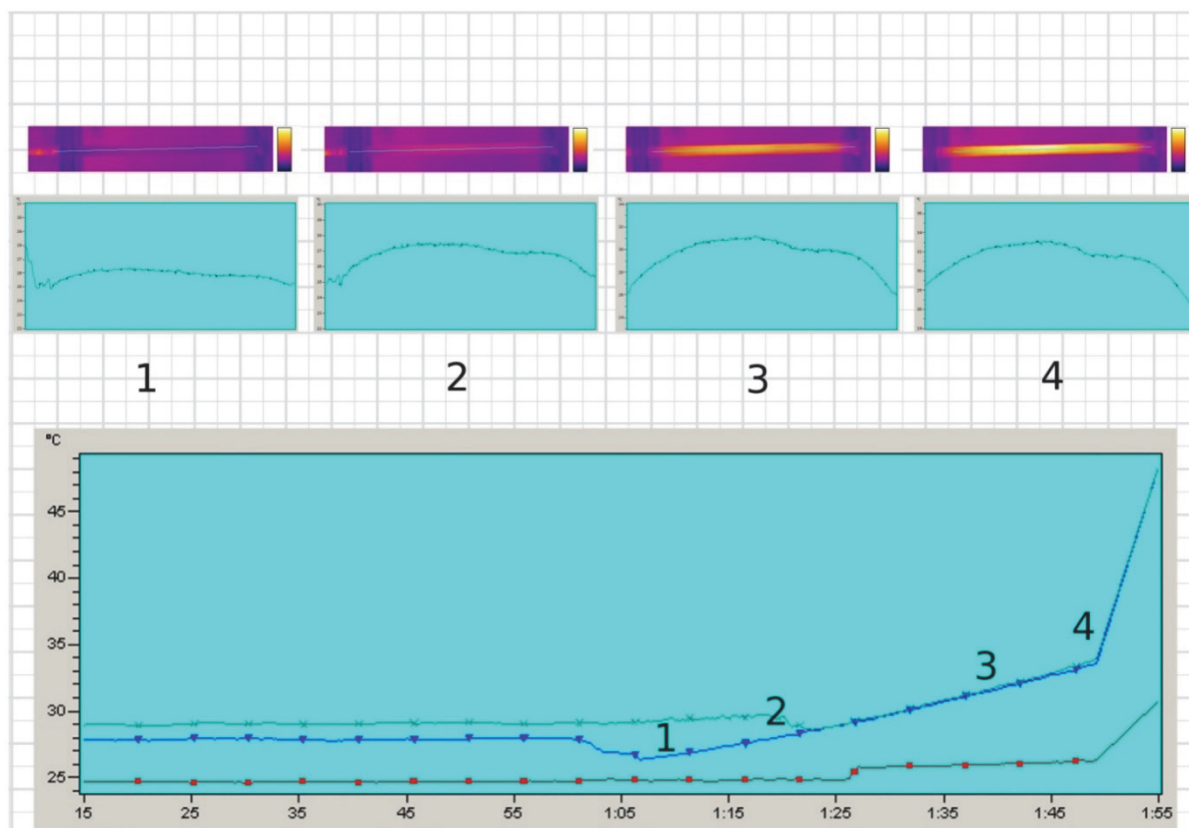
**Slika 3.125.** Slike metalografskih ispitivanja poprečnog i uzdužnog preseka uzorka 5.2 bez uvećanja

**Tabela T.3.29.** Rezultati mehaničkog ispitivanja epruvete uzorka 6

Oznaka uzorka	a <sub>0b0</sub>	l <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	l <sub>u</sub>	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
6.1	10,1	100	80,1	141	11,0	22,7	137	283	41
6.2	10,05	100	79,3	140	11,3	22,9	142	289	40
6.3	10,0	100	78,5	144	11,5	22,8	146	290	44
Srednja vrednost					11,27	22,8	141,67	287,33	41,67

Za analizu epruvete 6.3, izabrana je merna linija postavljena po uzdužnoj osi, LI01. Na termodijagramu, slika 3.126: sivo – maksimalna temperatura celog snimka, plavo – maksimalna temperatura duž epruvete, crveno – minimalna temperatura duž epruvete.

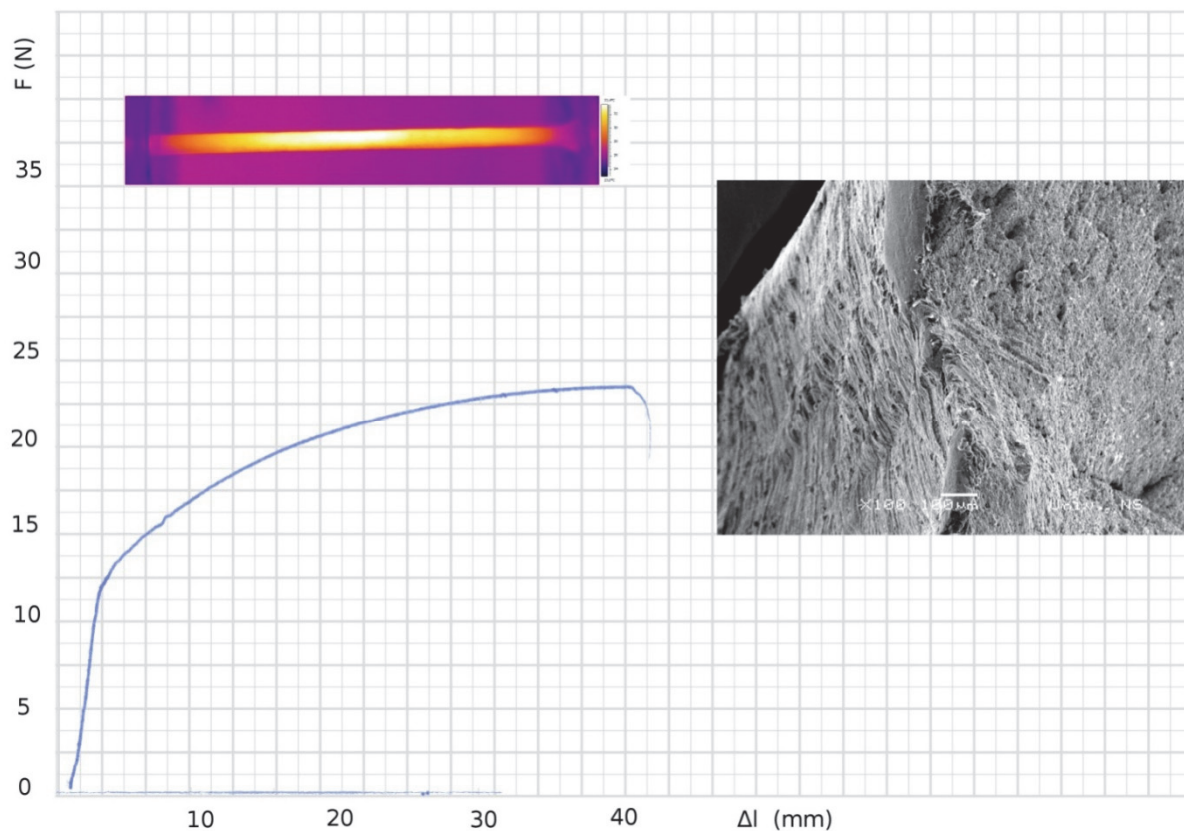
- Tačka 4 – trenutak prekida i termo snimak epruvete u tom trenutku
- Tačka 3 – 10 sekundi pre prekida
- Tačka 2 – 30 sekundi pre prekida
- Tačka 1 – 40 sekundi pre prekida



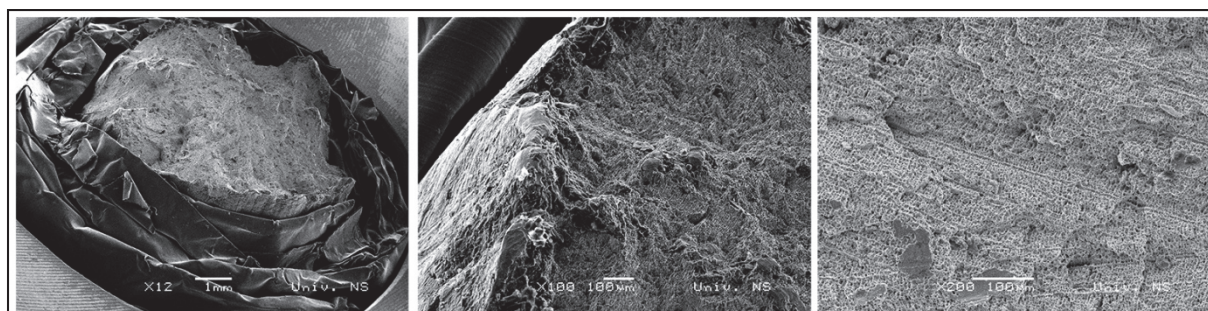
Slika 3.126. Termodijagrami za epruvetu 6.3

Na slici 3.127 je prikazan dijagram sila istezanja – izduženje, termogrami za karakteristične tačke i mikroskopski snimak površine na mestu loma, za epruvetu 6.3.

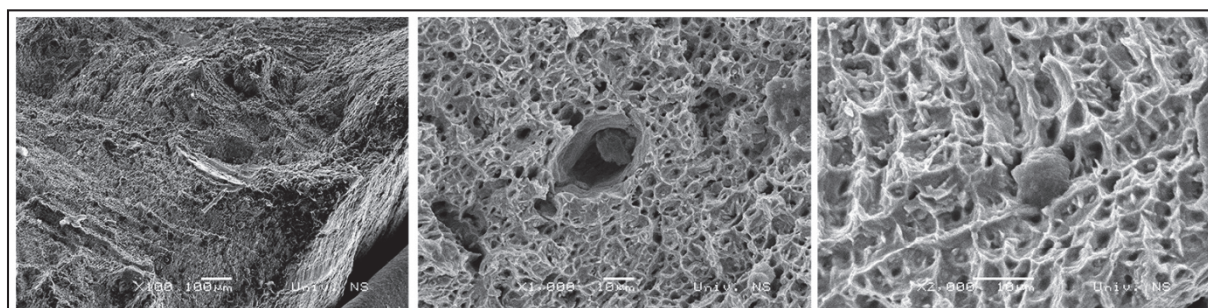




Slika 3.127. Dijagram istežanja, termogram i snimak površine loma za epruvetu 6.3



Uvećanje 12x, 100x, 200x / uzorak 6.3



Uvećanje 100x, 1000x, 2000x / uzorak 6.3

Slika 3.128. Mikroskopski snimak mesta loma epruvete 6.3

## **4. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA ISPITIVANJA**

Istraživanja prikazana u disertaciji su realizovana istovremenim korišćenjem više metoda. U laboratorijskim uslovima to su termografija, metode mehanike loma i metalografija, epruvete nakon mehaničkih ispitivanja su analizirane SEMom i LOMom. Za određeni broj slučajeva je vršena i numerička simulacija na bazi metodom konačnih elemenata (NASTRAN). Koncept eksperimenta je osmišljen tako da obuhvati sve relevantne, standardne metode, usvojene u svetu i kod nas, a čiji rezultati mogu da se upotrebe u dokazivanju glavne hipoteze. Kao osnova za komparativna ispitivanja su korišćene standardizovane metode. Uzorci su isto tako pripremani prema standardizovanim, akreditovanim metodama.

### **4.1. Metalografska analiza**

Za metaluršku praksu proizvodnje odlivaka od bronze, od posebnog interesa je odnos preraspodele rastvorenih elemenata i dendritsko očvršćavanje praćeno mikrosegregacijom, jer ove pojave imaju značajan uticaj na konačne osobine livenih delova (Metallurgy, 1957). Prema industrijskim istraživanjima čelici zavisno od njihovog hemijskog sastava pokazuju različitu sklonost ka pojavi segregacija, kao i pojavi grešaka u poluproizvodima (Renée Schwartz, 2011) Dendritski rast određuje mikrostrukturu tehničkih legura i konsekventno njihove osobine. Mikrosegregacije nastaju kao rezultat razlike koncentracija legirajućih elemenata između dendrita usled različite rastvorljivosti u tečnoj i čvrstoj fazi (A. Ludwig, i dr., 2005; Y.M. Won, id r., 2001). Može se zaključiti da čim je brže hlađenje tim su manji dendritski razmaci, odnosno vrednosti veličina primarnih i sekundarnih razmaka. Kvantitativnom metalografijom određeni su mikrostruktura površine odlivka, veličina dendrita i uključaka. Pri tome su korišteni standardni postupci optičke mikroskopije i pripreme i standardno nagrizanje poliranih proba pomoću ferihlorida.

Na slikama 3.64, 3.61 i 3.66 prikazan je izgled dendritske livene mikrostrukture površine odlivka, gde se jasno mogu uočiti primarni i sekundarni dendriti (J.S. Colton, 2011). Takođe se može videti prisutna interdendritska poroznost i dendritska segregacija. Dendritska livena struktura se sastoji od  $\alpha$  čvrstog rastvora sa česticama olova (tamne okrugle čestice, ravnomerno raspoređene), sl. 3.27, (uzorak od punog profila, prečnika 41 mm), dok je na sl. 3.60, (uzorak od punog profila, prečnika 24 mm), liven na gore, struktura sa manjim dendritima, zbog veće brzine hlađenja. Kod različitih uzoraka je prisutna različita orijentacija dendrita, što je takođe posledica različitih uslova hlađenja. Veličina i orijentacija dendrita su uticale na mehaničke osobine odlivaka, tako da se kod uzoraka sa nedovoljnim mehaničkim osobinama, morao menjati režim livenja, odnosno promena brzine kristalizacije.

Za preciznije ispitivanje hemijskog sastava korištena je energo disperzivna analiza X-zracima. Elektronskim mikroskopom određena su veličina, morfologija i položaj uključaka na površini odlivka, slikama 3.80 i 3.82 (Y.M. Won i dr, 2001). Na slikama se vide uključci, i analiza je pokazala da su to oksidi olova i veličine su nekoliko mikrona.

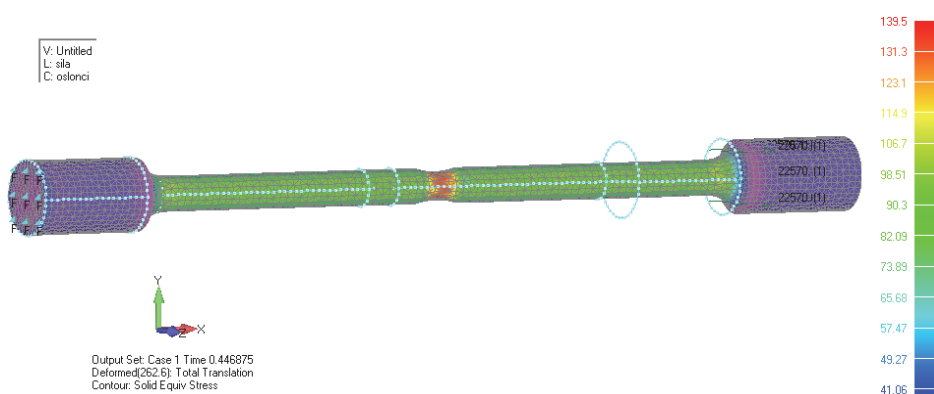


#### 4.2. Analiza standardne epruvete primenom metode konačnih elemenata

Numerička simulacija distribucije napona je predstavljena na istom modelu i pod istim uslovima. Rezultati su pokazali da je termografija pogodan postupak kako za predviđanje nastanka prslina i praćenje rasta, tako i za deformacije usled kritičnog napona Metoda konačnih elemenata (MKE) je izabrana, da simulira operativne uslove (granični uslovi i opterećenja) kao što su karakteristike i ponašanja materijala, u softverskom paketu NASTRAN (Wedler, G., i dr., 2003; Guduru P.R., i dr., 2001).

Termografsko snimanje, koje je neprekidno registrovalo temperaturne promene, analiziralo tu funkciju, nakon dobijanja funkcije eksperimentalne linije. Isti eksperimentalni uslovi su bili simulirani u softverskom paketu Nastran, sa istim uslovima kao u stvarnom testu na istezanje, a rezultati ispitivanja su se međusobno poredili.

Rezultati, dobijeni numeričkim simulacijama, u softverskog paketa Nastran, pokazuju dobru povezanost sa rezultatima testiranja na istezanje (M. Arsenović i dr., 2013). Koristeći ove simulacije, možemo dobiti tačni raspored napona u uzorku. Rezultati simulacije pokazuju mogućnosti korišćenja ovakvog pristupa i za buduće analize. Rezultati su prikazani za režim kontinuiranog livenja, za pun profil, 41 mm u prečniku (Uzorak 5).

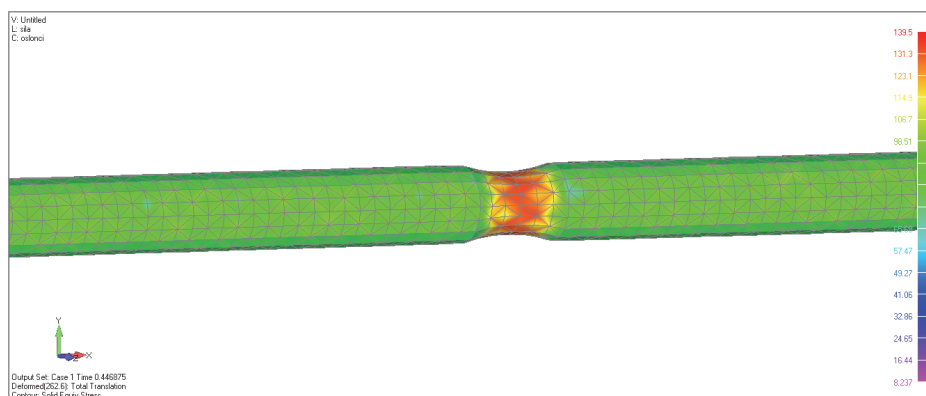


**Slika 4.1.** Rezultati numeričke simulacije za distribuciju napona na uzorku 5

Na slici 4.1 prikazani su rezultati distribucije napona i kritične oblasti na uzorku. To je bilo području loma uzorka u zateznom ispitivanju Na termografskim ispitivanjima kao i kod numeričke simulacije, kritično područje je na istom mestu. Dobijeni naponi pomoću numeričke simulacija, metodom konačnih elemenata, su u saglasnosti sa prethodne dve metode. Slika 3 prikazuje kritičnu oblast i vrednosti distribucije napona, na lokaciji preloma.

Numerička simulacija je korisna alatka da se predvidi raspodela opterećenja i koncentracije napona. U nekim slučajevima eksperimentalno testiranje nije moguće, iz nekih razloga. U tom slučaju je veoma dobro da koristite numeričku simulaciju, da se analizira raspored napona, da se odrede kritična mesta (u ovom radu to je uzorak), inicijalna mesta nastajanja pukotine, predviđanje životnog veka kada pukotina već postoji. Metoda konačnih elemenata je metod za izračunavanje napona, čvrstoće, u svakoj tački uzorka a ova metoda obuhvata 55030 čvorova. U ovom radu je urađena elasto - plastična analiza napona pomoću konačnih elemenata. Ovaj proračun nikada ne može da se uradi u analitičkom metodom.

Na slici 4.1 prikazani su rezultati distribucije napona i kritične oblasti na uzorku. Na mestu zateznog ispitivanja je i kritično mesto uzorka. Na termografskim ispitivanjima je takođe kritična oblast ista kao i kod numeričke simulacije. Određivanje napona numeričkom simulacijom, korišćenjem metode konačnih elemenata, ima dobru podudarnost sa prethodne dve metode. Na slici 4.2 prikazana je kritična oblast i vrednost napona, tamo gde je naznačeno mesto preloma.



Slika 4.2. Kritična oblast uzorka i vrednost napona u tom regionu

### 4.3. Analiza termografskih ispitivanja

Rezultati mehaničkih i termografskih ispitivanja su prikazani istovremeno, u cilju razumevanja mogućnosti, a na osnovu komparativne analize između standardnog testa i termografije. Ideja je da se definišu kriterijum za primenu termografije u predviđanjima ponašanja materijala uzoraka od kontinuiranog livenja, tokom testiranja. U ovom radu je prikazan promena temperature, termogram uzorka i napona - proširenje krive ( crvena linija). THERMA CAM softver omogućava da se analizira temperaturu u 640 x 480 piksela, na površini uzorka (Maksimović S., i dr., 2012; Harwood, N., i dr., 1991; Luong, M.P., 1998). Da bi se analizirale varijacije temperature, merna linija se nalazi u sredini evidentiranih termografa, L01 horizontalno linija. Termogram pokazuje maksimalnu temperaturu tokom eksperimenta kao što je prikazano na slici 3.28. Tokom ispitivanja, termografska kamera detektuje promene temperature ispitivanih površina i pamti rezultate, kontinualno. Tokom kontinualnog procesa livenja se koristi različiti režimi za livenje, za različite serije i zbog velikog broja serija, uzima se jedna karakteristična za livenje. Od svake serija livenja pripremaju se po tri uzorka. Uzorak karakteristične serije 5, je analizirana u ovom radu. Osnovni cilj je da se odredi ponašanje livenih delova u zavisnosti od osobina i režima livenja. Ovaj rad ispituje efekat brzine protoka u kalup pri kontinualnom procesu livenja. Na osnovu raspodele temperature na površini uzorka, tokom ispitivanja na zatezanje, vrsta pukotine se određuju za konkretan uzorak. Uzorak za eksperiment je uzet iz ovakvog procesa livenja.

U tabeli 3.28, prikazuje se režim kontinualnog livenja sa brojem promena, veličinom, brzinom i drugim parametrima, koji su veoma važni za osobine materijala i koji takođe zavise od hemijskog sastava legure. Merna linija je izabran za analiziranje uzorka, sa kružnog poprečnog preseka uzorak 5 i to je postavljena duž uzdužne ose, LI01. Slika 3.122 pokazuje : sivo - maksimalna temperatura celog eksperimenta snimanje, plavo - maksimalna temperatura

duž uzorka, crveno - minimalna temperatura duž uzorka. Tačka 4 - trenutak prekida i temperaturno stanje uzorka u tom trenutku, tačka 3 - 10 sekundi pre loma, tačka 2 - 30 sekundi pre loma, tačka 1 - 40 sekundi pre loma. Slika 3.123, pokazuje dijagram sila istezanja - izduženje, ermogram za karakterističnu tačku i mikroskopska slika površine preloma, za uzorak 5. Na osnovu distribucije temperature na površini uzorka tokom zateznog ispitivanja, može da se implicira koja će biti vrsta prsline. Površina preloma uzorka je analizirana pomoću SEM-a (Slika 3.123), da bi se odredio tip pukotine i bolje objasnilo ponašanje materijala. Rezultati ukazuju da je prisutan duktilni prelom.

Analiza rezultata, prikazan na slici 3.123, pokazuju da u prvom minutu ispitivanja temperatura uzorka nije promenjena i da je došlo do elastične deformacije. Povećanje opterećenja za samo nekoliko N dovodi do naglog povećanja temperature i brzo dolazi do loma epruvete. Maksimalna sila u tom trenutku bila je 3,34 kN (trenutak loma). Ukupno izduženja uzorka je bilo 15mm. Ova vrednost izduženja je merena posle testa. Evidentno je da je inicijalna pukotina visoko lokalizovana manifestacija, na koju utiče slučajna distribucijom osobina materijala. Monitoring temperature tokom termografska testa, obezbeđuje otkrivanje početnih promena temperature, što ukazuje gde su uslovi za pojavu i rast pukotina pod opterećenjem .

Postoji promena temperature na epruveti tokom eksperimenta. Crvena boja predstavlja najveću vrednost napona. Može se videti da temperatura, levo i desno od sredine epruvete, je nešto veća tokom eksperimenta i u poslednjih 10s se maksimalna vrednost temperature kreće ka sredini epruvete. Makimum temperatura, pre pauze, je 41,8 °C. Maksimalna sila, u tom trenutku, bila je 2,37 kN (trenutak loma ). Ukupno izduženje uzorka ke bilo 43 mm. Ova vrednost istezanja je merena posle testa. Evidentno je da je inicijacija loma visoko lokalizovan događaj koji je zavistan od randomiziranih distribucija osobina materijala. Praćenje temperatura, tokom termografska testa, pruža mogućnost zadetekciju početnih promena temperature, što ukazuje gde su izgledni uslovi za nastalanje loma. u zavisnosti od opterećenja.

#### 4.4. Analiza mehaničkih ispitivanja

U tabeli T.1.4. dati su standardi za sve legure koje su u proizvodnom program firme KMM Metals. Sve analize dobijenih rezultata su urađene na osnovu traženih mehaničkih karakteristika od strane kupaca ove firme koje su prikazane u navedenoj tabeli.

**Tabela.T 4.1.** Hemijski sastav i mehaničke karakteristike legura iz proizvodnog programa firme KMM Metals iz Rige

Legura po EN 1982 i drugim standardima	Hemijski sastav, %												Mehaničke karakteristike			
	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Al	Fe	Mn	P	S	Si	Sb	HB min	Rm min	Rp 0.2 min	Amin
CuSn12 (CC483K) EN1982	85,0	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	300	150	6
	89,0	13,0	0,7	0,5	2,0	0,01	0,2	0,2	0,6	0,05	0,01	0,15				
CuSn12Ni2	84,5	11,0	-	-	1,5	-	-	-	0,05	-	-	-	95	300	180	10

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronz

(CC484K) EN1982	87,5	13,0	0,3	0,4	2,5	0,01	0,2	0,2	0,4	0,05	0,01	0,1				
CuSn10 (CC480K) EN1982	88,0	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	280	170	10
	90,0	11,0	1,0	0,5	2,0	0,01	0,2	0,1	0,2	0,05	0,02	0,2				
CuSn7Zn4Pb7 (CC493K) EN1982	81,0	5,2	5,0	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	70	260	120	12
	86,0	8,0	8,0	5,0	2,0	0,01	0,2	-	0,1	0,1	0,01	0,3				
CuSn5Zn5Pb5 (CC491K) EN1982	83,0	4,0	4,0	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	65	250	110	13
	87,0	6,0	6,0	6,0	2,0	0,01	0,3	-	0,1	0,1	0,01	0,25				
CuSn5Zn5Pb2 (CC499K) EN1982	84,0	4,0	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	65	250	110	13
	88,0	6,0	3,0	6,0	0,6	0,01	0,3	-	0,04	0,04	0,01	0,1				
Gb10 P (trgovački naziv)	-	9,0	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	80	280	170	10
	-	11,0	0,5	0,5	0,5	0,05	0,2	0,2	1,0	0,1	0,05	0,3				
Eco Bras s (UNS C69300)	73.0	-	-	Oct	-	-	-	-	0.04	-	2,7	-	180	700	480	20
	77.0	0.20	0.1		0.1	-	0.1	0.1	0.15	-	3,4	-				
CuAl10Fe2 (CC331G) EN1982	83,0	-	-	-	-	8,5	1,5	-	-	-	-	-	130	550	200	15
	89,5	0,20	0,10	0,50	1,5	10,5	3,5	1,0	-	-	0,2	-				
CuAl10Ni3Fe2 (CC332G) EN1982	80,0	-	-	-	1,5	8,5	1,0	-	-	-	-	-	120	550	220	20
	86,0	0,20	0,10	0,50	4,0	10,5	3,0	2,0	-	-	0,2	-				
CuAl10Fe5Ni5 (CC333G)	76,0	-	-	-	4,0	8,5	4,0	-	-	-	-	-	150	650	280	13
	83,0	0,1	0,03	0,5	6,0	10,5	5,5	3,0	-	-	0,1	-				
Eco Bras s (UNS C87850)	74.0	-	-	Oct	-	-	-	-	0.05	-	2,7	-	180	700	480	20
	78.0	0.30	0.1		0.2	-	0.1	0.1	0.20	-	3,4	0.1				
Bronza sa manganom (UNS C86300)	60	-	-	22	-	5	2	2,5	-	-	-	-	225	760	430	14
	66	0,20	0,20	28	1	7,5	4	5	-	-	-	-				
Bronza za ležajevu (UNS C93200)	81	6,3	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	65	240	140	10
	85	7,5	8	4	1	0,005	0,20	-	0,15	0,08	0,05	0,35				
Aluminijumska bronz (UNS C86300)	83	-	-	-	-	10	3	-	-	-	-	-	170	590	220	10
	-	-	0,50	-	2,5	11,5	5	-	-	-	-	-				

Dobijeni rezultati za uzorke iz eksperimentalnog dela, ovog rada, razvrstane po postupku kontinualnog livenja i po poprečnom preseku odlivka, sa pripadajućim parametrima livenja, prikazani su u tabelama T.4.2, T.4.3, T.4.4, T.4.5 i T.4.6.



Tabela T.4.2. Rezultati ispitivanja sa pripadajućim parametrima livenja za pun profil prečnika 41mm

Oznaka uzorka	korak	Pauza	brzina livenja	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	s	kg/h	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>pun profil prečnika 41 mm</b>								
611.1	21	3.2	267	11,6	29,2	102	257	5
611.2	21	3.2	267	13,8	26,4	121	232	4
611.3	21	3.2	267	17,8	31	157	272	8
<b>Srednja vrednost</b>				<b>14,4</b>	<b>28,87</b>	<b>126,67</b>	<b>253,67</b>	<b>5,67</b>
612.1	21	2.5	343	21	31,8	184	279	-
612.2	21	2.5	343	21,8	32,8	191	288	-
612.3	21	2.5	343	22,1	31,9	193	279	-
<b>Srednja vrednost</b>				<b>21,63</b>	<b>32,17</b>	<b>189,33</b>	<b>282</b>	<b>-</b>
613.1	21	5	172	17,8	27,1	155	236	
613.2	21	5	172	18,4	28,5	160	248	5
613.3	21	5	172	19	29,7	165	258	7
<b>Srednja vrednost</b>				<b>18,4</b>	<b>28,43</b>	<b>160</b>	<b>247,33</b>	<b>6</b>
621.1	17	4.7	147	17	30,9	150	273	
621.2	17	4.7	147	18,4	22,9	150	199	
621.3	17	4.7	147	17	28,5	149	250	9
<b>Srednja vrednost</b>				<b>17,47</b>	<b>27,43</b>	<b>149,67</b>	<b>240,67</b>	<b>9</b>
622.1	17	3	230	17,6	32,8	156	290	14
622.2	17	3	230	18,7	32,3	163	281	12
622.3	17	3	230	17,5	31,9	152	278	10
<b>Srednja vrednost</b>				<b>17,93</b>	<b>32,33</b>	<b>157</b>	<b>283</b>	<b>12</b>
623.1	17	1.8	381	192	30,2	167	263	8
623.2	17	1.8	381	19,5	33,5	170	293	
623.3	17	1.8	381	19,5	33,4	170	291	10
<b>Srednja vrednost</b>				<b>77</b>	<b>32,37</b>	<b>169</b>	<b>282,33</b>	<b>9</b>
631.1	25	5	203	19,9	31,2	173	271	
631.2	25	5	203	19,3	29,9	168	260	8
631.3	25	5	203	19	27,8	165	242	6
<b>Srednja vrednost</b>				<b>19,4</b>	<b>29,63</b>	<b>168,67</b>	<b>257,67</b>	<b>7</b>
632.1	25	3.2	316	20,1	34,6	175	301	13
632.2	25	3.2	316	21,2	34,5	184	300	13
632.3	25	3.2	316	20,3	34,8	177	303	14
<b>Srednja vrednost</b>				<b>20,53</b>	<b>34,63</b>	<b>178,67</b>	<b>301,33</b>	<b>13,33</b>
633.1	25	2.6	389	20,6	33,4	179	291	12
633.2	25	2.6	389	20,6	33,7	179	293	
633.3	25	2.6	389	20,7	30,7	182	269	13
<b>Srednja vrednost</b>				<b>20,63</b>	<b>32,6</b>	<b>180</b>	<b>284,33</b>	<b>12,5</b>

**Tabela T.4.3.** Rezultati ispitivanja sa pripadajućim parametrima livenja za pun šestougaoni profil OK27mm

Oznaka uzorka	korak	pauza	brzina livenja	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	s	kg/h	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>pun profil OK 27</b>								
1011.1	21	1.9	188	15,1	31,3	138	286	18
1011.2	21	1.9	188	15,2	32,2	137	290	19
1011.3	21	1.9	188	16,0	33,4	141	295	22,5
<b>Srednja vrednost</b>				<b>15,43</b>	<b>32,3</b>	<b>138,67</b>	<b>290,33</b>	<b>19,83</b>
1012.1	21	2.1	174	16,1	36,1	145	327	34
1012.2	21	2.1	174	15,9	35,6	144	323	30
1012.3	21	2.1	174	16,3	35,2	148	319	30
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,1</b>	<b>35,63</b>	<b>145,67</b>	<b>323</b>	<b>31,33</b>
1013.1	21	2.3	161	17,2	36,4	152	322	33
1013.2	21	2.3	161	17,2	36,1	153	322	30
1013.3	21	2.3	161	16,4	35,7	147	321	30
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,93</b>	<b>36,07</b>	<b>150,67</b>	<b>321,67</b>	<b>31</b>
1021.1	17	2.3	133	17,2	36,5	153	325	33
1021.2	17	2.3	133	16,2	35,8	144	319	32
1021.3	17	2.3	133	17,0	36,7	150	325	32
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,8</b>	<b>36,33</b>	<b>149</b>	<b>323</b>	<b>32,33</b>
1022.1	17	2.1	144	16,8	36,3	148	321	
1022.2	17	2.1	144	17,1	35,9	151	312	29
1022.3	17	2.1	144	17,2	35,9	153	320	30
<b>Srednja vrednost</b>				<b>17,03</b>	<b>36,03</b>	<b>150,67</b>	<b>317,67</b>	<b>29,5</b>
1023.1	17	1.9	157	16,4	35,3	145	312	32
1023.2	17	1.9	157	16,8	35,9	148	312	33
1023.3	17	1.9	157	17,0	35,9	150	317	28
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,73</b>	<b>35,7</b>	<b>147,67</b>	<b>313,67</b>	<b>31</b>
1031.1	25	1.9	221	17,2	35,5	152	314	28
1031.2	25	1.9	221	16,7	35,7	148	316	29
1031.3	25	1.9	221	17,0	34,1	150	302	22
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,97</b>	<b>35,1</b>	<b>150</b>	<b>310,67</b>	<b>26,33</b>
1032.1	25	2.1	199	17,2	36,2	152	320	
1032.2	25	2.1	199	17,0	35,4	150	313	
1032.3	25	2.1	199	16,7	35,0	148	310	24
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,97</b>	<b>35,1</b>	<b>150</b>	<b>314,33</b>	<b>24</b>
1033.1	25	2.3	186	16,8	36,0	148	318	29
1033.2	25	2.3	186	16,2	36,0	143	318	34
1033.3	25	2.3	186	16,2	33,4	146	300	20
<b>Srednja vrednost</b>				<b>16,4</b>	<b>35,13</b>	<b>145,67</b>	<b>312</b>	<b>27,67</b>

**Tabela T.4.4.** Rezultati ispitivanja sa pripadajućim parametrima livenja za cev spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 25mm

Oznaka uzorka	korak	pauza	brzina livenja	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	s	kg/h	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>cev, spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 25 mm</b>								
111.1	21	3.05	226	13,0	24,5	148	279	
111.2	21	3.05	226	12,4	25,0	137	277	17
111.3	21	3.05	226	12,5	25,6	138	284	18
<b>Srednja vrednost</b>				<b>12,63</b>	<b>25,03</b>	<b>141</b>	<b>280</b>	<b>17,5</b>
112.1	21	3.25	210	12,5	24,4	142	277	19
112.2	21	3.25	210	12,4	23,9	143	276	18
112.3	21	3.25	210	13,8	24,7	156	280	16
<b>Srednja vrednost</b>				<b>12,9</b>	<b>24,33</b>	<b>147</b>	<b>277,67</b>	<b>17,67</b>
113.1	21	2.85	237	13,6	25,6	147	277	19
113.2	21	2.85	237	13,5	26,7	148	292	22
113.3	21	2.85	237	13,2	25,3	148	285	19
<b>Srednja vrednost</b>				<b>13,43</b>	<b>25,87</b>	<b>147,67</b>	<b>284,67</b>	<b>20</b>
121.1	17	2.85	200	12,0	23,3	146	284	19
121.2	17	2.85	200	12,4	23,9	147	283	
121.3	17	2.85	200	13,0	24,3	160	298	26
<b>Srednja vrednost</b>				<b>12,47</b>	<b>23,83</b>	<b>151</b>	<b>288,33</b>	<b>22,5</b>
122.1	17	3.05	187	13,2	26,4	142	285	19
122.2	17	3.05	187	13,5	25,7	143	272	-
122.3	17	3.05	187	14,2	26,8	152	287	21
<b>Srednja vrednost</b>				<b>13,63</b>	<b>26,3</b>	<b>145,67</b>	<b>281,33</b>	<b>20</b>
123.1	17	3.25	176	11,5	26,2	131	298	-
123.2	17	3.25	176	12,5	25,3	145	294	24
123.3	17	3.25	176	13,2	26,3	145	289	22
<b>Srednja vrednost</b>				<b>12,4</b>	<b>25,93</b>	<b>140,33</b>	<b>293,67</b>	<b>23</b>
131.1	25	3.25	247	14,7	26,9	159	291	
131.2	25	3.25	247	12,6	25,7	139	282	20
131.3	25	3.25	247	13,1	26,7	142	289	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>13,47</b>	<b>26,43</b>	<b>146,67</b>	<b>287,33</b>	<b>20</b>
132.1	25	3.05	261	12,4	24,2	149	291	
132.2	25	3.05	261	11,2	24,9	139	295	23
132.3	25	3.05	261	12,4	23,1	150	279	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>12</b>	<b>24,07</b>	<b>146</b>	<b>288,33</b>	<b>23</b>
133.1	25	2.85	278	12,9	25,7	145	288	22
133.2	25	2.85	278	13,9	25,8	157	291	
133.3	25	2.85	278	14,1	27,1	145	278	21
<b>Srednja vrednost</b>				<b>13,63</b>	<b>26,2</b>	<b>149</b>	<b>285,67</b>	<b>21,5</b>

**Tabela T.4.5.** Rezultati ispitivanja sa pripadajućim parametrima livenja za šestougaonu cev spoljnog prečnika OK22 i unutrašnjeg 9mm

Oznaka uzorka	korak	pauza	brzina livenja	F <sub>e</sub>	F <sub>m</sub>	R <sub>e</sub>	R <sub>m</sub>	A
	mm	mm	mm	kN	kN	MPa	MPa	%
<b>cev OK 22, unutrašnjeg prečnika 9 mm</b>								
711.1	21	1.5	96	7,5	12,8	160	273	
711.2	21	1.5	96	7,6	12,7	167	279	
711.3	21	1.5	96	7,5	15,0	170	295	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>7,53</b>	<b>13,5</b>	<b>165,67</b>	<b>282,33</b>	
712.1	21	1	141	6,8	12,6	159	294	19
712.2	21	1	141	7,0	12,2	163	284	16
712.3	21	1	141	7,2	12,7	163	288	18
<b>Srednja vrednost</b>				<b>7</b>	<b>12,5</b>	<b>161,67</b>	<b>288,67</b>	<b>17,67</b>
713.1	21	3	48	7,6	12,6	168	279	
713.2	21	3	48	7,2	12,35	170	290	25
713.3	21	3	48	6,7	12,9	153	294	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>7,17</b>	<b>12,62</b>	<b>163,67</b>	<b>287,67</b>	<b>25</b>
721.1	17	2	95	7,1	12,6	166	295	18
721.2	17	2	95	6,5	12,4	154	294	21
721.3	17	2	95	7,2	13,05	169	306	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>6,93</b>	<b>12,68</b>	<b>163</b>	<b>298,33</b>	<b>19,5</b>
722.1	17	1.4	137	7,5	12,9	163	280	
722.2	17	1.4	137	6,6	12,3	156	291	25
722.3	17	1.4	137	7,2	11,6	176	284	18
<b>Srednja vrednost</b>				<b>7,1</b>	<b>12,27</b>	<b>165</b>	<b>285</b>	<b>21,5</b>
723.1	17	1.1	174	9,6	12,4	173	282	15
723.2	17	1.1	174	7,0	11,8	166	280	17
723.3	17	1.1	174	7,4	11,15	165	249	11
<b>Srednja vrednost</b>				<b>8</b>	<b>11,78</b>	<b>168</b>	<b>270,33</b>	<b>14,33</b>
731.1	25	3.5	68	6,6	11,75	155	276	16
731.2	25	3.5	68	6,6	10,4	152	247	12
731.3	25	3.5	68	8,2	13,3	177	289	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>7,13</b>	<b>11,82</b>	<b>161,33</b>	<b>270,67</b>	<b>14</b>
732.1	25	2.7	88	7,1	12,5	164	289	18
732.2	25	2.7	88	8,6	12,85	181	271	
732.3	25	2.7	88	8,5	12,9	182	276	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>8,07</b>	<b>38,25</b>	<b>175,67</b>	<b>278,67</b>	<b>18</b>
733.1	25	1.5	160	7,4	12,8	173	300	24
733.2	25	1.5	160	7,1	12,6	141	250	21
733.3	25	1.5	160	7,7	11,9	156	256	
<b>Srednja vrednost</b>				<b>7,4</b>	<b>12,43</b>	<b>156,67</b>	<b>268,67</b>	<b>22,5</b>

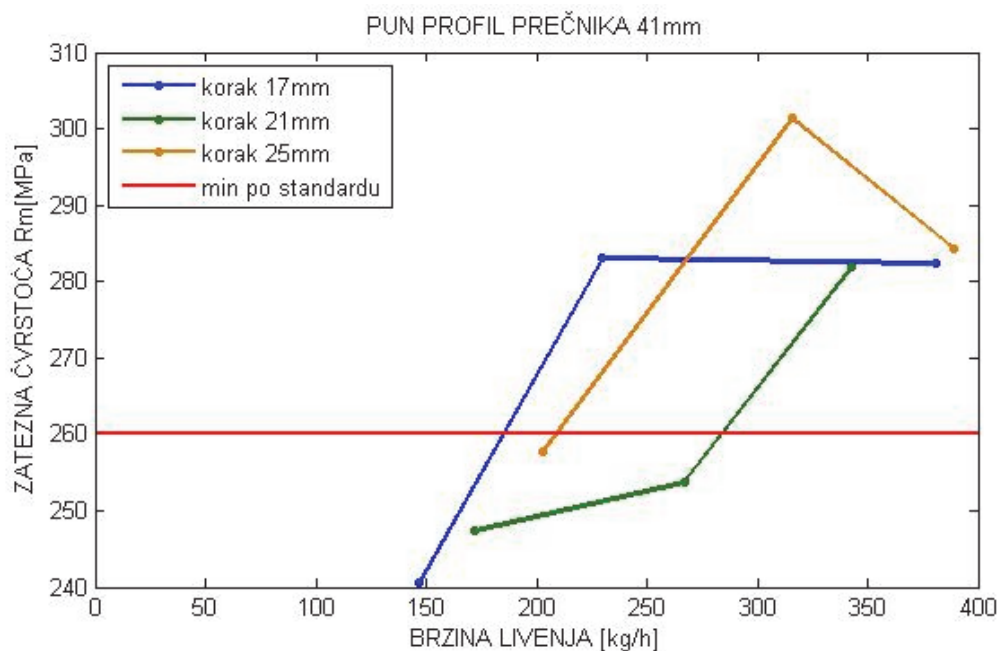


**Tabela T.4.6.** Rezultati ispitivanja, za liveni pun profil prečnika 24mm, sa pripadajućim parametrima livenja, za uzorke uzete postupkom vertikalnog kontinualnog livenja na gore u elektromagnetnom kristalizatoru

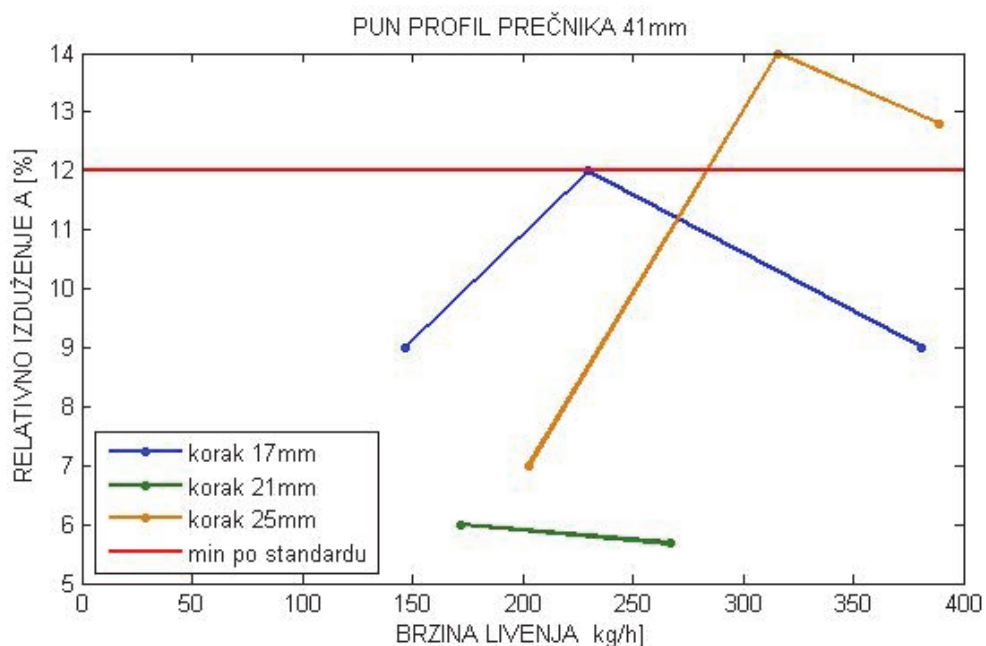
Oznaka uzorka	korak	pauza	brzina livenja	frekvenca polja/jačina	Fe	F <sub>m</sub>	Re	R <sub>m</sub>	A
	mm	s	kg/h	Hz/%	kN	kN	MPa	MPa	%
1.1	21	2.5	120	25/60	11,2	22,7	141	286	42
1.2	21	2.5	120	25/60	11,2	22,2	141	281	31
1.3	21	2.5	120	25/60	11,3	22,7	142	286	42
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,23</b>	<b>22,53</b>	<b>141,33</b>	<b>284,33</b>	<b>38,33</b>
2.1	15	2	108	bez polja	11,5	23,1	146	297	43
2.2	15	2	108	bez polja	11,6	23,0	147	293	35
2.3	15	2	108	bez polja	11,4	23,1	145	294	38
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,5</b>	<b>23,07</b>	<b>146</b>	<b>294,67</b>	<b>38,67</b>
3.1	10	1.5	96	bez polja	11,1	22,4	140	283	30
3.2	10	1.5	96	bez polja	11,7	22,4	150	286	38
3.3	10	1.5	96	bez polja	11,5	23,1	145	292	37
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,43</b>	<b>22,63</b>	<b>145</b>	<b>287</b>	<b>35</b>
4.1	21	2.5	120	30/60	11,2	22,6	143	288	44
4.2	21	2.5	120	30/60	11,2	22,6	143	288	40
4.3	21	2.5	120	30/60	10,9	22,7	139	289	42
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,1</b>	<b>22,63</b>	<b>141,67</b>	<b>288,33</b>	<b>42</b>
5.1	21	2.5	120	20/60	11,0	22,5	139	284	38
5.2	21	2.5	120	20/60	11,3	22,6	142	285	40
5.3	21	2.5	120	20/60	11,1	22,6	140	285	44
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,13</b>	<b>22,57</b>	<b>140,33</b>	<b>284,67</b>	<b>40,67</b>
6.1	21	2.5	120	bez polja	11,0	22,7	137	283	41
6.2	21	2.5	120	bez polja	11,3	22,9	142	289	40
6.3	21	2.5	120	bez polja	11,5	22,8	146	290	44
<b>Srednja vrednost</b>					<b>11,27</b>	<b>22,8</b>	<b>141,67</b>	<b>287,33</b>	<b>41,67</b>

#### 4.5. Uticaj brzine livenja i koraka povlačenja odlivka, na mehaničke karakteristike livenih profila, dobijenih verikalnim kontinualnim livenjem nadole

Na slici 4.3 prikazan je dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće, R<sub>m</sub>, od brzine livenja, a na slici 4.4 zavisnost relativnog izduženja, A od brzine livenja, za pun profil prečnika 41 mm, od legure CuSn7Zn4Pb7 poznate pod trgovačkim nazivom Rg7.



Slika 4.3. Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće Rm od brzine livenja za pun profil prečnika 41mm od legure CuSn7Zn4Pb7 za korake livenja 17, 21 i 25mm



Slika 4.4. Dijagram zavisnosti relativnog izduženja A od brzine livenja za pun profil prečnika 41mm od legure CuSn7Zn4Pb7 za korake livenja 17, 21 i 25mm

Sa slika 4.3 i 4.4 uočava se, da se za parametre livenja sa korakom 21mm nezadovoljavaju uslovi definisani standardom, za mehaničke karakteristike Rm i A. Za livenje sa korakom 17mm, za brzinu livenja od 230 kg/h dobijaju se tražene mehaničke karakteristike, ali zbog komercijalnih razloga nije preporučena za industrijsku proizvodnju zbog male produktivnosti. Najbrže brzine livenja koje omogućavaju dobijanje livenog profila koji zadovoljava mehaničke karakteristike definisane po standardu su za parametre livenja sa korakom od 25mm i brzinama

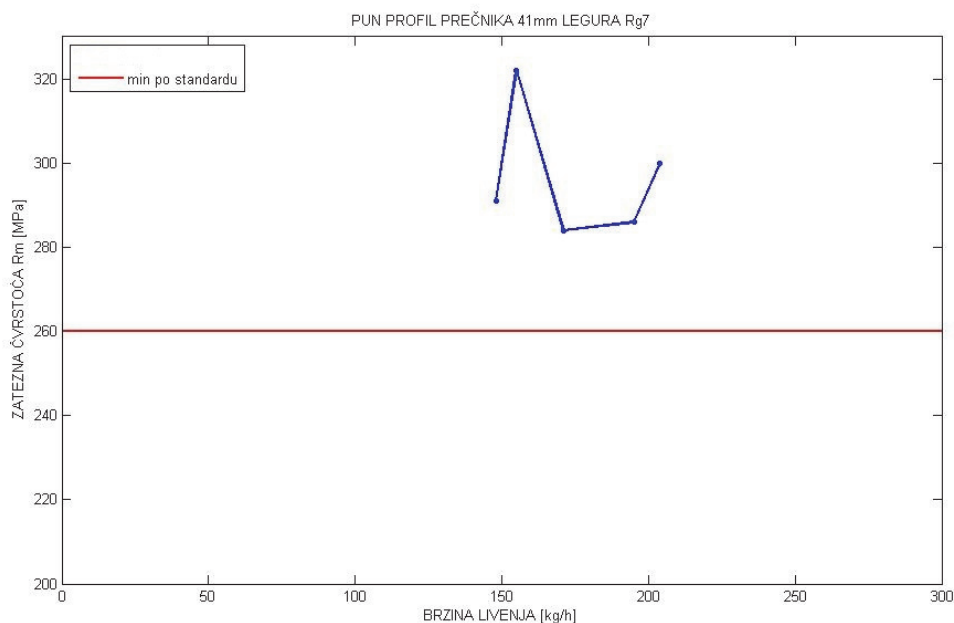
većim od 316kg/h do brzine 389 kg/h.

Zbog dobijenih loših mehaničkih karakteristika, pored metalografskih ispitivanja koja su pokazala da se na mestu preloma nalaze uključci, ponovljeno je livenje nekoliko putai rezultati tih ispitivanja dati su u tabeli T4.7.

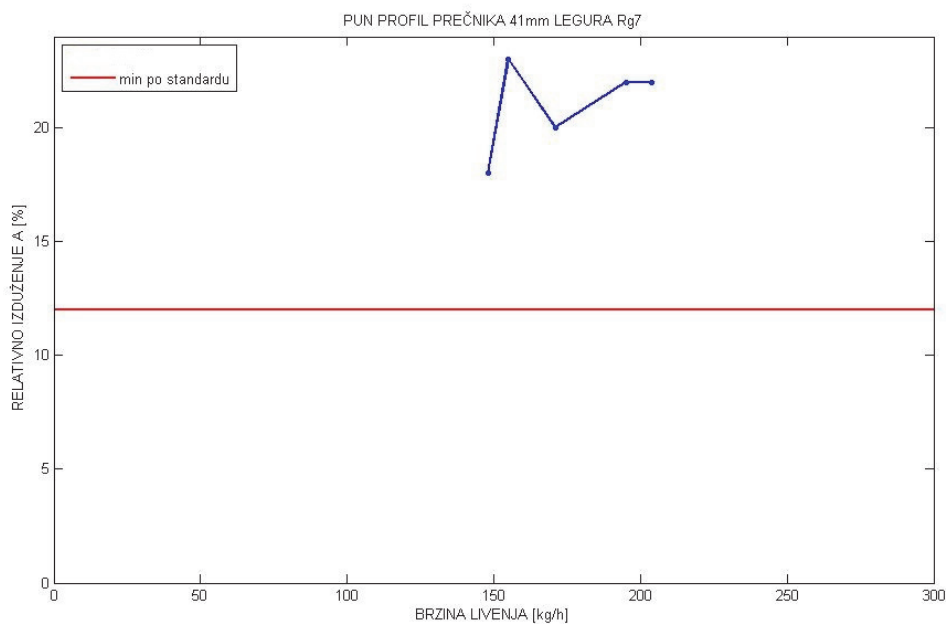
**Tabela T.4.7.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za naknadno livenje punog profila prečnika 41mm od legure Rg7 dobijenih u redovnoj proizvodnji u fabric KMM Metals u Rigi za korak povlačenja 21mm.

Fabrički kontrolni broj	Legura	dimenzije odlivka mm	Datum livenja	Rm (Mpa)	A (%)	Brzina livenja kg/h
11010	Rg7	41	29.07.2014.	300	22	204
10708	Rg7	41	22.05.2014.	286	22	195
10356	Rg7	41	10.03.2014.	322	23	155
10171	Rg7	41	3.02.2014.	284	20	171
10128	Rg7	41	22.01.2014.	291	18	148

Na slikama 4.5 i 4.6 Prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće Rm (slika 4.5) i relativnog izduženja, A (slika 4.6) od brzine livenja, za uzorke dobijenih u toku redovne proizvodnje, za liveni puni profil, prečnika 41mm, od legure Rg7.

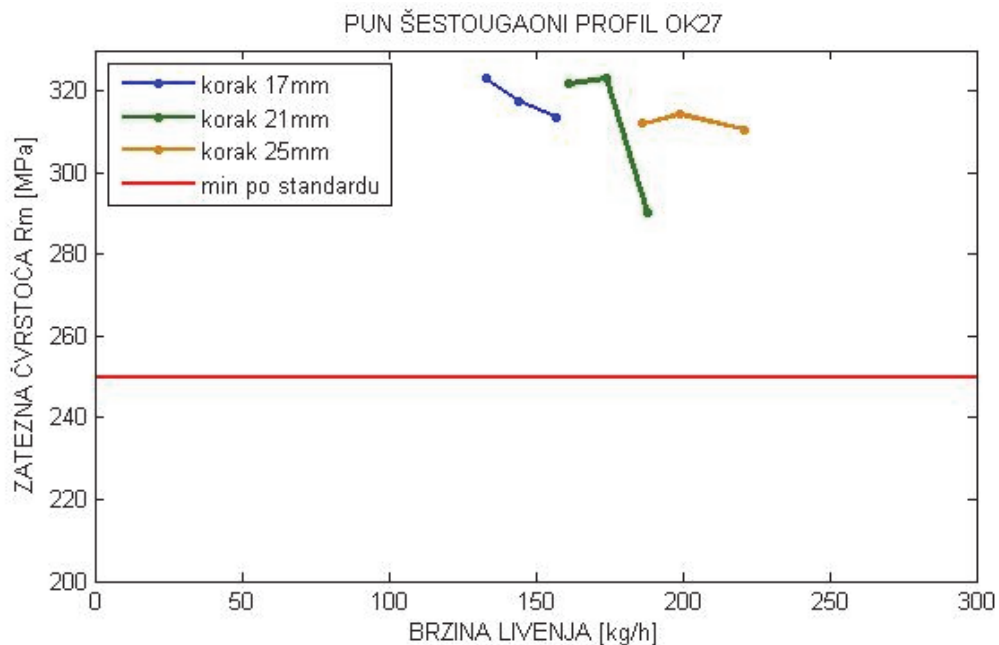


**Slika 4.5.** Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće Rm od brzine livenja za liveni puni profil prečnika 41mm, od legure Rg7, dobijen u redovnoj proizvodnji



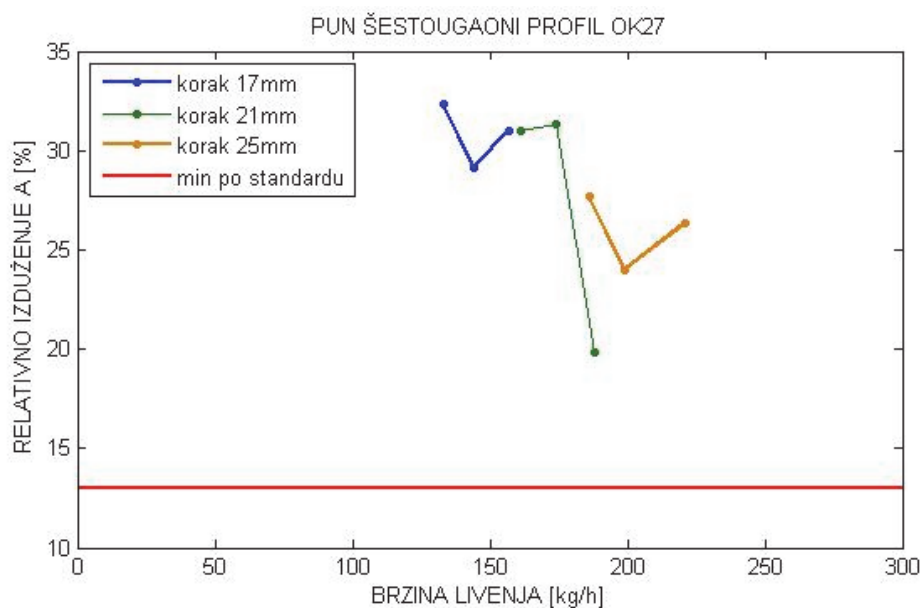
Slika 4.6. Dijagram zavisnosti zatezne relativnog izduženja, A od brzine livenja za liveni pun profil prečnika 41mm, od legure Rg7, dobijen u redovnoj proizvodnji

Na slikama 4.7 i 4.8 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm od brzine livenja (slika 4.7) i relativnog izduženja A od brzine livenja (slika 4.8) za leguru CuSn5Zn5Pb2 poznate pod trgovačkim nazivom Rg5Pbarm, za liveni puni šestougaoni profil OK27.



Slika 4.7. Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće Rm od brzine livenja za pun šestougaoni profil OK27 od legure CuSn5Zn5Pb2, za korake livenja 17, 21 i 25mm





**Slika 4.8.** Dijagram zavisnosti relativnog izduženja A od brzine livenja za pun šestougaoni profil OK27 od legure CuSn5Zn5Pb2, za korake livenja 17, 21 i 25mm

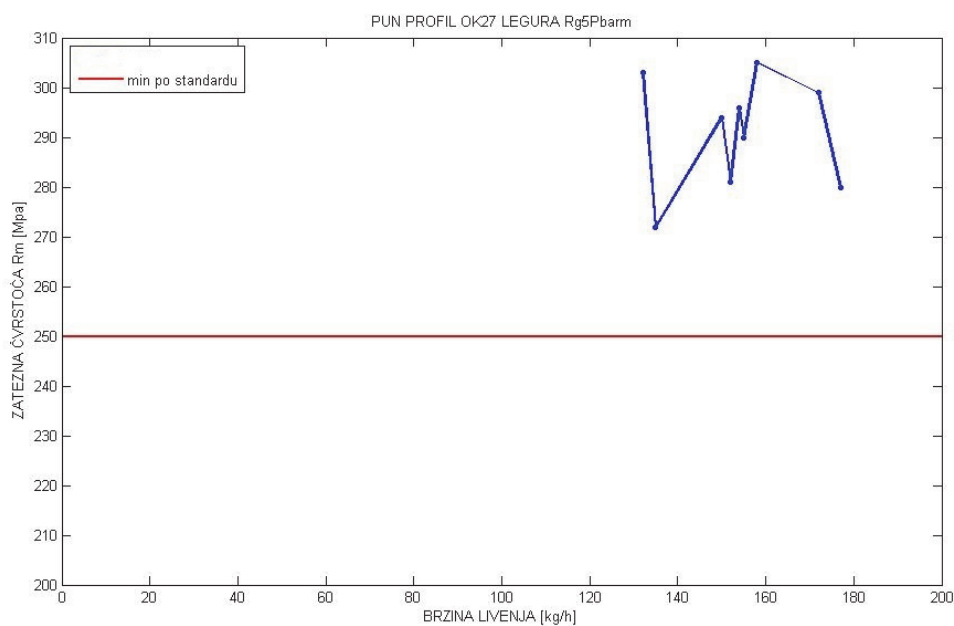
Sa dijagrama prikazanih na slikama 4.7 i 4.8 pri svim parametrima livenja dobijaju se tražene mehaničke karakteristike, zbog čega se neće detaljnije analizirati dobijeni rezultati. Korišćena konstrukcija kristalizatora u eksperimentalnim istraživanjima je odgovarajuća za livenje ove legure, kao i konstrukcija grafitne kokile, sa kanalima za utopljavanje ivica, opisana u delu eksperimentalnih istraživanja ovog rada. Postignute brzine livenja su komercijalno opravdane pa se može smatrati da za dalju proizvodnju šestougaonih profila od ove legure treba koristiti konstrukcije, kristalizatora i grafitne kokile, korišćene u ovim eksperimentalnim istraživanjima.

U redovnoj proizvodnji u fabrici KMM Metals u Rigi, nekoliko puta u 2014. godini je ponovljeno livenje ovog profila od iste legure. Dobijeni rezultati iz redovne proizvodnje prikazani su u tabeli T.4.8.

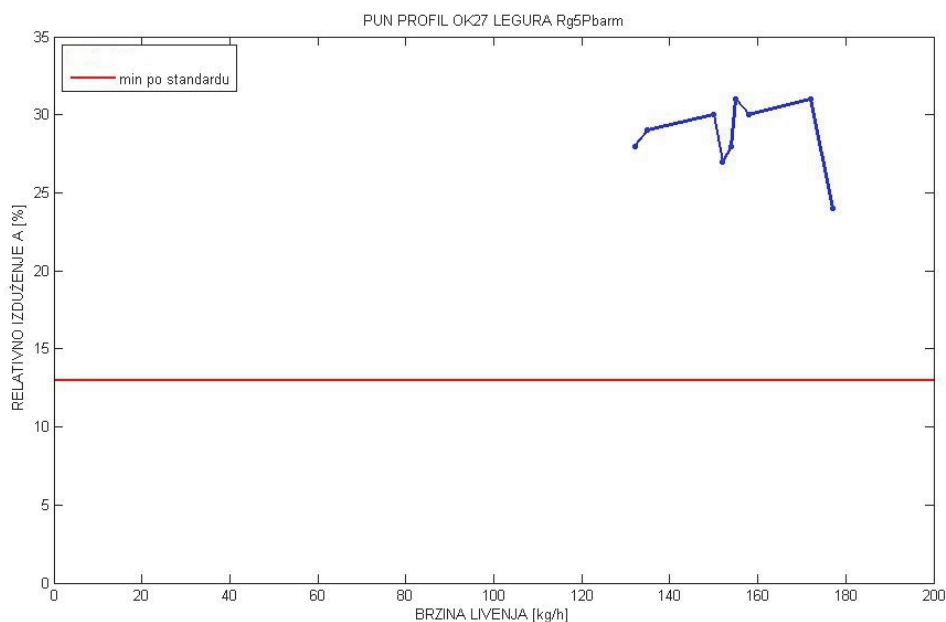
**Tabela T.4.8.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za pun šestougaoni profil OK27 od legure Rg5Pbarm, dobijenih od odlivaka iz redovne proizvodnje u firmi KMM Metals u Rigi, sa korakom povlačenja 21mm.

Fabrički kontrolni broj	Legura	dimenzije odlivka mm	Datum livenja	Rm (Mpa)	A (%)	Brzina livenja kg/h
10812	Rg5 Pbarm	OK 27	10.06.2014.	294	30	150
10797	Rg5 Pbarm	OK 27	6.06.2014.	303	28	132
10772	Rg5 Pbarm	OK 27	2.06.2014.	296	28	154
10626	Rg5 Pbarm	OK 27	6.05.2014.	305	30	158
10536	Rg5 Pbarm	OK 27	14.04.2014	280	24	177
10497	Rg5 Pbarm	OK 27	4.04.2014	290	31	155
10492	Rg5 Pbarm	OK 27	3.04.2014	281	27	152
10456	Rg5 Pbarm	OK 27	27.03.2014.	272	29	135
10432	Rg5 Pbarm	OK 27	24.03.2014.	299	31	172

Na slikama 4.9 i 4.10 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće,  $R_m$  i relativnog izduženja  $A$  od brzine livenja za pun profil OK27, od legure Rg5Pbarm, dobijen u redovnoj proizvodnji firme KMM metals u Rigi, za parametar povlačenja odlivka 21mm.

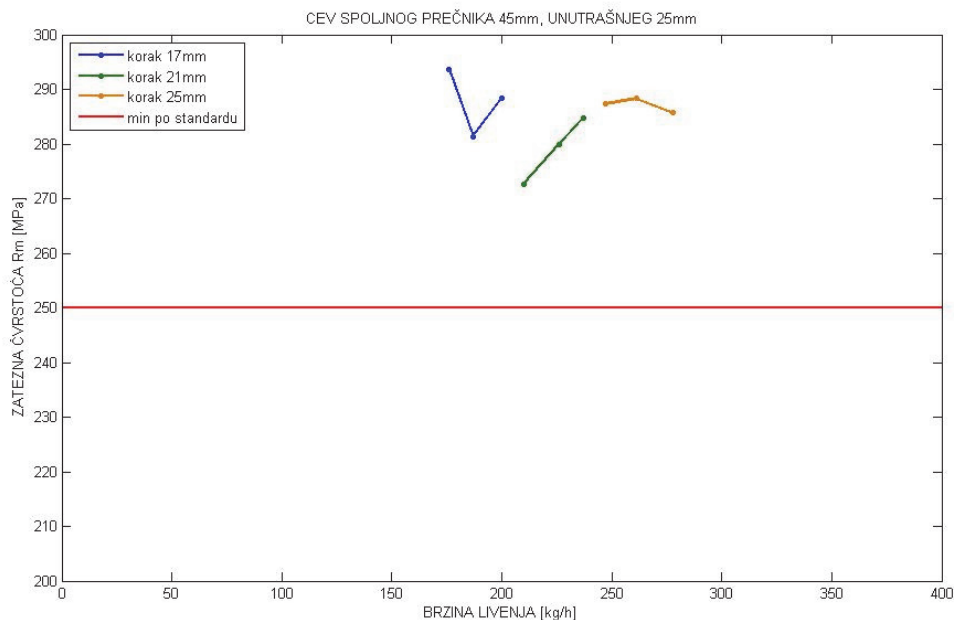


**Slika 4.9.** Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće,  $R_m$  od brzine livenja, za liveni pun profil OK27mm, od legure Rg5pbarm, dobijem u redovnoj proizvodnji firme KMM Metals u Rigi

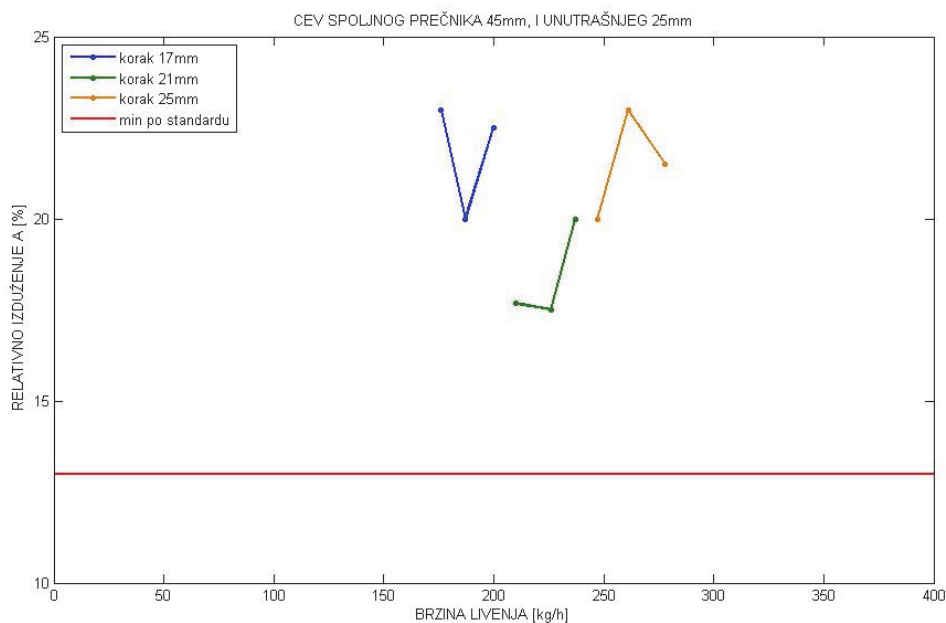


**Slika 4.10.** Dijagram zavisnosti relativnog izduženja,  $A$  od brzine livenja, za liveni pun profil OK27mm, od legure Rg5pbarm, dobijem u redovnoj proizvodnji firme KMM Metals u Rigi

Na slikama 4.11 i 4.10 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm od brzine livenja (slika 4.11) i relativnog izduženja A od brzine livenja (slika 4.12) za leguru CuSn5Zn5Pb2 poznate pod trgovačkim nazivom Rg5Pbarm, za livenu cev spoljašnjeg prečnika 45 i unutrašnjeg 25mm.



Slika 4.11. Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće Rm od brzine livenja za liveni profil, cev spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 25mm od legure CuSn5Zn5Pb2 za korake 17,21 i 25mm



Slika 4.12. Dijagram zavisnosti relativnog izduženja A od brzine livenja za liveni profil, cev spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 25mm od legure CuSn5Zn5Pb2 za korake 17,21 i 25mm

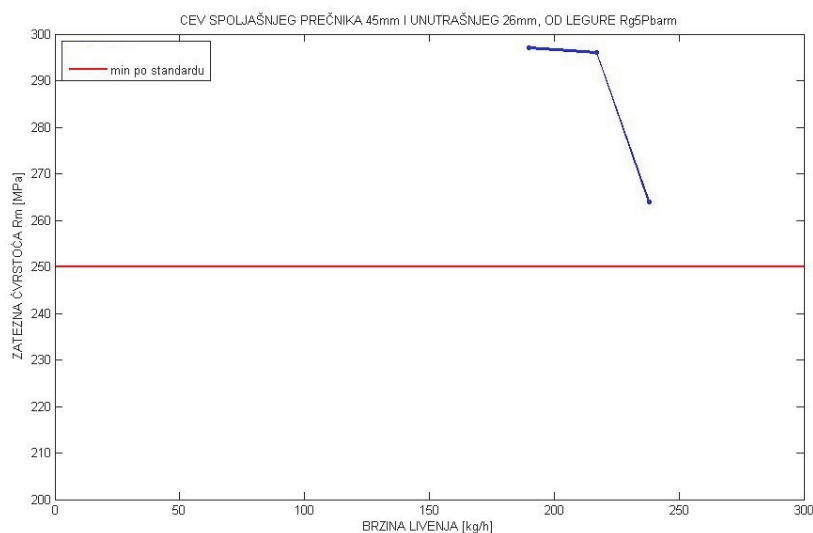
Sa dijagrama prikazanih na slikama 4.9 i 4.10 pri svim parametrima livenja dobijaju se tražene mehaničke karakteristike, zbog čega se neće detaljnije analizirati dobijeni rezultati. Korišćena konstrukcija kristalizatora u eksperimentalnim istraživanjima je odgovarajuća za livenje ove legure, kao i konstrukcija grafitne kokile. Postignute brzine livenja su komercijalno opravdane pa se može smatrati da za dalju proizvodnju cevi od ove legure treba koristiti konstrukcije kristalizatora i grafitne kokile, korišćene u ovim eksperimentalnim istraživanjima.

U tabeli T.4.9. Prikazani su rezultati mehaničkih ispitivanja za cev spoljnog prečnika 45 unutrašnjeg 26 mm, od legure Rg5Pbarm dobijenih u redovnoj proizvodnji fabrike KMM Metals u Rigi u toku 2014. Godine, sa parametrom, korak povlačenja odlivka 21mm. Ova je cev po dimenzijama najbližnja ispitivanoj cevi u delu eksperimentalnih istraživanja ovog rada.

**Tabela T.4.9.** Rezultati mehaničkih ispitivanja, za livenu cev, spoljnog prečnika 45 i unutrašnjeg 26mm, od legure Rg5Pbarm, dobijene u redovnoj proizvodnji u fabrici KMM Metals u Rigi, sa parametrom, korak povlačenja odlivka 21mm.

Fabrički kontrolni broj	Legura	dimenzije odlivka mm	Datum livenja	Rm (Mpa)	A (%)	Brzina livenja kg/h
10643	Rg5 Pbarm	45/26	9.05.2014.	296	28	217
10509	Rg5 Pbarm	45/26	8.04.2014.	297	24	190
10394	Rg5 Pbarm	45/26	17.03.2014.	264	19	238

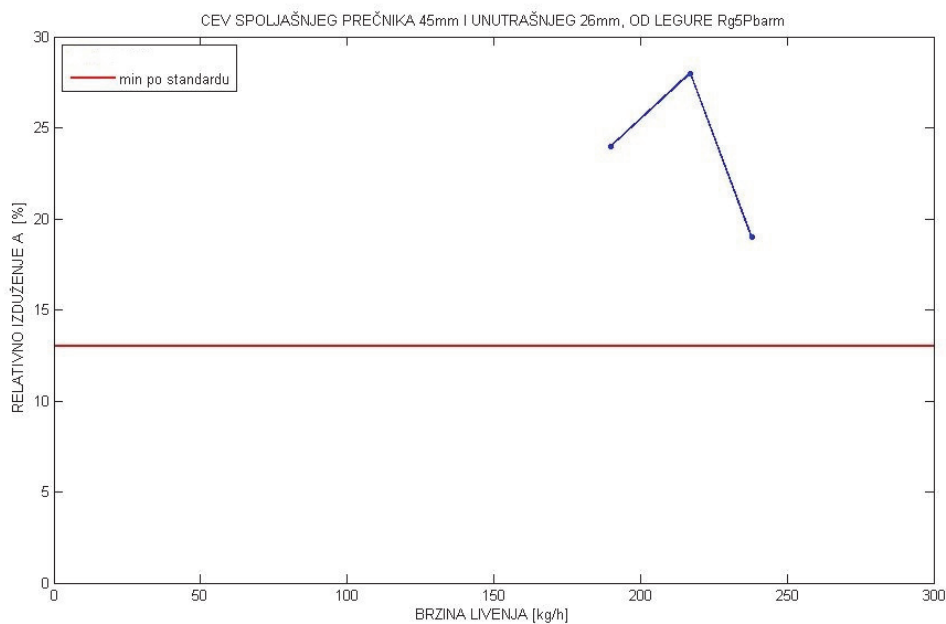
Na slikama 4.13 i 4.14 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm i relativnog izduženja A od brzine livenja za livenu cev 45x26mm, od legure Rg5Pbarm, dobijene u redovnoj proizvodnji fabrike KMM metals u Rigi, za parametar povlačenja odlivka 21mm.



**Slika 4.13.** Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm, od brzine livenja, za livenu cev 45x26mm, od legure Rg5Pbarm, dobijene u redovnoj proizvodnji fabrike KMM Metals u Rigi, za parametar povlačenja odlivka 21mm.

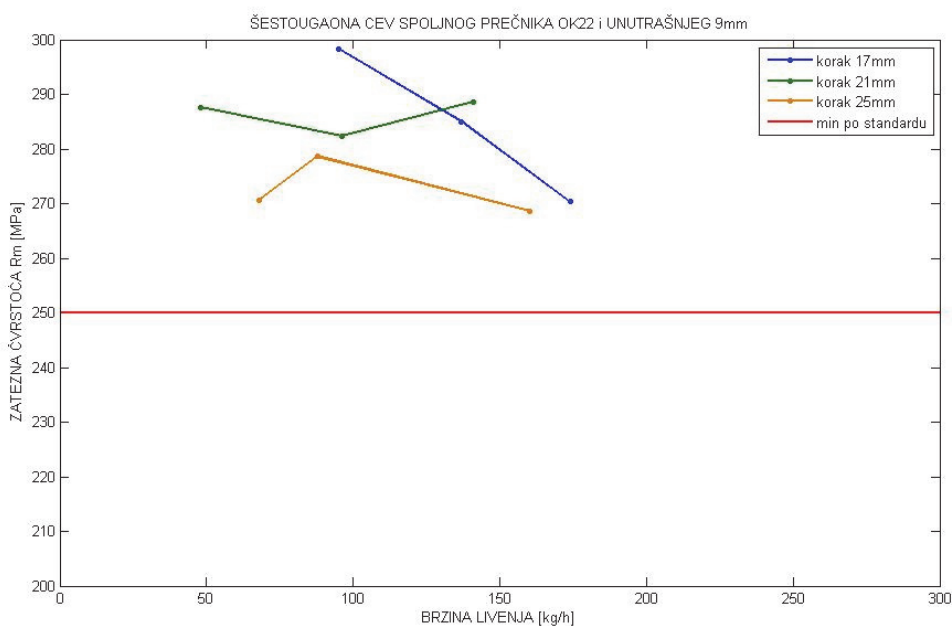


## Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze



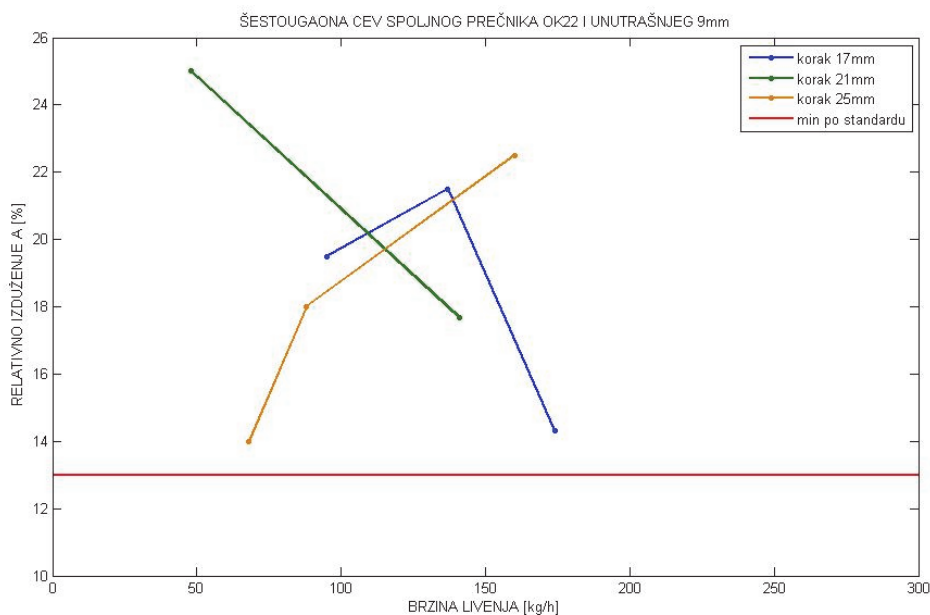
**Slika 4.14.** Dijagram zavisnosti relativnog izduženja, A, od brzine livenja, za livenu cev 45x26mm, od legure Rg5Pbarm, dobijene u redovnoj proizvodnji fabrike KMM Metals u Rigi, za parametar povlačenja odlivka 21mm.

Na slikama 4.15 i 4.16 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm od brzine livenja (slika 4.15) i relativnog izduženja A, od brzine livenja (slika 4.16) za livenu šestougaonu cev spoljašnjeg prečnika OK22 i unutrašnjeg 9mm, od legure CuSn5Zn5Pb2, poznate pod trgovačkim nazivom Rg5Pbarm.



**Slika 4.15.** Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm od brzine livenja za šestougaonu cev spoljašnjeg prečnika OK22 i unutrašnjeg 9mm od legure CuSn5Zn5Pb2

## Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze



**Slika 4.16.** Dijagram zavisnosti relativnog izduženja, A od brzine livenja za šestougaonu cev spoljašnjeg prečnika OK22 i unutrašnjeg 9mm od legure CuSn5Zn5Pb2

Sa dijagrama prikazanih na slikama 4.15 i 4.16 pri svim parametrima livenja dobijaju se tražene mehaničke karakteristike, zbog čega se neće detaljnije analizirati dobijeni rezultati. Korišćene konstrukcije kristalizatora i grafitne kokile (slika 2.135) u eksperimentalnim istraživanjima su odgovarajuće za livenje ove legure. Postignute brzine livenja su komercijalno opravdane pa se može smatrati da za dalju proizvodnju cevi od ove legure treba koristiti konstrukcije kristalizatora i grafitne kokile, korišćene u ovim eksperimentalnim istraživanjima.

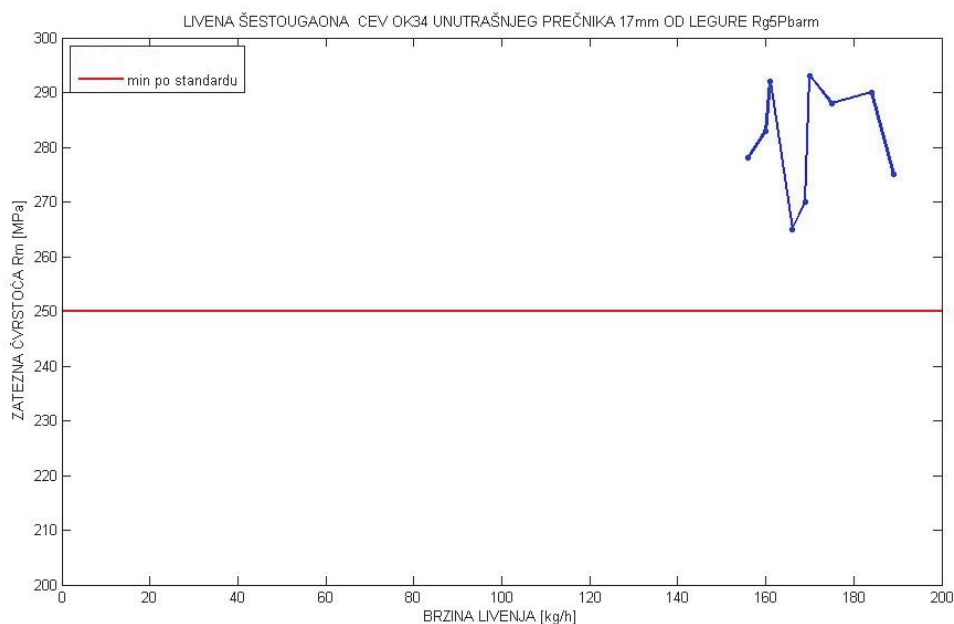
U Tabeli T.4.10. Prikazani su rezultati mehaničkih ispitivanja za šestougaonu cev OK34, unutrašnjeg prečnika 17mm, od legure Rg5Pbarm, odlivene u redovnoj proizvodnji u fabrici KMM Metals u Rigi, sa parametrom povlačenja odlivka 21mm

**Tabela T.4.10.** Rezultati mehaničkih ispitivanja za šestougaonu livenu cev OK34, unutrašnjeg prečnika 17mm, od legure Rg5Pbarm, odlivene u fabrici KMM Metals u Rigi, sa parametrom povlačenja odlivka 21mm

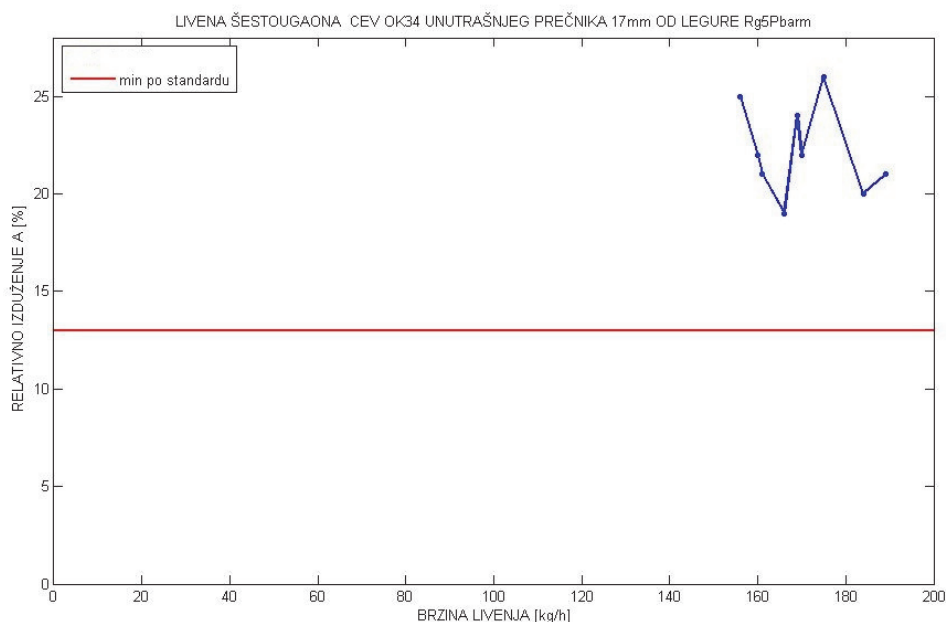
Fabrički kontrolni broj	Legura	dimenzije odlivka [mm]	Datum livenja	Rm (Mpa)	A (%)	Brzina livenja kg/h
10906	Rg5 Pbarm	OK34/17	7.07.2014	292	21	161
10892	Rg5 Pbarm	OK34/17	3.07.2014	288	26	175
10887	Rg5 Pbarm	OK34/17	2.07.2014	283	22	160
10868	Rg5 Pbarm	OK34/17	30.06.2014	265	19	166
10810	Rg5 Pbarm	OK34/17	10.06.2014	270	24	169
10334	Rg5 Pbarm	OK34/17	5.03.2014	275	21	189
10328	Rg5 Pbarm	OK34/17	4.03.2014	278	25	156
10310	Rg5 Pbarm	OK34/17	26.02.2014	290	20	184
10294	Rg5 Pbarm	OK34/17	25.02.2014	293	22	170

Na slikama 4.17 i 4.18 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm i relativnog

izduženja, A od brzine livenja, za livenu šestougaonu cev OK34, unutrašnjeg prečnika 17mm, odlivene u redovnoj proizvodnji u Fabrici KMM metals u Rigi, sa korakom povlačenja odlivka 21mm.



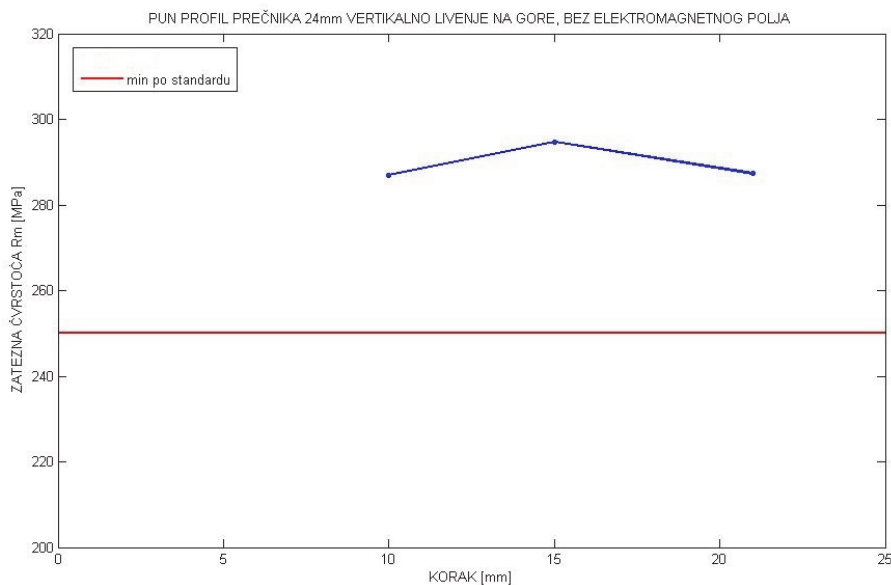
Slika 4.17. Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće, Rm, od brzine livenja, za šestougaonu cev OK34, unutrašnjeg prečnika 17mm, odlivene u redovnoj proizvodnji u fabric KMM Metals u Rigi, sa korakom povlačenja odlivka 21mm



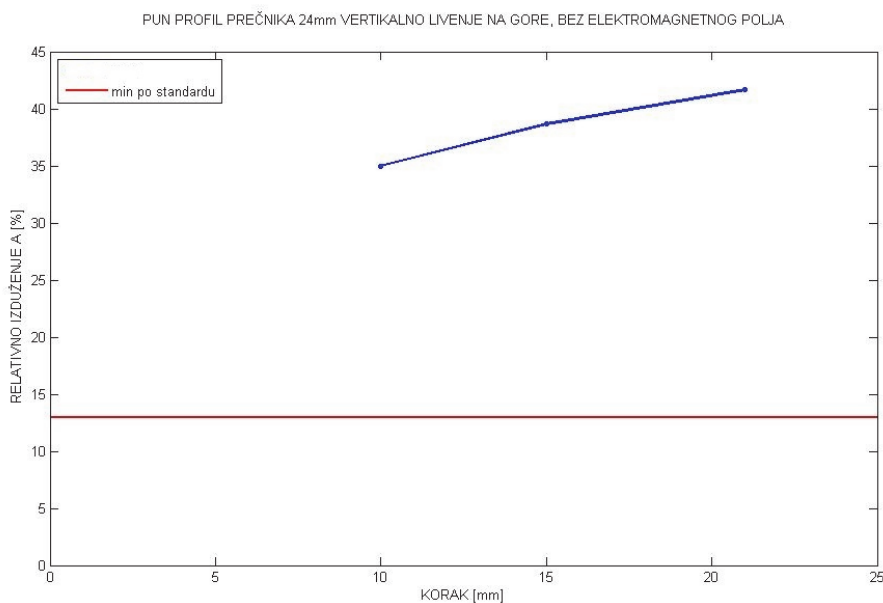
Slika 4.18. Dijagram zavisnosti relativnog izduženja, A, od brzine livenja, za šestougaonu cev OK34, unutrašnjeg prečnika 17mm, odlivene u redovnoj proizvodnji u fabric KMM Metals u Rigi, sa korakom povlačenja odlivka 21mm

#### 4.6. Uticaj koraka povlačenja odlivka na zateznu čvrstoću i relativno izduženje, livenog punog profila, prečnika 24mm, livenog vertikalnim kontinualnim livenjem na gore, bez elektromagnetnog polja u kristalizatoru

Na slikama 4.19 i 4.20 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće,  $R_m$  i relativnog izduženja,  $A$  od koraka povlačenja odlivka za liveni pun profil prečnika 24mm od legure CuSn5Zn5Pb2 (hemijski sastav van standard) odliven vertikalnim kontinualnim livenjem na gore, bez elektromagnetnog polja u kristalizatoru.



**Slika 4.19.** Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće  $R_m$ , od koraka povlačenja odlivka, za pun profil prečnika 24mm, odliven bez elektromagnetnog polja u kristalizatoru

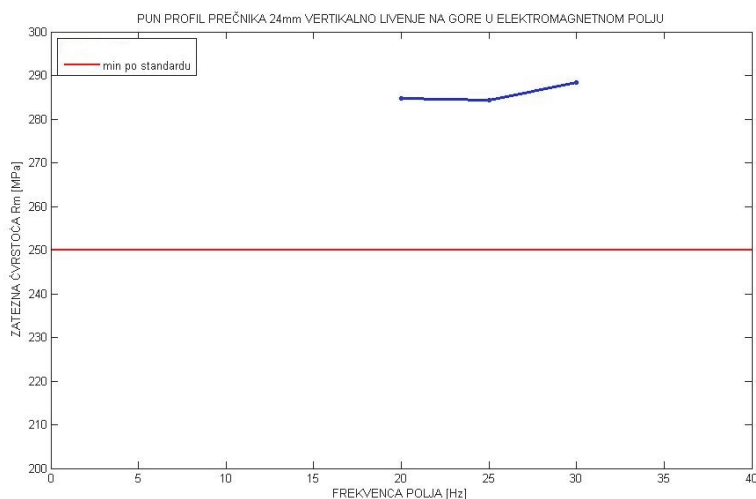


**Slika 4.20.** Dijagram zavisnosti relativnog izduženja,  $A$  od koraka povlačenja odlivka, za pun profil prečnika 24mm, odliven bez elektromagnetnog polja u kristalizatoru

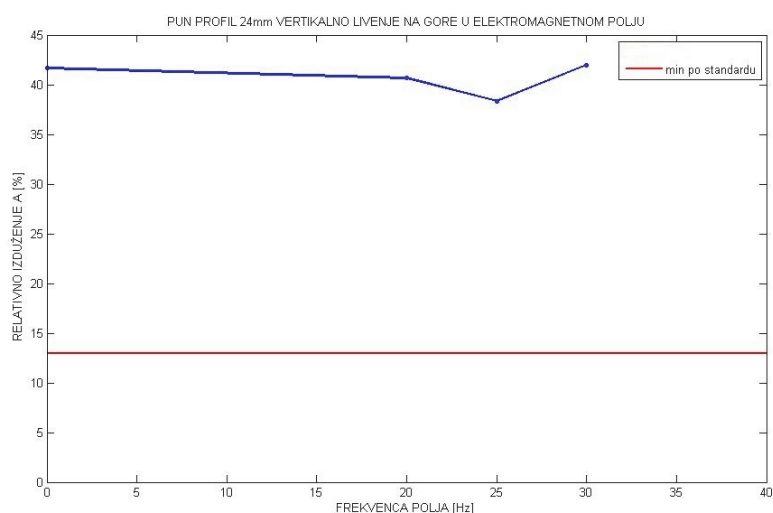


#### 4.7. Uticaj frekvence elektromagnetnog polja u kristalizadoru, na zateznu čvrstoću i relativno izduženje livenog punog profila prečnika 24mm, livenog vertikalnim kontinualnim livenjem na gore

Na slikama 4.21 i 4.22 prikazani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće,  $R_m$  i relativnog izduženja,  $A$  od frekvence magnetnog polja u kristalizadoru za liveni pun profil prečnika 24mm od legure CuSn5Zn5Pb2 (hemijski sastav van standard) odliven vertikalnim kontinualnim livenjem na gore, sa elektromagnetnim poljem u kristalizadoru sa snagom od 60% od max snage pretvarača.



**Slika 4.21.** Dijagram zavisnosti zatezne čvrstoće,  $R$  mod frekvence elektromagnetnog polja u kristalizadoru za liveni pun profil prečnika 24mm, odliven u elektromagnetnom polju kristalizatora sa snagom polja 60% od max snage pretvarača za 20, 25 i 30 Hz



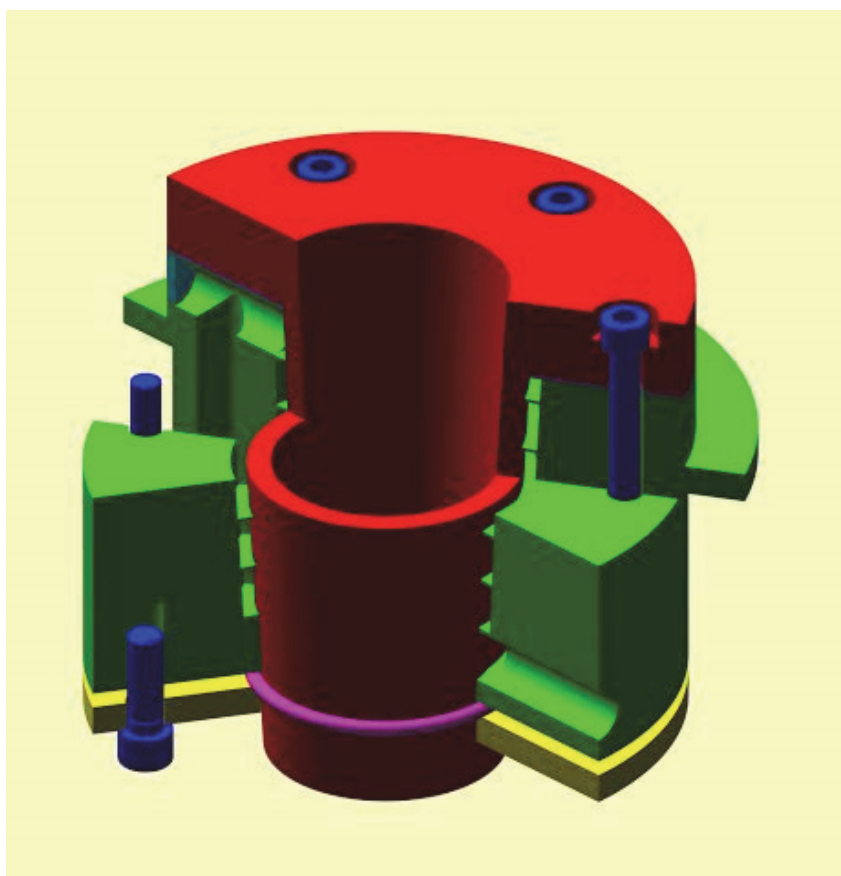
**Slika 4.22.** Dijagram zavisnosti relativnog izduženja,  $A$  od frekvence elektromagnetnog polja u kristalizadoru za liveni pun profil prečnika 24mm, odliven u elektromagnetnom polju kristalizatora sa snagom polja 60% od max snage pretvarača za 20, 25 i 30 Hz

Termografija se još nalazi u fazi laboratorijskih ispitivanja, kada je u pitanju njena primena u oblasti ispitivanja termoelastičnih pojava, zamor materijala, pojava i širenje prslina.

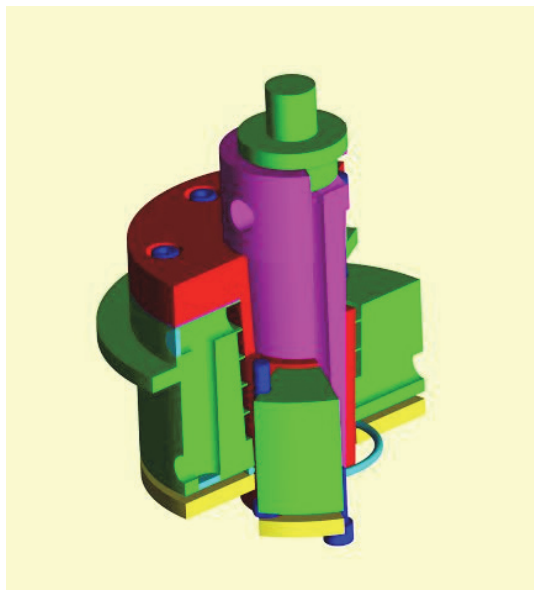
## **5. OPTOMIZACIJA I UNAPREĐENJE POSTROJENJA ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE BRONZANIH PROFILA NA DOLE**

### **5.1. Optimizacija dimenzija kristalizatora i grafitne kokile**

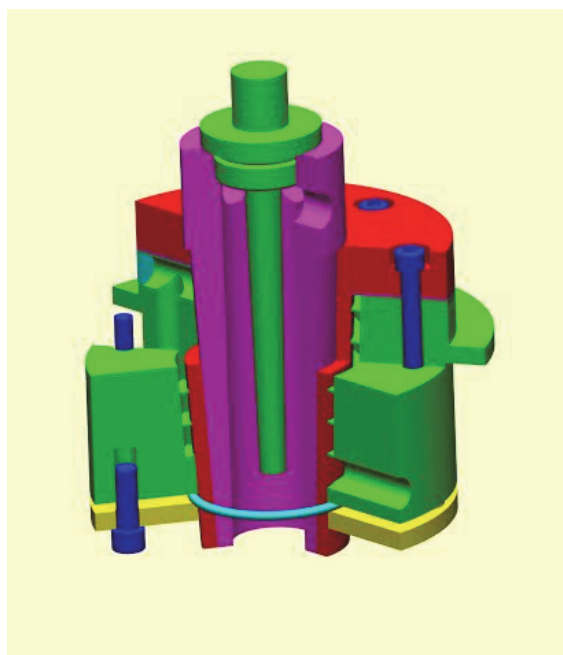
Srce svakog procesa kontinualnog livenja je kristalizator. Zbog toga je veoma važno projektovati kristalizator optimalnih dimenzija, kako zbog tehnoloških parametara, tako i zbog komercijalnih. Veoma je bitno da je visina kristalizatora u optimalnim dimenzijama, da bi se postigle maksimalne brzine livenja, uz odgovarajući kvalitet (Hua Qing Li i dr, 2009). Zbog cene specijalnih grafita koji se koriste u procesima kontinualnog livenja, koja je veoma visoka, a i zbog brzine livenja koja je glavni parametar za određivanje cene gotovog proizvoda projektuju se kristalizatori za mali broj prečnika koji se na njima mogu liti. Uglavnom se razlika između minimalnog i maksimalnog prečnika koji se mogu liti na jednom kristalizatoru je u opsegu od 5 do 7 mm. Na Slikama od 5.1 do 5.3 prikazana je konstrukcija kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje na dole sa spiralnim kretanjem vode za hlađenje kristalizatora.



**Slika 5.1.** Presek kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje na dole, sa spiralnim kretanjem vode za hlađenje kristalizatora



**Slika 5.2.** Presek kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje na dole, sa spiralnim kretanjem vode za hlađenje u sklopu sa grafitnom kokilom za livenje cevi



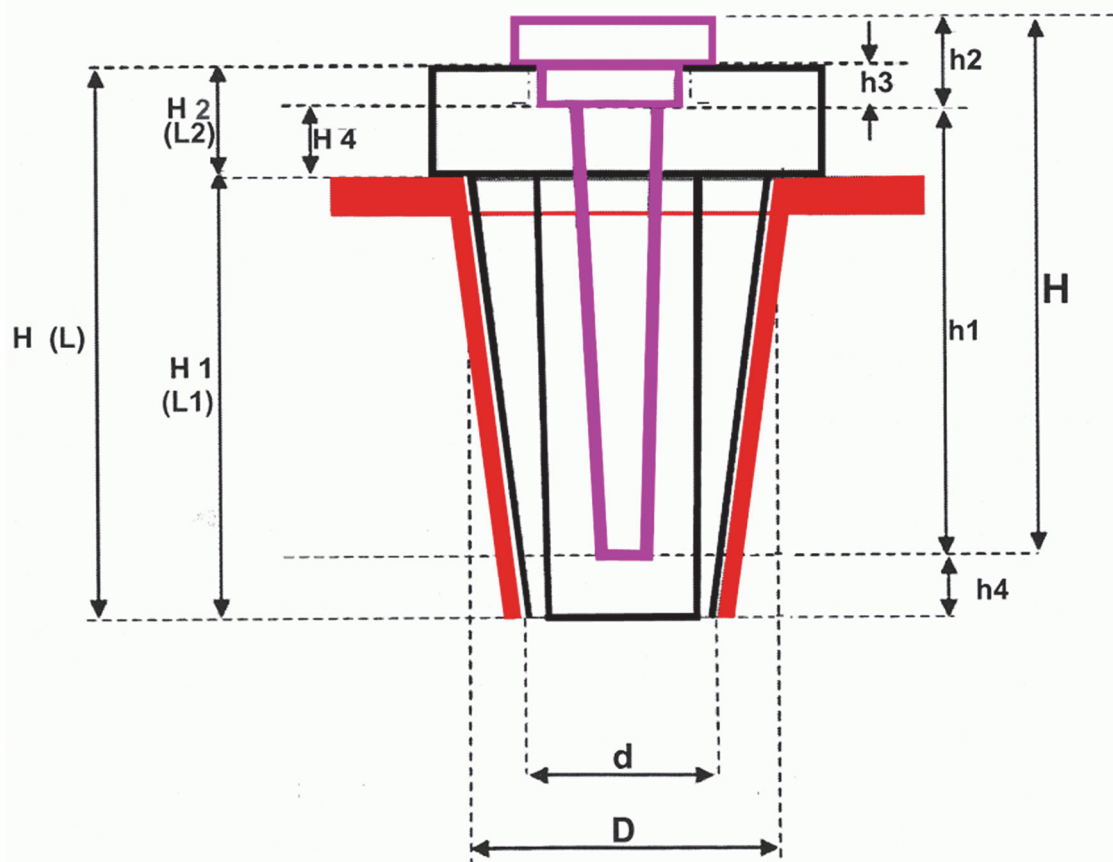
**Slika 5.3.** Presek kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje na dole, sa spiralnim kretanjem vode za hlađenje u sklopu sa grafitnom kokilom za livenje cevi i sa prikazanom pozicijom trna

Startovanjem velikog broja profila, sa nekoliko različitih dimenzija kristalizatora i grafitnih kokila, za vertikalno kontinualno livenje na dole u industrijskim uslovima u firmi KMM Metals u Latviji, postignute su sledeće brzine livenja izražene u kilogramima na čas, prikazane u tabeli T5.1. Na osnovu ovih brzina izvršena je optimizacija karakterističnih dimenzija kristalizatora i grafitnih kokila.

**Tabela T5.1.** Postignute brzine livenja u firmi KMM Metals u Rigi na opremi za vertikalno kontinualno livenje na dole, za livenje od 13 do 66mm, na kristalizatoru sa spiralnim kretanjem vode za hlađenje.

Dimenzije spoljni prečnik D, unutrašnji prečnik d		Pauza(sek)	Kg/h	Dimenzije spoljni prečnik D, unutrašnji prečnik d		Pauza(sek)	Kg/h
D	d			D	d		
16		1	95	34		2.6	205
17		1.1	105	35	18	2.6	190
18		0.75	110	35		2.6	200
19		1.1	110	36	14	2.4	200
21		1.3	130	36	26	1.6	180
21.5	14.5	0.9	120	36		2.6	205
22		1.3	130	37		2.7	210
23	13	1.25	130	38.5	25	1.8	210
23		1.3	130	39		3.5	200
23	15	1	110	39	29	1.5	200
24	11.5	1.3	140	40	12	2.7	220
24	12	1.3	140	40	20.5	2.4	220
24		1.5	160	40	28	1.5	180
25	14	1.4	150	40		3.5	225
26	14	1.6	150	41	13	2.8	240
26		1.7	170	41	14	2.8	235
27	11	2	170	41	16	2.8	230
27	12	1.5	170	41	19	2.7	225
27	15	1.5	150	41	22	2.5	220
27		1.7	175	41	24	2.4	215
28		1.7	180	41	25	2.4	210
29	11	1.7	180	41	29	1.6	240
29	13.5	2	170	41		3.5	220
29	16.5	1.8	160	42.5	33.5	1.5	210
29		2.2	180	45.5	31	2	210
30	12	1.8	180	46		4	230
30	13	2	180	46	26	2.4	240
30		2.5	180	46	28	2.4	250
31		2.5	180	46	30	2.2	250
31	19	1.6	160	46	36	1.8	210
31	21	1.6	160	48	22	2.6	270
32		2.6	180	50	30	3	240
32		4	180	51	23	3.3	280
32	16	1.8	180	51	29	2.5	300
32.5	13	2	190	51	34	2	320
32.5	16.5	2	170	51	39	2	350
32.5	18	2.25	190	55	43	2	280
32.5	19	1.7	180	56	24	3.5	280
33		2.6	180	56	34	3	280
33	10	3	190	56	39	2.5	280
33	13	2.65	190	56	44	2	280
33	16.5	2.6	170	56.5	31	3.8	280
33	18	2.5	165	60.5	51	1.7	210
33	20.6	1.8	170	61	19	5.5	280
33	23	1.3	145	61	24	4.5	290
33.5		2.7	190	61	29	4	290
33.5	12	2.2	190	61	34	3.5	290
34	19	2	195	61	39	3	290
34	25.5	1.4	165	61	44	2.8	320

Na slici 5.4, prikazana je skica karakterističnih dimenzija grafitne kokile u sklopu sa kristalizatorom



Slika 5.4.

Optimalne dimenzije grafitne kokile za livenje šupljih profila do maksimalnog prečnika 71mm, prikazane su u tabeli T5.2.

Tabela T.5.2. Optimalne dimenzije grafitne kokile za livenje šupljih profila do  $\phi$  71mm

prečnik konusa grafitna i bakarnog dela kristalizatora)		visina grafitna za livenje cevi	Visina konusa grafitna za livenje cevi	Visina glave grafitne kokile za livenje cevi	Rastojanje između početka konusa trna i početka kristalizatora	Visina trna grafitne kokile	Duzina konusa trna grafitne kokile	Visina glave trna	dužina navoja	Rastojanje između trna i kraja kristalizatora	Spoljni prečnik odlivka koji može da se lije na kristalizatoru
d (min)	D (max)	H	H 1	H 2	H 4	H	h 1	h 2	h 3	h 4	
35.1	50.10	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	do 24mm
33.9	48.80	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
34.0	48.90	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
39.9	54.70	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	od 24 do 29mm
40.9	55.70	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
39.0	54.40	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
39.8	54.70	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

41.4	56.10	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	od 29 do 34mm
45.8	60.70	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
45.2	60.00	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
44.5	59.60	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
48.0	62.50	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
47.2	61.60	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
44.5	59.70	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
47.7	62.30	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	od 34 do 39mm
49.4	64.30	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
49.0	64.00	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
49.0	64.00	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
49.1	64.00	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
50.9	65.90	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
50.9	64.10	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	
53.2	67.00	205.0	145.0	60.0	40.0	190.0	150.0	40.0	20.0	35.0	od 39 do 41mm
53.4	70.20	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
52.5	69.60	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
52.5	69.80	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
53.1	70.00	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
52.6	69.50	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
56.6	73.85	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
57.1	74.00	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	od 41 do 46mm
57.1	74.10	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
57.2	74.20	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
58.2	76.00	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
56.5	74.10	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
62.6	79.10	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
62.1	79.20	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
63.1	79.40	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	od 46 do 51mm
63.4	80.40	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
67.1	84.10	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
68.4	86.00	225.0	165.0	60.0	25.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
72.0	88.90	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
72.1	89.50	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
72.3	89.20	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
72.7	88.00	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	od 51 do 61mm
75.3	93.70	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	
76.7	95.80	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	66 mm
81.6	100.50	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	od 66 do 71mm
82.1	100.00	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	
85.4	103.70	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	
85.4	104.00	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	66 mm
85.5	104.00	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	
90.1	109.00	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	66 mm
75.5	93.90	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

80.0	98.80	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	od 61 do 71mm
67.3	84.30	225.0	165.0	60.0	40.0	200.0	165.0	35.0	20.0	40.0	
82.1	100.00	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	
85.3	104.00	250.0	180.0	70.0	50.0	230.0	180.0	50.0	20.0	50.0	

U Tabeli T.5.3 date su optimalne dimenzije grafitne kokile za vertikalno kontinualno livenje na dole za maksimalni profil prečnika 71mm

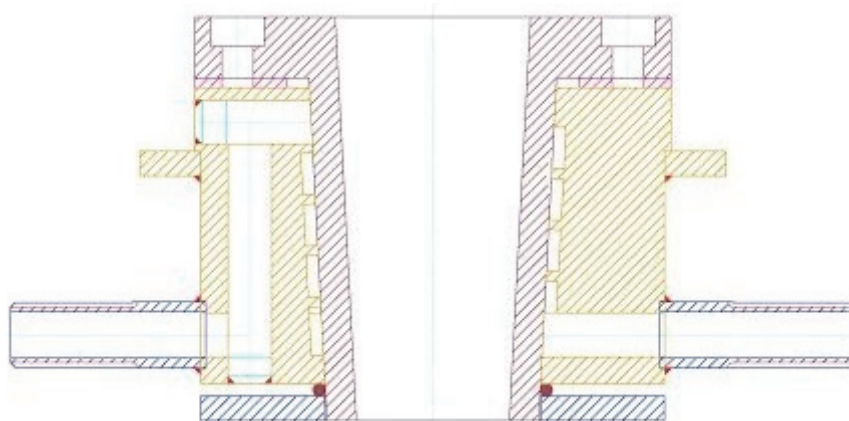
**Tabela T.5.3.** Optimalne dimenzije grafitne kokile za vertikalno kontinualno livenje na dole profila maksimalnog prečnika 71 mm.

<i>Dimenzije grafitne kokile za livenje punih profila</i>			Spoljni prečnik odlivka koji može da se lije na kristalizatoru	<i>Dimenzije grafitne kokile za livenje punih profila</i>			Spoljni prečnik odlivka koji može da se lije na kristalizatoru
<i>L</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>		<i>L</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	
160.0	145.0	15.0	do 24 mm	180.0	165.0	15.0	od 41 do 46mm
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0	od 24 do 29mm	180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0	od 29 do 34mm	180.0	165.0	15.0	od 46 do 51mm
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0	od 34 do 39mm	180.0	165.0	15.0	od 51 do 61mm
160.0	145.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
160.0	145.0	15.0		205.0	180.0	25.0	66 mm
160.0	145.0	15.0		205.0	180.0	25.0	
160.0	145.0	15.0		205.0	180.0	25.0	od 66 do 71mm
160.0	145.0	15.0		205.0	180.0	25.0	
160.0	145.0	15.0	od 39 do 41mm	205.0	180.0	25.0	66 mm
180.0	165.0	15.0		205.0	180.0	25.0	
180.0	165.0	15.0		205.0	180.0	25.0	
180.0	165.0	15.0		205.0	180.0	25.0	61 mm
180.0	165.0	15.0		205.0	180.0	25.0	od 61 do 71mm
180.0	165.0	15.0		180.0	165.0	15.0	
			205.0	180.0	25.0		
			205.0	180.0	25.0		

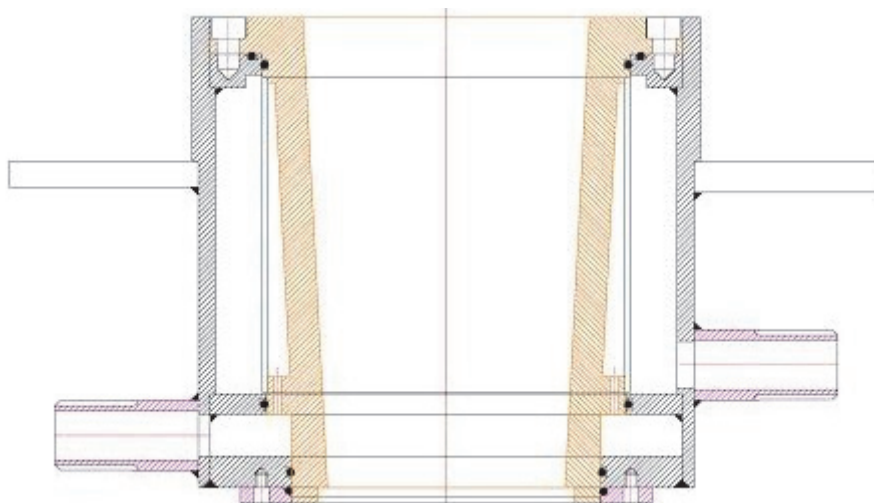
## 5.2. Nova konstrukcija kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje tankozidnih bronzanih cevi prečnika između 45 i 66 mm

Na postrojenju za vertikalno kontinualno livenje bronze na dole, na kome su izvršena eksperimentalna istraživanja ovog rada, primećeno je da se za neke dimenzije bronzanih cevi većeg prečnika od 45 mm i malih dimenzija zida javlja efekat da se liveni profil krivi u obliku zmije. Takav profil je gotovo nemoguće ispraviti na mašinama za ispravljanje livenih profila koje smo opisali u delu ovog rada pod nazivom eksperimentalnih istraživanja. Pokušano je da se modifikacijom nekih od poznatih konstrukcija kristalizatora nađe rešenje za ovaj problem.

Autor u saradnji sa rukovodećim kadrom firme KMM Metals je posumnja da se ovaj efekat krivljenja livenog profila javlja zbog konstrukcije kristalizatora sa spiralnim hlađenjem, jer zid spirale širine između 4 i 5 mm koji ima kontakt sa bakarnim telom kristalizatora blokira direktno hlađenje vodom (slika 5.5). Zbog ove pretpostavke odlučeno je da se konstruiše novi kristalizator koji će umesto spiralnog hlađenja imati hlađenje tušem, kako je autor nazvao ovu konstrukciju kristalizatora. Na slici 5.6 prikazana je konstrukcija sa vodenim hlađenjem u obliku tuša.



Slika 5.5. Presek kristalizatora sa spiralnim vodenim hlađenjem



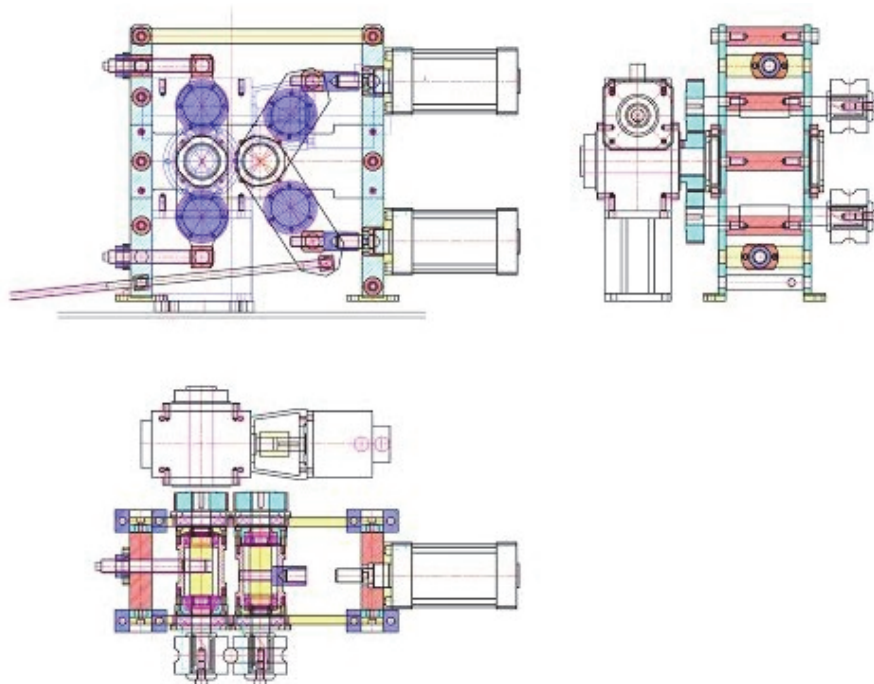
Slika 5.6. Presek kristalizatora sa vodenim hlađenjem u obliku tuša

Konstrukcija kristalizatora prikazanog na slici 5.6. je nazvana konstrukcija sa vodenim hlađenjem u obliku tuša, jer u donjoj zoni kristalizatora gde je ulaz vode, voda prolazi kroz veliki broj otvora malog prečnika po celom dijametru kristalizatora i tako stvara efekat tuširanja bakarnog zida kristalizatora. Zbog malog konusa zida kristalizatora stvara se efekat prigušivanja koji je takođe dao pozitivne rezultate na ovoj konstrukciji kristalizatora. Na vrhu je cev, koja razdvaja komore za ulaz i izlaz vode za hlađenje, takođe po celom prečniku izbušena velikim brojem rupa nešto većeg prečnika od ulaznih. Voda slobodno pada na dno komore kristalizatora i kroz otvor za odvođenje vode za hlađenje napušta kristalizator.

Ova konstrukcija kristalizatora je dala zadovoljavajuće rezultate i usvojena je ka standardna konstrukcija za livenje tankozidnih bronzanih cevi prečnika od 45 do 66 mm, sa debljinom zida manjih od 12 mm.

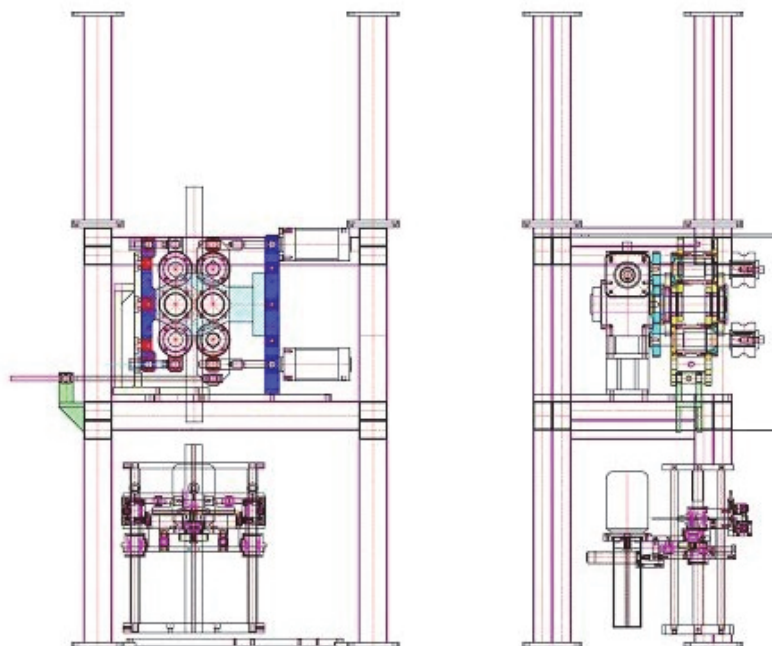
### 5.3. Unapređenje pogonskog i steznog dela livne mašine

U toku eksperimentalnih istraživanja uočen je problem na livnoj mašini kod livenja tankozidnih cevi malog prečnika i livenja punih šupljih okruglih profila sa rebrima. Naime dolazi do proklizavanja prilikom izvlačenja profila iz kristalizatora u pogonskom i steznom delu livne mašine. Ovo proklizavanje dovodi do neravnomernok koraka pri livenju što negativno utiče na proces livenja i mehaničke karakteristike livenog profila. Ovaj problem proklizavanja je rešen modifikacijom pogonskog i steznog dela na livnoj mašini. Umesto reduktora 2.2 na slici 2.3 u delu ovog rada, eksperimentalna istraživanja u kome je opisana livna mašina konstruisan je novi reduktor sa planetarnim zupčanicima koji omogućuje povlačenje sa sva 4 vučna valjka a ne samo sa dva kao u prethodnoj konstrukciji. Na slici 5.7 prikazan je reduktor sa planetarnim zupčanicima, iz tri pogleda.

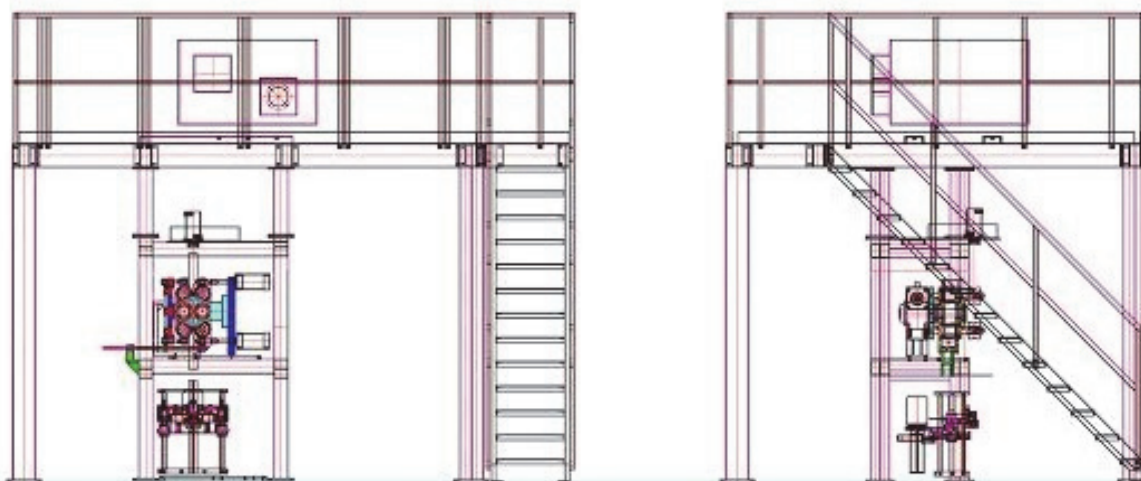


**Slika 5.7.** Reduktor sa planetarnim zupčanicima u sklopu sa servo motorom, servo reduktorom i steznim sklopom

Na slici 5.8 i 5.9 prikazan je novi modifikovani vučni i sklopni deo livne mašine u sklopu livne mašine sa testerom za odsecanje livenih profila (slika 5.8) i u sklopu sa platformom.



**Slika 5.8.** Sklop modifikovanog vučnog i steznog sklopa na livnoj mašini sa testerom za odsecanje livenih profila, pogled spreda i pogled s boka



**Slika 5.9.** Modifikovanog vučnog i steznog sklopa na livnoj mašini sa testerom za odsecanje livenih profila i platformom, pogled spreda i pogled s boka



## 6. BAZA ZNANJA ZA VERTIKALNO KONTINUALNO LIVENJE NA DOLE

U okviru ovih istraživanja u toku 2013 i do kraja jula 2014 godine u firmi KMM Metals u Rigi, na mašinama za vertikalno kontinualno livenje na dole MARS 13-66, praćena je celokupna proizvodnja, za sve livene profile koji su rađeni na ovim mašinama sa ciljem stvaranja baze znanja. Stvaranjem baze znanja u kojoj su sadržani parametri livenja, korak i pauza i karakteristične dimenzije grafitne kokile, ovim naučnim radom je praktično definisana tehnologija za vertikalno kontinualno livenje na dole zaokružen je proces razvoja kako opreme za ovaj proces kontinualnog livenja tako i same tehnologije. U tabeli T.6.1. Data je baza znanja za period od 01.01. 2013 do 01.08.2014 za sve livene profile proizvedene na mašinama MARS 13-66, po redosledu livenja.

**Tabela T.6.1.** Baza znanja za vertikalno kontinualno livenje na dole

Profil	D	d	Legura			kg/h	časova livenja	Prod. (kg)	Dimenzije Kokile				
				Pauza	korak				D	d	Ds	H5	d4
23		10	Rg5	1.5	21	126.6	46	5822.0	23.06	9.70	23.25	60.00	10.00s
8kt31		12	Rg5	2.4	21	164.1	38	6236.5	30.82	11.68	8kt34	60.00	12.00s
27		12.1SW	Rg5	1.9	21	280.6	9	2525.0	27.02	12.31	27.35	60.00	12.50s
39		22.1SW	Rg5	2.4	21	165.9	22	3650.0	39.00	22.21	39.50	80.00	22.65s
16			Rg5st	1.5	21	65.3	32	2090.5	16.26		16.40		
51		29	Rg7	3.5	21	0.0	0.5	0.0			52.00	80.00	29.20s
46			Rg7	5.2	21	165.5	12.5	2068.5	46.25		47.00		
39		26	Rg5	2	21	161.8	6	970.5	38.85	25.80	39.50	60.00	26.20s
27		12.1SW	Rg5	2	21	128.5	21	2697.5	26.90	12.20	27.35	60.00	12.50s
51		29	Rg7	3.7	21	0.0	1	0.0			52.00	80.00	29.20s
33.5			Rg5	2.4	21	190.0	70	13300.0	33.65		33.85		
39			Rg7	4	21	190.7	12	2288.5	39.17		8kt31	60.00	12.00s
29		16.5	Rg5	1.9	21	151.4	37	5601.0	28.95	16.15	29.35	60.00	16.50s
41		25	Rg5	2	21	212.7	14	2978.0	41.00	24.60	41.55	80.00	25.30s
25		13	Rg5	1.6	21	153.0	27	4132.0	24.96	12.54	25.30	60.00	13.00s
27		12.1SW	Rg5	1.4	21	136.1	39	5307.5	26.95	12.23	27.35	60.00	12.50s
51		29	Rg7	3.2	21	221.1	7	1547.5	51.30	28.60	52.00	80.00	29.20s
65		35	Rg5	4.9	21	0.0	1	0.0			65.85	60.00	35.30s
41			Rg7	4.7	21	180.7	16	2891.0	41.35		41.90		
65		35	Rg5	5.5	21	246.8	5	1234.0	64.80	34.65	65.85	80.00	35.30s
41		25	Rg5	2	21	213.8	19.5	4168.5	41.06	24.50	41.55	80.00	25.10s
33		16.5	Rg5	2.05	21	171.5	44	7547.5	33.00	16.10	33.45	60.00	16.50s
61		19	Rg7	3.5	21	225.0	7	1575.0	61.31	18.48	62.20	80.00	19.00s
61			Rg7	6	21	272.4	12	3268.5	61.20		62.20		
27		12.1SW	Rg5	1.8	21	124.0	20.5	2542.5	26.97	12.15	27.35	60.00	12.50s
26.5			Rg5	1.6	21	173.4	12	2080.5	26.36		26.80		
36		24	Rg7	2	21	159.6	10	1596.0	36.25	23.70	36.80	60.00	24.10s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	12.1SW	Rg5	1.8	21	125.3	44	5515.0	26.96	12.20	27.35	60.00	12.50s
33	17	Rg5	1.8	21	180.6	6	1083.5	32.91	16.94	33.40	60.00	17.20s
35		Rg7	3.7	21	0.0	3.5	0.0	35.22		35.80		
35		Rg7	3.5	21	148.6	10.5	1560.0	35.25		35.80		
31	14	Rg7	1.8	21	196.8	8	1574.5	31.22	13.70	31.70	60.00	14.00s
33	19	Rg7	2	21	0.0	6	0.0			33.40	60.00	19.00s
33	19	Rg7	2	21	157.1	9.5	1492.5	33.25	18.56	33.40	60.00	19.00s
27	12.1SW	Rg5	1.4	21	161.9	52.5	8501.0	27.11	12.22	29.35	60.00	12.50s
39	26	Rg5	2.7	21	135.4	32.5	4400.0	39.00	25.27	39.50	60.00	26.20s
36		Rg5	3.5	21	152.0	7.5	1140.0	35.85		36.45		
32	17.1SW	Rg5	2.1	21	140.9	29	4085.5	32.00	17.25	32.40	60.00	17.60s
27	12.1SW	Rg5	1.5	21	167.5	13.5	2261.5	26.95	12.20	27.35	60.00	12.50s
50		Rg5	5	21	167.7	6	1006.0	49.85		50.65		
27	12.1SW	Rg5	1.4	21	144.1	9.3	1340.5	26.90	12.20	27.35	60.00	12.50s
32	10	Rg5	2.2	21	158.4	13.5	2138.5	31.85	9.80	32.40	60.00	10.00s
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	125.0	12	1500.0	26.95	12.25	27.35	60.00	12.50s
39	26	Rg5	2	21	193.8	7.5	1453.5	38.95	25.78	31.40	60.00	13.10s
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	128.6	11	1414.5	27.05	12.15	27.35	60.00	12.50s
23	10	Rg5	1.5	21	134.8	27.5	3707.5	22.95	9.78	23.30	60.00	10.00s
8kt34	22	Rg5	2.5	21	1276.4	5	6382.0	33.78	21.49	8kt34	60.00	22.00s
48	22	Rg5	3.5	21	216.2	28.5	6161.5	48.05	21.55	48.65	80.00	22.00s
31	21	Rg5	2	21	123.6	67.5	8340.0	31.02	20.88	31.40	60.00	21.20s
27	12.1SW	Rg5	2.2	21	164.4	12.5	2055.0	26.96	12.31	27.35	60.00	12.50s
29	16.5	Rg5	1.8	21	216.8	23.5	5095.0	29.06	16.03	29.35	60.00	16.50s
30		Rg5	3	21	0.0	0.5	0.0			30.40		
29	9	Rg5	2.1	21	155.0	20.5	3176.5	28.99	8.63	29.50	60.00	9.00s
33	16.5	Rg5	1.8	21	188.3	21.5	4049.0	33.02	16.17	33.40	60.00	16.50s
22	10.1SW	Rg5	1.6	21	65.0	7	455.0	22.15	10.20	22.50	60.00	10.45s
29	21	Rg5	1.55	21	110.6	42.5	4700.0	28.97	20.85	29.35	60.00	21.20s
22	10.1SW	Rg5	1.2	21	82.5	9.5	784.0	22.02	10.02	22.40	60.00	10.45s
29		Rg7	2.5	21	225.7	9	2031.0	29.15		29.60		
29	21	Rg5	1.4	21	0.0	5	0.0			29.35	60.00	21.20s
19		Rg7	1.3	21	117.4	11	1291.0	19.17		19.50		
36	19	Rg7	2.7	21	145.5	5.5	800.5	36.25	18.70	36.80	60.00	19.00s
38		Rg7	3.5	21	0.0	4.5	0.0	38.30		38.80		
38		Rg7	3.5	21	0.0	5	0.0	38.27		38.80		
66		GB12	6.5	21	252.2	8	2017.5	66.40		67.30		
41	25	Rg5	2.3	21	198.8	3	596.5	40.90	24.99	41.55	80.00	25.00s
32	16.5	Rg5	2.2	21	133.7	3	401.0	31.90	16.25	32.40	60.00	16.50s
29	13	Rg5	2	21	152.8	32.5	4966.0	28.98	12.63	29.35	60.00	13.00s
23	10	Rg5	1.3	21	150.7	26	3917.0	22.89	9.74	23.30	60.00	10.00s
76		GB12	12	21	261.7	14.5	3795.0	76.40		77.40		
41	25	Rg5	2.3	21	193.3	28.5	5509.0	40.96	24.53	41.55	80.00	25.00s
32	16.5	Rg5	2	21	165.1	22	3632.0	31.96	16.17	32.40	60.00	16.50s
46		Rg5st	5	21	159.4	7	1116.0	46.37		46.90		
35	17	Rg5	1.8	21	188.0	17	3196.5	35.00	16.55	35.45	60.00	17.00s
26		Rg5st	2.2	21	119.0	2	238.0	26.17		26.60		
33	16.5	Rg5	1.8	21	194.0	16.5	3201.0	32.99	16.16	33.40	60.00	16.50s
38		Rg7	4.5	21	206.5	15.5	3201.0	38.29		38.80		
29	9	Rg5	1.8	21	195.3	15	2930.0	28.93	8.58	29.35	60.00	9.00s
66		Rg7	6.2	21	240.7	6	1444.0	66.35		67.30		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

48	22	Rg5	3.3	21	253.4	22	5575.5	48.05	21.50	48.65	80.00	22.00s
31		Rg7	3.6	21	176.9	19	3361.5	31.35		31.70		
33	16.5	Rg5	2	21	171.0	21.5	3676.5	33.00	16.07	33.40	60.00	16.50s
31	19	Rg7	2	21	161.6	8	1293.0	31.30	18.70	31.70	60.00	19.00s
33	16.5	Rg5	1.8	21	184.0	31	5703.5	33.00	16.14	33.40	60.00	16.50s
8kt31	12	Rg5	2.4	21	161.7	36	5820.5	30.87	11.65	8kt31	60.00	12.00s
8kt34	22	Rg5	2.1	21	161.5	36	5814.5	33.85	21.60	8kt34	80.00	22.00s
24	11.5	Rg5	1.6	21	127.6	32.5	4146.5	23.95	11.24	24.30	60.00	11.50s
30		CuZn20Si	3	21	68.8	5.5	378.5	29.32		30.00		
78	39	Rg5	5.2	21	366.5	8.5	3115.0	77.82	38.63	79.10	80.00	39.30s
6kt27		Rg5	1.5	21	179.4	36	6457.0	26.94		6kt27		
6kt27		Rg5	1.8	21	154.3	24.5	3779.5	26.85		6kt27		
40	20	CuZn20Si	4.5	21	51.0	6	306.0	39.10	19.70	40.00	60.00	20.00
51		Rg7	4.5	21	222.6	19.5	4341.5	51.34		52.00		
56	24	Rg7	4	21	207.7	5	1038.5	56.32	23.43	57.10	80.00	24.00s
56		Rg7	6	21	204.8	12.5	2559.5	56.33		57.10		
61		Rg7	6	21	204.1	6	1224.5	61.15		62.20		
37	29	Rg7	1.8	21	128.0	8	1024.0	37.40	28.67	37.80	60.00	29.15s
52x52		Rg7	5	21	0.0	9	0.0	52.80		53.20		
52x52		Rg7	5	21	226.5	9.5	2152.0	52.50		53.20		
33		Rg7	3	21	141.2	14	1976.5	33.24		33.70		
41		Rg7	4.5	21	55.2	10	552.0	41.26		41.90		
43		Rg5	5	21	182.5	5.5	1004.0	42.95		43.60		
27	12.1SW	Rg5	1.6	21	122.7	1.5	184.0	26.95	12.35	27.35	60.00	12.50s
32	21	Rg5	1.8	21	148.4	81	12023.0	32.05	20.70	32.50	60.00	21.20s
33	16.5	Rg5	2	21	172.1	33	5679.0	33.90	16.10	33.40	60.00	16.50s
8kt34	22	Rg5	2	21	165.6	35	5795.0	33.80	21.60	8kt34	80.00	22.00s
27	12.1SW	Rg5	1.4	21	134.3	77	10339.5	27.06	12.20	27.35	60.00	12.50s
41		Rg5	3	21	209.3	14.5	3034.5	41.25		41.80		
57	24	Rg5	4.8	21	263.4	44.5	11719.5	57.05	23.50	57.75	80.00	24.10s
27	12.1SW	Rg5	1.4	21	166.8	23	3837.0	26.90	12.33	27.30	60.00	12.50s
36		Rg5	4	21	171.3	11.5	1970.5	35.95		36.50		
31	21	Rg5	1.6	21	134.8	38.5	5188.5	31.03	20.81	31.40	60.00	21.20s
31	17	Rg5	2.1	21	147.4	41.5	6118.5	31.15	16.60	31.40	60.00	13.00s
50	19	Rg5	4.7	21	186.7	5.5	1027.0	49.85	18.60	50.65	80.00	19.00s
27	12.1SW	Rg5	1.3	21	171.2	34	5821.5	27.01	12.26	27.30	60.00	12.50s
26		Rg7	2.2	21	146.0	24.5	3576.0	26.28		26.60		
40	23	Rg5	2	21	187.4	5.5	1030.5	39.85	22.75	40.55	80.00	23.20s
56		GB12	4	21	0.0	9	0.0	56.35		57.10		
23	10	Rg5	1.2	21	137.1	4.5	617.0	22.93	9.78	23.30	60.00	10.00s
21		GB12	1.5	21	127.7	15	1915.5	21.25		21.55		
26	9	Rg5	1.6	21	124.4	42	5223.5	26.10	8.60	26.30	60.00	9.00s
41	25	Rg5	2.3	21	213.3	24	5120.0	41.02	24.64	41.55	80.00	25.10s
48	22	Rg5	3.2	21	239.0	25	5975.0	48.02	21.59	48.65	80.00	22.10s
61		GB12	5.5	21	213.6	10	2135.5	61.45		62.25		
46		GB12	5	21	196.6	9.5	1867.5	46.55		47.00		
29	9	Rg5	2	21	0.0	2	0.0	28.85	8.80	29.35	60.00	9.00s
23	10	Rg5	1.2	21	140.9	15.5	2183.5	22.92	9.70	23.30	60.00	10.00s
56		GB12	5.5	21	249.8	8	1998.0	56.25		57.10		
34	22.1SW	Rg5	1.9	21	135.1	32	4323.0	34.00	22.35	34.45	80.00	22.65s
29	9	Rg5	1.9	21	166.6	18	2999.5	28.90	8.60	29.35	60.00	9.00s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

51	33	Rg5	2.5	21	201.7	10	2017.0	50.95	32.75	51.70	80.00	33.40s
34	14	Rg5	2.2	21	172.2	18	3099.5	33.90	13.80	34.50	60.00	14.10s
23	10	Rg5	1.3	21	141.1	8	1128.5	22.85	9.80	23.30	60.00	10.00s
49	18	Rg5	4	21	190.9	5.5	1050.0	48.95	17.60	49.70	80.00	18.10s
25	13	Rg5	1.4	21	135.9	34	4619.0	25.01	12.75	25.30	60.00	13.00s
33	19	Rg7	2	21	167.9	9.5	1595.5	33.29	18.60	33.75	60.00	19.00s
6kt27		Rg5	1.8	21	153.7	53	8146.5	26.75		6kt27		
40	20.5	Rg5	2.2	21	96.1	42	4037.0	40.05	20.13	40.55	80.00	20.50s
27	11SW	Rg5	1.3	21	142.4	42.3	6023.5	27.03	12.32	27.30	60.00	12.50s
61	29	Rg7	4.7	21	218.8	7	1531.5	61.37	28.78	62.20	80.00	29.20s
61		Rg7	4.5	21	234.3	12.3	2881.5	61.35		62.20		
29	16.5	Rg5	1.6	21	158.1	21	3320.5	28.94	16.19	29.35	60.00	16.50s
33	16.5	Rg5	1.8	21	176.9	45	7959.0	33.00	16.11	33.40	60.00	16.50s
21		Rg7	1.2	21	0.0	5.3	0.0			21.55		
29	16.5	Rg5	1.9	21	145.0	11.3	1638.0	28.99	16.16	29.35	60.00	16.50s
21		Rg7	1.2	21	146.4	13.3	1946.5	21.33		21.55		
27	11SW	Rg5	2	21	151.9	16.3	2476.5	26.94	12.20	27.30	60.00	12.50s
6kt27		Rg5	1.8	21	166.2	12.3	2044.0	26.80		6kt27		
30		CuZn20Si	2	17	0.0	2	0.0			30.60		
8kt25	10	Rg5	1.8	21	0.0	1.5	0.0			8kt25	60.00	10.00s
27	11SW	Rg5	1.6	21	156.2	9.3	1452.5	26.95	12.35	27.30	60.00	12.50s
46	28	Rg7	2.1	21	218.7	6.3	1378.0	46.35	27.60	47.00	80.00	28.10s
46		Rg7	5.5	21	200.1	10.3	2061.5	46.30		47.00		
37		Rg7	4.5	21	162.6	19.5	3170.0	37.31		37.80		
27	11SW	Rg5	1.6	21	151.9	19	2887.0	26.99	12.28	27.30	60.00	12.50s
8kt25	10	Rg5	1.8	21	134.7	41	5521.5	24.95	9.78	8kt25	60.00	10.00s
39		Rg7	3.6	21	170.6	17	2899.5	39.27		39.80		
30		CuZn20Si	4	17	85.1	5.5	468.0	30.00		30.60		
27	11SW	Rg5	1.6	21	147.0	18	2645.5	27.04	12.23	27.30	60.00	12.50s
61	39	Rg7	2.5	21	245.2	4.5	1103.5	61.30	38.70	62.20	80.00	39.30s
46	24	Rg7	3.6	21	175.6	9	1580.0	46.45	23.52	47.00	80.00	24.00s
27	11SW	Rg5	1.6	21	141.5	18	2547.0	27.03	12.35	27.30	60.00	12.50s
8kt25	10	Rg5	2.1	21	0.0	1	0.0			8kt25	60.00	10.00s
RV31	17.5	Rg5	2.1	21	111.5	3	334.5	31.55	17.15	32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	2	21	160.0	56	8962.0	31.67	17.12	32.00s	60.00	17.50s
8kt25	10	Rg5	1.8	21	121.2	20	2423.5	24.90	9.69	8kt25	60.00	10.00s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	129.8	5	649.0	31.56	17.23	32.00s	60.00	17.50s
61	19	Rg7	3.5	21	167.0	6.3	1052.0	61.30	18.50	62.30	80.00	19.00s
66	39	Rg7	3.5	21	170.0	1.5	255.0	66.27	38.68	67.30	80.00	39.30s
42.5	33.5	Rg5	1.8	21	182.5	17	3102.0	42.62	33.46	43.05	80.00	33.70s
30		CuZn20Si	3.5	18	0.0	4.3	0.0	30.01		30.60		
RV31	17.5	Rg5	1.8	12	0.0	0.3	0.0			32.00s	60.00	17.50s
48	22	Rg5	3.1	21	257.1	41	10541.0	48.20	21.45	48.65	80.00	22.00s
29	16.5	Rg5	1.7	21	127.1	17	2160.0	28.98	16.22	29.35	60.00	16.50s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	0.0	2	0.0	31.50	17.12	32.00s	60.00	17.50s
23	10	Rg5	1.1	21	134.1	29	3889.0	22.94	9.75	23.25	60.00	10.00s
RV31	17.5	Rg5	1.4	21	172.9	18	3112.5	31.47	17.16	32.00s	60.00	17.50s
34	22.1	CuZn20Si	2	21	34.0	1	34.0	33.87	22.23	34.45	80.00	22.65s
29	16.5	Rg5	1.6	21	149.3	19	2836.5	28.95	16.25	29.35	60.00	16.50s
RV31	17.5	Rg5	1.9	21	148.4	23	3413.0	31.50	17.20	32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	2	21	0.0	0.5	0.0			32.00s	60.00	17.50s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

24		Rg5	1.7	21	156.5	31	4852.0	24.00		24.30		
24		Rg5	1.5	21	158.9	31	4925.5	23.95		24.30		
RV31	17.5	Rg5	2.2	21	0.0	0.3	0.0			32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	2.2	21	129.5	28.3	3664.5	31.67	17.17	32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	0.0	0.3	0.0			32.00s	60.00	17.50s
57	24	Rg5	3.5	21	0.0	2	0.0	56.85	23.60	57.75	80.00	24.10s
48	22	Rg5	3.4	21	215.1	7	1505.5	47.85	21.50	48.65	80.00	22.00s
57	24	Rg5	3	21	307.8	17.5	5387.0	57.07	23.56	57.75	80.00	24.10s
33	16.5	Rg5	1.8	21	180.5	33	5957.5	33.02	16.15	33.40	60.00	16.50s
RV31	17.5	Rg5	2.1	21	0.0	0	0.0			32.00s	60.00	17.50s
57	24	Rg5	4.5	21	237.1	27.3	6473.3	57.15	23.49	57.80	80.00	24.10s
RV31	17.5	Rg5	1.7	21	0.0	1.5	0.0			32.00s	60.00	17.50s
31		Rg5	2.4	21	0.0	6	0.0			31.40		
RV31	17.5	Rg5	1.7	21	156.4	21	3284.5	31.60	17.15	32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	1.7	21	148.8	39.5	5879.5	31.65	17.02	32.00s	60.00	17.50s
57	24	Rg5	4.9	21	256.6	14.3	3669.0	57.05	23.52	57.80	80.00	24.10s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	169.7	32	5431.0	31.62	17.10	32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	108.0	1	108.0	31.50	17.20	32.00s	60.00	17.50s
57	24	Rg5	4.2	21	256.8	9.3	2388.5	56.85	23.60	57.80	80.00	24.10s
RV31	17.5	Rg5	2.2	21	0.0	1	0.0	31.65	17.02	32.00s	60.00	17.50s
41	19	GB12	2.7	21	209.2	7.3	1527.5	41.25	18.55	41.85	80.00	19.00s
37		GB12	4.7	21	137.5	15	2062.5	37.25		37.80		
41		GB12	5.5	21	188.6	16.3	3073.5	41.27		41.85		
23		GB12	2	21	118.3	43	5087.0	23.35		23.55		
30		Rg5	2.5	21	0.0	6	0.0	30.00		30.60		
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	118.3	43	5087.0	31.70	17.09	32.00s	60.00	17.50s
66	34	GB12	5.2	21	241.4	10	2414.0	66.48	33.67	67.30	80.00	34.20s
45	23	Rg5	2.8	21	218.5	26	5681.0	45.16	22.70	45.60	80.00	23.10s
66		GB12	6.5	21	265.7	8	2125.5	66.45		67.30		
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	103.9	4	415.5	31.50	17.17	32.00s	60.00	17.50s
6kt34	17	Rg5	2.6	21	161.0	67	10785.5	33.80	16.63	6kt34	80.00	17.00s
66		Rg7	8	21	290.5	3	871.5	66.42		67.30		
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	0.0	1	0.0			32.00s	60.00	17.50s
38	25	Rg5	1.8	21	174.1	17	2960.5	38.40	24.73	38.80	60.00	25.10s
26.9	17.1SW	Rg5	1.54	21	64.0	32.3	2067.0	27.04	17.24	27.25	60.00	17.60s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	148.6	52	7726.0	31.57	17.14	32.00s	60.00	17.50s
45	23	Rg5	3	21	171.5	57	9777.2	45.18	22.68	45.60	80.00	23.10s
38	25	Rg5	2	21	189.5	30	5685.0	38.38	24.73	38.80	60.00	25.10s
46	34	Rg7	2.2	21	176.8	11	1944.5	46.50	33.80	46.90	80.00	34.20s
26.9	17.1SW	Rg5	0.8	19	125.4	23.3	2922.0	26.95	17.40	27.25	60.00	17.10s
24		Rg5	1.5	21	0.0	4.3	0.0	24.00		24.30		
24		Rg5	1.5	21	125.2	77.3	9677.5	23.95		24.30		
37	23	Rg7	2.2	21	0.0	0.3	0.0			37.80	80.00	23.00s
38	25	Rg5	2	21	182.5	36	6570.5	38.30	24.75	38.80	60.00	25.10s
46	34	Rg5	2.2	21	169.4	14	2371.0	46.35	33.65	46.90	80.00	34.20s
31	14	Rg5	2.1	21	165.6	6	993.5	31.05	13.55	31.70	60.00	14.00s
26.9	17.1SW	Rg5	1.3	21	48.4	4	193.5	26.95	17.40	27.25	60.00	17.60s
26.9	17.1SW	Rg5	1.2	21	106.2	69	7329.5	26.75	17.38	27.25	60.00	17.60s
45	31	Rg5	2.5	21	0.0	1	0.0	45.10	30.90	45.80	80.00	31.20s
51	25	Rg5	4	21	221.9	7.5	1664.0	51.10	24.70	52.00	80.00	25.10s
37	23	Rg5	1.7	21	172.8	3	518.5	37.26	22.70	37.80	80.00	23.00s



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

26.9	17.1SW	Rg5	0.7	15	132.7	5	663.5	26.92	17.38	27.25	60.00	17.60s
45	18	Rg5	3	21	194.7	14.3	2783.5	45.14	17.76	45.80	80.00	18.00s
62	34	Rg5	3	21	0.0	13.3	0.0			63.20	80.00	34.30s
45	31	Rg5	2.5	21	187.6	30	5628.0	45.21	30.60	45.80	80.00	30.70
33	19	Rg5	2.8	21	164.0	12	1968.0	33.32	18.60	33.75	60.00	19.00s
31		Rg7	3	21	186.7	22	4107.5	31.26		31.70		
28	10	Rg5	2	21	162.6	6.3	1024.5	28.04	9.80	28.35	60.00	10.00s
28		Rg5	2	21	168.4	12	2020.5	28.06		28.35		
28	15	Rg5	1.6	21	148.5	61	9060.5	28.00	14.80	28.50	60.00	15.10s
23		Rg5	1.3	21	148.0	66.3	9812.5	23.15		23.55		
28		Rg5	1.8	21	174.5	17	2967.0	28.10		28.35		
27		Rg5	2	21	178.0	31	5519.0	27.21		27.60		
32		Rg5	3	21	163.0	18.3	2982.0	32.20		32.70		
26.9	17.1SW	Rg5	1.3	21	106.7	63	6719.5	26.95	17.39	27.25	60.00	17.60s
23		Rg5	1.7	21	122.4	40.3	4932.5	23.15		23.55		
35	14	Rg5	2.5	21	177.0	3.3	584.0	34.95	13.78	35.45	60.00	14.00s
26		Rg5	2.1	21	168.9	6.3	1064.0	25.90		26.35		
62	34	Rg5	4	21	255.0	4	1020.0	62.00	33.86	63.20	80.00	34.30s
33	14	Rg5	2.5	21	164.6	30	4938.0	32.95	13.70	33.40	60.00	14.10s
36	17	Rg5	2.5	21	151.7	12	1820.0	35.95	16.70	36.45	60.00	17.00s
57	29.5	Rg5	3.5	21	193.4	32.3	6246.0	56.95	29.10	57.80	80.00	29.60s
41	22	Rg5	2.4	21	225.4	5	1127.0	40.95	21.75	41.55	80.00	22.10s
8kt25	10	Rg5	1.9	21	127.5	19	2422.0	24.80	9.78	8kt25	60.00	10.00s
40	17	Rg5	2.2	21	236.0	48	11326.5	39.90	16.70	40.50	80.00	17.00s
51	39	GB12	2.5	21	0.0	2.3	0.0	51.35	38.90	52.00	80.00	39.20s
51	39	GB12	2.5	21	196.9	9.3	1831.5	51.40	38.95	52.00	80.00	39.20s
36	19	Rg7	2.2	21	204.7	8.3	1699.0	36.23	18.75	36.75	60.00	19.00s
61		Rg7	6	21	227.9	18	4102.5	61.36		62.20		
33	16.5	Rg5	1.8	21	178.0	45	8012.0	32.97	16.20	33.40	60.00	16.50s
23	13	Rg5	1.1	21	119.3	49	5847.0	22.97	12.87	23.30	60.00	13.00s
8kt25	10	Rg5	1.6	21	134.5	6.3	847.5	24.87	9.80	8kt25	60.00	10.00s
65	29	Rg5	6.8	21	250.8	8.3	2081.5	64.95	28.78	65.90	80.00	29.20s
26.9	17.1	Rg5	1.1	21	119.4	40	4776.5	26.90	17.36	27.25	60.00	17.60s
51	24	Rg7	3.7	21	208.2	5	1041.0	51.35	23.78	52.00	80.00	24.10s
51		Rg7	7	21	202.2	24	4852.0	51.33		52.00		
50	23	Rg5	3.8	21	224.5	27	6062.0	49.90	22.73	50.65	80.00	23.10s
60	35	Rg5	4.9	21	144.8	3	434.5	60.05	34.90	60.85	80.00	35.35s
8kt25	10	Rg5	1.8	21	135.1	21	2836.5	24.90	9.70	8kt25	60.00	10.00s
60	35	Rg5	4	21	272.8	3	818.5	59.90	34.90	60.85	80.00	35.35s
6kt55	32	Rg5	2.5	21	203.0	7	1421.0	54.80	31.70	6kt55	80.00	32.20s
52		Rg5	4	21	188.4	5.3	998.5	51.95		52.75		
50	23	Rg5	2.5	21	169.8	6	1019.0	49.85	22.92	50.65	80.00	23.10
26.9	17.1	Rg5	1.1	21	117.5	32	3760.0	26.80	17.35	27.25	60.00	17.60s
32	17.1SW	Rg5	2.4	21	145.6	8	1164.5	31.84	17.38	32.40	60.00	17.60s
32	17.1SW	Rg5	2.4	21	155.3	25	3883.5	31.95	17.40	32.40	60.00	17.60s
6kt55	32	Rg5	4.4	21	193.7	8.3	1607.5	54.85	31.50	6kt55	80.00	32.00s
26		Rg7	2.1	21	167.3	22	3681.0	26.20		26.60		
31		Rg7	3	21	133.5	6	801.0	31.21		31.70		
41		Rg7	5	21	100.4	5	502.0	41.15		41.80		
61	24	Rg7	5.3	21	229.4	4.3	986.5	61.25	23.45	62.20	80.00	24.10s
51	34	Rg7	2.8	21	210.8	5	1054.0	51.15	33.50	52.00	80.00	34.10s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

66	49	Rg7	2.6	21	260.5	2	521.0	66.30	48.50	67.30	80.00	49.40s
66		Rg7	6	21	322.5	6	1935.0	66.30		67.30		
56	29	Rg7	3.5	21	277.8	5	1389.0	56.25	28.40	57.10	80.00	29.20s
23		Rg7	1.4	21	166.9	12.5	2086.0	23.10		23.50		
33		Rg7	3	21	183.5	11	2018.5	33.20		33.65		
41	24	Rg7	2	21	221.6	7	1551.5	41.20	23.50	41.80	80.00	24.00s
24		Rg5	2	21	153.8	18	2768.5	23.80		24.30		
6kt34	17	Rg5	2.8	21	164.6	18	2963.5	33.75	16.65	6kt34	80.00	17.00s
6kt27		Rg5	2.4	21	144.2	71	10241.5	26.75		6kt27		
27	12.1SW	Rg5	2	21	148.3	72	10677.0	27.15	12.30	27.30	60.00	12.50s
27	12.1SW	Rg5	2	21	130.8	36	4710.5	27.15	12.30	27.30	60.00	12.50s
24		Rg5	1.5	21	162.0	60	9718.5	23.80		24.30		
6kt34	17	Rg5	2.6	21	158.1	45	7113.0	33.70	16.65	6kt34	80.00	17.00s
22	10.1SW	Rg5	1.3	21	103.0	3.5	360.5	22.15	10.35	22.50	60.00	10.45s
32	17.1SW	Rg5	1.9	21	238.6	7	1670.5	32.14	17.38	32.40	60.00	17.60s
61	39	GB12	5.5	21	191.4	8	1531.0	61.35	38.70	62.30	80.00	39.30s
51	29	GB12	3	21	237.7	6.5	1545.0	51.30	28.50	52.00	80.00	29.15s
26		GB12	2.1	21	146.5	14	2051.0	26.20		26.60		
31		GB12	3	21	165.4	17.5	2894.5	31.20		31.65		
6kt25		Rg5	2	21	135.7	7.5	1018.0	24.70		6kt25		
6kt27		Rg5	2.5	21	142.4	60.5	8616.5	26.80		6kt27		
24		Rg5	1.6	21	142.3	51.5	7326.0	23.85		24.30		
27	12.1SW	Rg5	1.7	21	158.9	28	4449.5	27.17	12.40	27.55	60.00	12.50s
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	160.3	27.5	4408.5	27.17	12.25	27.55	60.00	12.50s
51		Rg5	6.1	21	0.0	3	0.0	51.20		52.00		
63	34	Rg5	6.6	21	252.5	20	5050.5	62.80	33.70	63.90	80.00	34.25s
57	24	Rg5	6.3	21	175.6	30	5268.0	56.85	23.50	57.80	80.00	24.10s
6kt27		Rg5	2.7	21	140.3	15	2105.0	26.70		6kt27		
57	24	Rg5	4.5	21	238.4	21	5006.0	56.95	23.65	57.80	80.00	24.10s
38	26	Rg5	1.9	21	172.7	11	1900.0	38.10	25.70	38.70	60.00	26.10s
38	26	Rg5	1.9	21	207.5	20.5	4253.0	38.10	25.70	38.70	60.00	26.10s
38	26	Rg5	1.9	21	212.9	76	16177.0	38.25	25.65	38.70	60.00	26.10s
38	26	Rg5	1.9	21	157.5	3	472.5	38.10	25.70	38.70	60.00	26.10s
21		Rg7	1.4	21	136.4	23	3137.5	21.12		21.50		
51	39	Rg7	2	21	213.5	7	1494.5	51.15	38.85	52.00	80.00	39.25s
61	19	Rg7	5.3	21	297.3	5.3	1575.5	61.25	18.45	62.20	80.00	19.00s
38	26	Rg5	2	21	178.9	58	10377.0	38.38	25.67	38.80	60.00	26.10s
51		Rg7	4.5	21	253.5	12.3	3118.0	51.27		52.00		
61		Rg7	6	21	253.5	12	3042.0	61.26		62.20		
62x62		Rg7	8.5	21	234.7	13	3051.0	62.60		63.25		
17		Rg5	1.4	21	88.5	26	2302.0	17.08		17.40		
51	29	Rg5	4.2	21	186.9	8	1495.5	51.17	28.60	52.00	80.00	29.10s
41	29	Rg7	2.2	21	176.1	8.3	1462.0	41.30	28.70	41.75	80.00	29.10s
27	12.1SW	Rg5	2	21	164.6	70	11518.5	27.20	12.30	27.30	60.00	12.50s
27	12.1SW	Rg5	1.9	21	145.4	37.3	5423.0	27.17	12.28	27.50	60.00	12.50s
41		Rg7	4.5	21	166.6	8	1332.5	41.25		41.75		
23		Rg5	1.4	21	153.1	45	6890.0	23.25		23.55		
38	26	Rg5	2.3	21	113.9	45.3	5161.3	38.25	25.60	38.70	60.00	26.10s
38	26	Rg5	1.9	21	212.7	29	6168.0	38.15	25.65	38.70	80.00	26.10s
56	39	Rg7	2.7	21	257.3	4	1029.0	56.20	38.60	57.10	80.00	39.25s
56		Rg7	5.5	21	206.6	10	2065.5	56.20		57.10		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	12.1SW	Rg5	1.4	21	134.4	23.3	3132.0	27.10	12.25	27.30	60.00	12.50s
37		Rg7	4	21	188.8	11	2076.5	37.17		37.75		
RV31	17.5	Rg5	1.6	21	165.8	57	9450.5	31.68	17.21	32.00s	60.00	17.50s
29		Rg7	1.5	21	185.0	11.3	2091.0	29.20		29.60		
46	34	Rg7	1.8	21	207.7	5	1038.5	46.20	33.71	46.90	80.00	34.20s
56	34	Rg7	3	21	238.5	4.3	1025.5	56.30	33.80	57.10	80.00	34.20s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	145.9	49	7149.0	31.68	17.10	32.00s	60.00	17.50s
46		Rg7	4.8	21	228.5	13.3	3039.0	46.35		46.90		
19		Rg7	1.4	21	101.4	20	2028.0	19.17		19.45		
38	26	Rg7	1.6	21	207.0	14	2898.5	38.25	25.65	38.70	60.00	26.10s
33.5		Rg5	3	21	163.9	33	5409.0	33.45		33.90		
38	26	Rg5	1.9	21	143.9	2.3	331.0	38.25	25.70	38.70	60.00	26.10s
38	26	Rg5	1.9	21	181.7	16	2906.5	38.05	25.75	38.70	60.00	26.10s
RV31	17.5	Rg5	2.1	21	148.4	28	4154.0	31.60	17.15	32.00s	60.00	17.50s
RV31	17.5	Rg5	2	21	142.7	44	6280.5	31.70	17.15	32.00s	60.00	17.50s
38	26	Rg5	1.8	21	178.2	64	11405.5	38.26	25.74	38.70	60.00	26.10s
24		Rg5	1.5	21	0.0	2	0.0	23.90		24.30		
31	14	Rg5	2	21	1.0	5	5.0	30.90	13.40	31.40	60.00	13.80
51		GB12	5.5	21	186.9	32	5979.5	51.45		52.00		
38	26	Rg5	1.8	21	175.4	49	8595.0	38.27	25.79	38.70	60.00	26.10s
21		GB12	1.9	21	114.4	18	2060.0	21.17		21.50		
52		Rg5	6	21	0.0	7	0.0	51.99		52.80		
56		GB12	4	21	222.3	14	3112.0	56.39		57.10		
61	29	GB12	6	21	164.2	9.3	1527.5	61.43	28.77	62.20	80.00	29.15s
61		GB12	6.5	21	245.9	12.3	3025.0	61.30		62.20		
38	26	Rg5	1.9	21	175.0	2.3	402.5	38.15	25.60	38.70	60.00	26.10s
24		Rg5	1.6	21	0.0	0.5	0.0	23.90		24.35		
24		Rg5	1.5	21	104.3	7	730.0	23.94		24.30		
24		Rg5	1.5	21	178.7	15	2680.0	24.00		24.30		
30		Rg5	3	21	0.0	6	0.0			30.40		
30		Rg5	2.4	21	0.0	8	0.0			30.40		
24		Rg5	1.7	21	152.7	45	6873.0	24.03		24.30		
48	22	Rg5	3.5	21	219.7	45.3	9950.5	48.15	21.50	48.65	80.00	22.00s
29		Rg5st	2.5	21	167.4	9	1506.5	28.95		29.40		
23		Rg5st	1.8	21	143.5	7	1004.5	22.85		23.30		
57	24	Rg5	6.2	21	216.1	46	9941.0	57.03	23.57	57.75	80.00	24.10s
24		Rg5	2	21	0.0	2	0.0			24.30		
46	24	GB12	3.2	21	185.2	22	4074.0	46.35	23.64	46.90	80.00	24.10s
24		Rg5	2	21	0.0	3	0.0			24.30		
38	26	Rg5	2	21	177.2	65	11518.0	38.35	25.65	38.75	60.00	26.10s
17		Rg5	1.2	21	94.3	13	1225.5	17.15		17.45		
37		GB12	4	21	171.2	12	2054.0	37.25		37.70		
38	26	Rg5	1.8	21	200.3	73	14621.0	38.40	25.55	38.75	60.00	26.10s
21		Rg5	1.2	21	129.0	8	1032.0	21.13		21.50		
26.5		Rg5	1.8	21	161.1	29	4671.5	26.45		26.85		
24		Rg5	1.8	21	152.2	44	6698.5	24.20		24.50		
24		Rg5	1.8	21	164.8	97.3	16032.5	24.32		24.50		
26.5		Rg5	1.8	21	170.5	49	8355.0	26.53		26.85		
24		Rg5	1.6	21	177.1	66.3	11742.5	24.25		24.50		
33	10	Rg5	2	21	183.4	55	10087.0	33.30	9.50	33.70	60.00	10.00s
48	22.5	Rg5	4	21	189.6	7	1327.5	48.21	22.07	48.90	80.00	22.60s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

58	30	Rg5	4.5	21	211.1	7	1478.0	58.13	29.60	58.80	80.00	30.15s
27	12.1SW	Rg5	2	21	135.4	111	15026.5	27.02	12.18	27.30	60.00	12.50s
25		Rg5	1.6	21	162.8	31	5046.5	24.93		25.30		
60	33	Rg5	4.7	21	234.2	4.5	1054.0	60.05	32.60	61.00	80.00	33.30s
39		Rg5	3	21	200.3	18	3606.0	38.95		39.50		
23		Rg5	2.5	21	190.4	7	1333.0	22.90		23.30		
29		Rg5	2.5	21	147.1	10.3	1515.0	28.90		29.35		
39	22.1SW	Rg5	2.2	21	128.1	4.3	551.0	38.85	22.25	39.50	80.00	22.65s
29	14	Rg5	1.9	21	166.9	45	7510.5	29.27	13.70	29.60	60.00	14.00s
24		Rg5	1.6	21	166.6	29	4832.0	23.97		24.30		
55	32.1SW	Rg5	4	21	142.8	8	1142.0	55.05	32.15	55.80	80.00	32.75s
46	28.1SW	Rg5	2.8	21	166.0	5	830.0	46.05	28.15	46.70	80.00	28.70s
58	23	Rg5	4.5	21	166.1	9	1494.5	58.07	22.51	58.80	80.00	23.00s
39	22.1SW	Rg5	2.2	21	154.5	4	618.0	39.05	22.40	39.60	80.00	22.70s
51	33	Rg5	3	21	0.0	1	0.0	51.08	32.85	51.80	80.00	33.30s
56	34	Rg7	3.2	21	207.9	6	1247.5	56.30	33.45	57.00	80.00	34.25s
56		Rg7	6	21	232.9	13	3027.5	56.35		57.00		
24		Rg5	1.6	21	117.9	40.3	4752.5	23.99		24.30		
34		Rg5	2.1	21	201.6	75	15119.0	34.25		34.65		
51	33	Rg5	3	21	0.0	1.5	0.0			51.80	80.00	33.30s
32	19	Rg5	2.5	21	155.4	34	5283.0	32.20	18.68	32.65	60.00	19.00s
27.8	14	Rg5	1.6	21	161.7	77	12453.0	28.05	13.70	28.35	60.00	14.00s
57	30	Rg5	3.5	21	175.3	6	1051.5	56.90	29.87	57.75	80.00	30.30s
8kt34	22	Rg5	2.2	21	159.0	39	6201.5	33.75	21.55	8kt34	80.00	22.00s
64		Rg5	7	21	0.0	3	0.0			65.50		
51	33	Rg5	2.3	21	221.9	5	1109.5	51.05	32.75	51.80	80.00	33.30s
50	29	Rg5	3.1	21	208.0	5	1040.0	50.05	28.75	50.90	80.00	29.10s
39	26	Rg5	2.2	21	188.8	10.5	1982.5	39.20	25.75	39.75	80.00	26.10s
41	25	Rg5	2.3	21	194.7	26	5062.5	40.90	24.75	41.55	80.00	25.10s
57	24	Rg5	5.5	21	212.6	4	850.5	56.80	23.70	57.75	80.00	24.10s
39	26	Rg5	1.9	21	202.1	7.5	1516.0	39.21	25.70	39.75	60.00	26.10s
52	34	Rg5	3.5	21	188.1	5.5	1034.5	52.07	33.60	52.80	80.00	34.30s
40	21	Rg5	3.5	21	159.1	27	4294.5	40.10	20.70	40.75	80.00	21.10s
RV31	17.5	Rg5	2.1	21	153.9	69.5	10697.5	31.50	17.20	32.00s	60.00	17.50s
57	24	Rg5	5	21	254.2	37	9404.5	56.80	23.65	46.60	80.00	27.20s
27.8	14	Rg5	2	21	139.3	64	8914.0	27.85	13.70	28.35	60.00	14.00s
39	23	Rg5	2.5	21	134.9	3.5	472.0	38.80	22.80	39.50	60.00	23.20s
34	22.1SW	Rg5	1.8	21	122.7	18	2208.0	33.95	22.25	34.45	80.00	22.65s
49	24	Rg5	2.8	21	236.0	5.5	1298.0	48.90	23.70	49.65	80.00	24.20s
31		Rg7	3	21	273.3	26	7105.5	31.20		31.65		
39	23	Rg5	2.3	21	146.8	4	587.0	38.85	22.80	39.50	80.00	23.20s
27.8	14	Rg5	2	21	144.7	34	4920.0	27.90	13.60	28.35	60.00	14.00s
41	14	Rg7	2.6	21	249.6	8.5	2122.0	41.20	13.60	41.85	80.00	14.00s
23		Rg7	2	21	146.0	23	3357.5	23.15		23.50		
6kt27		Rg5	2	21	136.9	54	7390.5	26.75		6kt27		
33	17	Rg5	2	21	164.4	16	2630.5	32.85	16.80	33.45	60.00	17.10s
RV31	17.5	Rg5	2.2	21	144.7	19	2749.5	31.60	17.30	32.00s	60.00	17.50s
46	27	Rg5	2.8	21	0.0	1.5	0.0	45.85	26.80	46.60	80.00	27.20s
45	29	Rg5	3.2	21	156.9	21	3295.0	44.85	28.70	45.60	80.00	29.30s
55	38	Rg5	3.2	21	169.2	6	1015.0	54.85	37.80	55.80	80.00	38.40s
31	14	Rg5	2.1	21	140.1	21	2942.0	30.95	14.00	31.40	60.00	14.10s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

46	27	Rg5	2.6	21	202.9	5	1014.5	45.80	26.65	46.60	80.00	27.20s
39	22.1SW	Rg5	2.7	21	163.4	22	3595.0	38.92	22.18	39.50	80.00	22.65s
25		Rg5	2.1	21	184.4	38	7005.5	24.86		25.30		
45	29	Rg5	2.7	21	203.1	14	2843.0	44.97	28.90	45.60	80.00	29.30s
36	10	Rg5	2.9	21	181.4	9	1632.5	35.90	9.75	36.50	60.00	10.00s
6kt27		Rg5	2	21	154.2	10	1541.5	26.70		6kt27		
21		Rg5st	1.4	21	134.5	4	538.0	21.13		21.50		
45	29	Rg5	3.1	21	164.2	12	1970.0	44.86	28.70	45.60	80.00	29.30s
48	22	Rg5	3.5	21	288.3	13.5	3892.5	47.90	21.45	48.65	80.00	22.00s
57	24	Rg5	4.2	21	351.7	22	7738.0	57.05	23.50	57.80	80.00	24.10s
41	24	Rg7	2.5	21	207.8	8	1662.0	41.15	23.60	41.80	80.00	24.10s
41		Rg7	4	21	201.0	10.5	2110.0	41.20		41.80		
20.5		Rg5	1.6	21	174.5	36	6281.5	20.76		20.95		
17.5		Rg5	1.3	21	100.8	78	7863.0	17.78		17.90		
27.8	17	Rg5	1.9	21	140.2	89	12477.0	28.09	16.60	28.35	60.00	17.00s
48	22	Rg5	3.5	21	225.1	22	4951.5	48.05	21.54	48.65	80.00	22.00s
21		GB10(P)	3.5	21	133.8	7	936.5	21.25		21.50		
36		GB10(P)	3.6	21	160.1	6.3	1008.5	36.20		36.70		
66	15	GB10(P)	5.5	21	113.6	9	1022.5	66.40	14.65	67.20	80.00	15.00s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	152.3	25	3807.0	31.70	17.08	32.00s	60.00	17.50s
27.4		Rg5	2.2	21	148.9	10	1489.2	27.50		27.95		
66		GB10(P)	17	21	122.1	8.3	1013.5	66.42		67.20		
23.5		Rg5	1.6	21	156.7	35	5484.0	23.63		24.00		
RV31	17.5	Rg5	1.9	21	0.0	0.5	0.0	31.53	17.22	32.00s	60.00	17.50s
24		Rg5	1.2	21	180.4	56	10103.0	24.12		24.30		
27.8	17	Rg5	1.8	21	160.8	9	1447.5	27.93	16.84	28.35	60.00	17.00s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	0.0	0.3	0.0			32.00s	60.00	17.50s
45	26	Rg5	3	21	213.5	50	10676.0	45.31	25.70	45.85	80.00	26.10s
RV31	17.5	Rg5	1.8	21	0.0	0.3	0.0			32.00s	60.00	17.50s
27.8	17	Rg5	1.6	21	352.0	18	6336.5	27.95	16.75	28.35	60.00	17.00s
51	34	GB12	2.9	21	0.0	6	0.0	51.33	33.76	52.00	80.00	34.20s
32	21	Rg5	2	21	169.5	35	5934.0	32.20	20.65	32.65	60.00	21.00s
RV31	17.5	Rg5	1.7	21	157.7	17.3	2729.0	31.64	17.30	32.00s	60.00	17.50s
61	39	Rg7	3.5	21	272.8	6	1637.0	61.35	38.70	62.20	80.00	39.30s
61		Rg7	7	21	255.2	20.3	5181.0	61.35		62.20		
32	21	Rg5	1.9	21	145.6	77.5	11283.0	32.33	20.60	32.65	60.00	21.00s
39		Rg7	4	21	197.3	16	3156.5	39.10		39.75		
45	26	Rg5	3	21	234.2	22.5	5269.5	45.15	25.70	45.85	80.00	26.10s
40	26	Rg5	2.6	21	204.0	61	12445.5	40.33	25.61	40.75	80.00	26.10s
31	19	Rg7	3	21	144.4	14	2021.0	31.30	18.85	31.70	60.00	19.00s
32	21	Rg5	2.8	21	142.8	9	1285.0	32.10	20.85	32.65	60.00	21.00s
51	34	GB12	2.8	21	199.8	5	999.0	51.30	33.75	32.00s	60.00	17.50s
33	19	Rg7	2.1	21	170.4	12	2044.5	33.19	18.59	33.65	60.00	19.00s
17		GB12	1.5	21	84.2	25	2104.0	17.20		17.40		
45	26	Rg5	2.7	21	142.7	5.3	756.5	45.20	25.70	45.85	80.00	26.10s
66	49	Rg7	3.7	21	246.9	7.5	1851.5	66.45	48.41	67.25	80.00	49.40s
32	21	Rg5	2	21	127.4	5	637.0	32.26	20.75	32.65	60.00	21.00s
45	26	Rg5	2.8	21	193.7	2.5	484.2	45.22	25.73	45.85	80.00	26.10s
30		Rg5	1.8	21	189.6	18	3412.5	29.94		30.35		
32	21	Rg5	2	21	127.7	16.3	2081.0	32.00	20.76	32.65	60.00	21.00s
40	26	Rg5	2.7	21	172.7	28	4834.5	40.15	25.60	40.85	80.00	26.00s



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

32	19	Rg5	2.1	21	154.1	97	14943.0	32.15	18.60	32.65	60.00	19.00s
45	26	Rg5	3	21	205.6	67	13774.0	45.05	25.60	45.85	80.00	26.10s
6kt34	17	Rg5	2.7	21	154.5	17	2627.0	33.72	16.70	6kt34	80.00	17.00s
40	17	Rg5	2.8	21	258.0	17.5	4515.5	39.85	16.70	40.50	80.00	17.00s
6kt34	17	Rg5	2.7	21	160.7	31	4981.5	33.71	16.60	6kt34	80.00	17.00s
32	19	Rg5	2	21	154.9	66	10225.5	32.15	18.70	32.65	60.00	19.00s
32	21	Rg5	1.9	21	167.8	86.5	14515.5	32.15	20.98	32.65	60.00	21.00s
45	26	Rg5	2.6	21	182.7	25	4566.5	45.25	25.90	45.85	80.00	26.10s
6kt34	17	Rg5	2.7	21	201.2	33	6638.5	33.72	16.80	6kt34	80.00	17.00s
41	24	Rg7	2.6	21	185.4	11	2039.5	41.10	23.80	41.80	80.00	24.10s
51		Rg7	6	21	190.0	22	4179.5	51.30		52.00		
32	19	Rg5	2.1	21	158.8	18.5	2937.0	32.20	18.65	32.65	60.00	19.00s
32	19	Rg5	2.1	21	148.1	17	2517.0	32.20	18.65	32.65	60.00	19.00s
41		Rg7	4.5	21	213.4	14	2987.5	41.25		41.80		
32	21	Rg5	2.2	21	133.1	68	9048.5	32.30	20.65	32.65	60.00	21.00s
32	19	Rg5	2	21	0.0	1.5	0.0			32.40	60.00	19.00s
41		Rg7	3.7	21	210.2	23.5	4939.5	41.20		41.80		
51		Rg7	5.5	21	182.9	17	3110.0	51.35		52.00		
24	11.5	Rg5	1.4	21	124.7	30	3741.0	23.95	11.15	24.30	60.00	11.50s
68	49	Rg5	3.7	21	245.4	12.5	3067.0	67.95	48.65	68.95	80.00	49.40s
32	19	Rg5	2	21	136.9	53	7257.0	32.30	18.65	32.65	60.00	19.00s
63	34	Rg5	4	21	325.3	12.3	4001.0	62.95	33.50	63.90	80.00	34.25s
24		Rg5	2	21	156.3	29	4534.0	24.05		24.30		
40	12	Rg5	3.2	21	214.7	42.3	9083.0	39.99	11.70	40.50	80.00	12.00s
32	19	Rg5	2.2	21	0.0	2	0.0	32.20	18.80	32.65	60.00	19.00s
32	21	Rg5	2	15	0.0	3	0.0			32.65	80.00	21.00s
26.5		Rg5	2.1	21	176.5	56	9885.0	26.52		26.80		
51	29	GB12	4	21	191.3	21	4017.0	51.40	28.73	52.00	80.00	29.20s
24		Rg5	1.5	21	139.0	10	1389.5	23.91		24.30		
61	19	GB12	5.5	21	207.5	5	1037.5	61.35	18.50	62.15	80.00	19.00s
33	16.5	Rg5	2	21	169.1	5	845.5	32.90	16.20	33.40	60.00	16.50s
32	19	Rg5	2.2	21	170.9	54	9226.5	32.25	18.60	32.65	60.00	19.00s
41	19	GB12	3	21	194.8	29	5649.0	41.31	18.60	41.85	80.00	19.00s
24		Rg5	2	21	161.9	22	3561.5	23.97		24.30		
33	16.5	Rg5	2.2	21	159.6	20	3191.5	32.98	16.20	33.40	60.00	16.50s
46	34	GB12	2.6	21	138.5	11	1523.5	46.40	33.75	46.90	80.00	34.20s
32	21	Rg5	2	21	0.0	0.3	0.0			32.65	80.00	21.00s
46		GB12	5	21	93.2	5	466.0			46.90		
51	19	GB12	4.6	21	203.6	8	1629.0	51.30	18.50	52.00	80.00	19.00s
41		GB12	4.4	21	182.1	17	3095.5	41.30		41.85		
23	10	Rg5	1.3	21	134.3	29	3894.5	22.90	9.70	23.30	60.00	10.00s
46		GB12	4.7	21	170.1	15.3	2603.0	46.25		46.85		
32	19	Rg5	2.2	21	160.4	96	15395.0	32.40	18.45	32.65	60.00	19.00s
51	19	GB12	4.6	21	248.3	8	1986.0	51.35	18.50	52.00	80.00	19.00s
41	29	GB12	2.4	21	249.7	6	1498.0	41.20	28.75	41.75	80.00	29.15s
66		GB12	6.5	21	238.5	12	2862.5	66.40		67.20		
32	19	Rg5	2.2	21	166.1	108	17938.0	32.36	18.71	32.65	60.00	19.00s
45	23	Rg5	2.8	21	222.8	70	15593.0	45.15	22.40	45.60	80.00	23.10s
6kt27		Rg5	2.2	21	154.3	37	5710.0	26.99		6kt27		
66		Rg7	8	21	230.8	17.3	3992.0	66.35		67.20		
6kt27		Rg5	1.8	21	163.4	7	1144.0	26.80		6kt27		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

61	29	Rg7	5	21	234.3	6.5	1523.0	61.20	28.65	62.15	80.00	29.20s
37	17	Rg7	2.5	21	206.8	5	1034.0	37.20	16.55	37.75	60.00	17.00s
37		Rg7	3.4	21	198.7	10.3	2046.5	37.22		37.75		
61		Rg7	6	21	245.4	12.3	3019.0	61.25		62.15		
6kt27		Rg5	2	21	149.4	26	3885.0	26.96		6kt27		
45	23	Rg7	2.8	21	253.2	10.3	2607.5	45.02	22.70	45.60	80.00	23.10s
32	19	Rg5	2	21	168.5	58	9771.0	32.35	18.80	32.65	60.00	19.00s
56		Rg7	4.8	21	216.6	14	3033.0	56.24		57.00		
33		Rg7	3	21	189.7	16	3034.5	33.29		33.65		
46	29	Rg7	2.5	21	0.0	0.3	0.0	46.20	28.75	46.85	80.00	29.10s
46		Rg7	4.5	21	240.6	8.5	2045.0	46.23		46.85		
32	19	Rg5	2	21	0.0	3.3	0.0			32.65	80.00	19.00s
36	24	Rg7	1.8	21	191.0	8	1528.0	36.24	23.50	36.75	60.00	24.00s
51	39	Rg7	1.8	21	0.0	0.3	0.0			52.00	80.00	39.30s
36		Rg7	3.3	21	196.5	26	5108.0	36.25		36.75		
46	29	Rg7	2.2	21	260.0	2	520.0	46.30	28.50	46.85	80.00	29.10s
32	19	Rg5	2.1	21	167.7	24.3	4075.5	32.25	18.76	32.65	60.00	19.00s
26		Rg7	2.5	21	144.0	14	2016.5	26.24		26.60		
31		Rg7	2.9	21	179.0	12	2148.5	31.26		31.65		
23		Rg7	1.3	21	152.1	14	2129.5	23.13		23.50		
39	27	Rg7	1.6	21	225.9	6.3	1423.0	39.25	26.60	39.80	80.00	27.10s
36	19	Rg7	4	21	0.0	1.3	0.0	36.24	18.60	36.70	60.00	19.00s
46	29	Rg7	3	21	197.1	23	4532.5	46.20	28.45	46.85	80.00	29.10s
21		Rg7	1.3	21	0.0	11.3	0.0	21.12		21.50		
32	21	Rg5	2	21	159.9	21.3	3405.0	32.00	20.80	32.65	60.00	21.00s
32	21	Rg5	2.2	21	161.9	55	8903.5	32.15	20.78	32.65	60.00	21.00s
51	39	Rg7	2	21	0.0	0.3	0.0			52.00	80.00	39.30s
36	19	Rg7	2.5	21	163.6	9	1472.0	36.20	18.80	36.70	60.00	19.00s
51	39	Rg7	1.8	21	246.2	6	1477.0	51.30	38.50	52.00	80.00	39.30s
21		Rg7	1.5	21	116.5	21	2446.0	21.20		21.50		
26.2		Rg5	1.8	21	177.0	72	12744.5	26.20		26.70		
38	19	Rg5	2	21	198.5	60	11911.5	38.20	18.70	38.75	80.00	19.00s
63	27	GB10(P)	5.5	21	207.2	10	2072.0	63.30	26.60	64.20	80.00	27.10s
21		Rg7	1.2	21	127.9	7	895.0	21.24		21.50		
30		GB10(P)	2.2	21	142.7	7	999.0	30.15		30.65		
47	24	Rg5	3.2	21	223.6	48	10734.5	47.10	23.60	47.90	80.00	24.10s
66	36	GB10(P)	8	21	171.8	6	1031.0	66.48	35.70	67.30	80.00	36.25s
32	21	Rg5	2	21	148.0	62	9177.5	32.10	20.70	32.65	60.00	21.00s
60	40	GB10(P)	3.8	21	215.6	7	1509.5	60.35	39.75	61.15	80.00	40.30s
37	11	Rg5	3.2	21	216.9	52	11276.5	37.15	10.70	37.75	60.00	11.00s
61	19	Rg7	5.5	21	252.4	18	4542.5	61.30	18.57	62.20	80.00	19.00s
24		Rg5	1.8	21	164.1	36	5908.0	23.85		24.30		
56	34	Rg7	3.4	21	229.3	9	2063.5	56.35	33.55	57.10	80.00	34.20s
66	39	Rg7	4.7	21	271.3	15.5	4205.0	66.35	38.47	67.30	80.00	39.30s
24		Rg5	1.6	21	165.3	23	3802.0	23.90		24.30		
33.5		Rg5	3	21	181.0	30.5	5522.0	33.34		33.85		
51	24	Rg7	3.5	21	230.2	4.5	1036.0	51.25	23.60	52.00	80.00	24.10s
38	19	Rg5	2	21	0.0	1	0.0			38.75	80.00	19.00s
41	19	Rg7	2.5	21	184.8	8	1478.0	41.30	18.60	41.80	80.00	19.00s
19		Rg7	1.3	21	106.1	19	2015.5	19.10		19.45		
38	19	Rg5	2.8	21	210.2	50	10510.5	38.15	18.75	38.75	80.00	19.00s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

47	24	Rg5	3	21	254.1	24	6098.5	47.10	23.60	47.90	80.00	24.10s
26.2		Rg5	2	21	81.6	12.5	1019.5	26.35		26.70		
6kt28	17	Rg5	1.8	21	141.8	26	3688.0	27.70	16.90	6kt28	60.00	17.00s
6kt34	17	Rg5	2.6	21	152.9	10	1529.0	33.75	16.45	6kt34	80.00	17.00s
6kt34	22	Rg5	2.4	21	171.7	15.5	2662.0	33.75	21.60	6kt34	80.00	22.00s
6kt25	13	Rg5	1.7	21	126.8	17.5	2218.5	24.75	12.60	6kt25	60.00	13.00s
6kt28	13	Rg5	2.2	21	142.0	12.5	1775.5	27.75	12.50	6kt28	60.00	13.00s
6kt25	10	Rg5	1.9	21	120.1	7.3	877.0	24.80	9.75	6kt25	60.00	10.00s
24		Rg5	1.8	21	162.0	62	10046.5	23.86		24.30		
33.5	12	Rg5	2.5	21	206.5	55	11357.0	33.35	11.71	33.90	60.00	12.00s
27.8	14	Rg5	2.1	21	144.9	85	12317.5	27.86	13.71	28.35	60.00	14.00s
27.8	14	Rg5	2.1	21	142.6	82	11690.0	27.99	13.60	28.35	60.00	14.00s
50	23	Rg5	3.5	21	236.8	25	5919.0	50.00	22.60	50.70	80.00	23.10s
24	12	Rg5	1.5	21	123.3	61.3	7559.0	23.95	11.75	24.30	60.00	12.00s
39		Rg5	3	21	202.5	17.3	3503.5	38.90		39.50		
50	23	Rg5	4	21	240.9	9	2168.5	49.97	22.70	50.70	80.00	23.10s
32	17	Rg5	2	21	183.2	59	10810.0	32.15	16.85	32.65	60.00	17.00s
23		GB12	2.2	21	125.3	16	2004.5	23.10		23.50		
24		Rg5	1.6	21	149.0	67.5	10057.5	23.92		24.30		
27.8	14	Rg5	1.9	21	160.6	85	13649.5	27.85	13.80	28.35	60.00	14.00s
27.8	14	Rg5	2	21	159.8	64	10227.5	27.85	13.85	28.35	60.00	14.00s
56	39	Rg7	2.5	21	0.0	1	0.0			57.10	80.00	39.30s
56	39	Rg7	3	21	198.6	8.3	1648.5	56.00	38.40	57.10	80.00	39.30s
29	16.5	Rg5	1.8	21	151.8	46.5	7057.0	28.85	16.40	29.35	60.00	16.50s
32	14	Rg5	2.4	21	194.3	60	11658.0	32.15	13.85	32.65	60.00	14.00s
33	16.5	Rg5	2	21	173.7	22	3821.5	32.90	16.25	33.40	60.00	16.50s
27.8	14	Rg5	1.9	21	146.0	11.3	1650.0	27.95	13.75	28.35	60.00	14.00s
57	29.5	Rg5	3.5	21	253.6	12	3043.0	56.80	29.20	57.80	80.00	29.65s
25	13	Rg5	1.2	21	154.8	59	9133.5	24.90	12.76	25.30	60.00	13.00s
6kt27		Rg5	2.2	21	160.6	34	5460.5	26.88		6kt27		
30	12	Rg5	2.2	21	182.5	54.3	9910.5	30.05	11.65	30.35	60.00	12.00s
57	24	Rg5	4.5	21	261.6	14.3	3740.5	57.00	23.40	57.80	80.00	24.00s
32	14	Rg5	2.2	21	187.7	28	5256.5	32.22	13.74	32.65	60.00	14.00s
51		GB12	5.5	21	176.7	35	6183.0	51.44		52.00		
61	39	GB12	3.5	21	257.2	6	1543.0	61.44	38.63	62.20	80.00	39.30s
61		GB12	5.5	21	195.8	31.3	6127.5	61.44		62.20		
6kt27		Rg5	2.2	21	164.4	38	6245.5	26.90		6kt27		
46		GB12	5.5	21	155.8	26.3	4096.5	46.59		46.90		
6kt34	17	Rg5	2.6	21	175.1	14.3	2503.5	33.80	16.60	6kt34	80.00	17.00s
26.5		Rg5	1.8	21	185.1	119	22031.5	26.65		26.80		
6kt27		Rg5	1.8	21	165.5	49	8109.0	26.95		6kt27		
32	21	Rg5	2.4	21	0.0	5	0.0			32.40	60.00	21.00s
6kt34	17	Rg5	2.5	21	171.5	45	7718.0	33.83	16.50	6kt34	80.00	17.00s
24		Rg5	1.5	21	156.8	63.3	9922.5	24.15		24.30		
32	21	Rg5	2	21	0.0	3.3	0.0			32.40	60.00	21.00s
6kt34	12	Rg5	3	21	175.3	58	10167.0	33.89	11.51	6kt34	80.00	12.00s
45	23	Rg5	2.5	21	238.4	45	10726.0	45.07	22.54	45.60	80.00	23.10s
55	29.5	Rg5	4.8	21	204.2	15	3063	54.94	29.10	55.75	80.00	29.65s
34	25.5	Rg5	1.8	21	138.8	22	3054.0	34.01	25.10	34.45	60.00	25.60s
27	15	Rg5	1.4	21	134.8	23	3100.5	27.06	18.60	27.35	60.00	19.00s
27	11SW	Rg5	1.6	21	140.0	14	1960.5	26.97	12.30	27.30	60.00	12.50s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	11SW	Rg5	1.8	21	74.2	1.3	96.5	26.90	12.30	27.30	60.00	12.50s
23	13	Rg5	1.4	21	104.3	21	2190.0	23.04	12.79	23.30	60.00	13.00s
27	11SW	Rg5	1.6	21	148.6	20	2971.5	26.95	12.25	27.30	60.00	12.50s
51		Rg7	6	21	225.3	16.3	3673.0	51.35		52.00		
32	16.5	Rg5	2.2	21	144.2	14	2018.5	32.05	16.23	32.40	60.00	16.50s
42.5	33.5	Rg5	1.8	21	0.0	0.5	0.0	42.45	33.24	43.05	80.00	33.70s
23	13	Rg5	1.2	21	130.7	3	392.0	22.95	12.82	23.30	60.00	15.60s
27	11SW	Rg5	1.7	21	154.8	13.3	2059.5	26.90	12.12	27.30	60.00	12.50s
26.2	17	Rg5	1.6	21	147.9	56	8284.5	26.52	16.55	26.80	60.00	17.00s
42.5	33.5	Rg5	1.85	21	191.4	16	3063.0	42.35	33.32	43.05	80.00	33.70s
50	33	Rg5	3.2	21	194.5	8.3	1614.5	50.26	32.67	51.00	80.00	33.20s
52	33	Rg5	3.2	21	221.8	27	5989.5	52.35	32.62	53.00	80.00	33.20s
23	13	Rg5	1.1	21	115.8	8	926.0	22.97	12.82	23.30	60.00	13.00s
23	13	Rg5	1.1	21	123.1	5.3	652.5	22.90	12.65	23.30	60.00	13.00s
38	26	Rg5	1.8	21	183.7	11.3	2076.0	38.20	25.80	38.75	60.00	26.10s
37.5		Rg5	4	21	189.5	38.3	7258.0	37.86		38.30		
24	13	Rg5	1.8	21	129.7	28	3632.5	24.20	12.50	24.50	60.00	13.00s
61		Rg7	6	21	158.2	19.3	3054.0	61.40		62.20		
25	10.5	Rg5	1.8	21	120.5	12	1446.5	25.15	10.30	25.55	60.00	10.50s
38	25	Rg5	1.9	21	212.4	21	4460.5	38.25	25.70	38.75	60.00	26.10s
56		GB12	4	21	213.6	20	4272.5	56.40		57.10		
26		Rg7	3.5	21	182.6	17	3105.0	26.25		26.60		
56	29	GB12	4	21	256.8	6	1541.0	59.35	28.60	57.10	80.00	29.20s
56		GB12	5.5	21	215.2	9	1936.5	56.40		57.10		
45	19	Rg5	3.7	21	253.8	15	3807.0	45.15	18.50	45.90	80.00	19.00s
45	23	Rg5	2.6	21	255.5	21	5365.5	45.06	22.55	45.60	80.00	23.10s
6kt34	17	Rg5	2.5	21	173.1	23	3981.5	33.85	16.55	6kt34	80.00	17.00s
29	16.5	Rg5	2.2	21	162.2	37	6001.5	29.19	15.98	29.35	60.00	16.50s
33		Rg7	4	21	142.4	21.3	3033.5	33.24		33.65		
50	33	Rg5	3.3	21	144.1	11.3	1628.5	50.35	32.55	51.00	80.00	33.20s
25	13	Rg5	1.5	21	103.9	21	2182.5	24.98	12.56	25.30	60.00	13.00s
45	23	Rg5	2.7	21	204.4	5.3	1083.5	44.85	22.60	45.60	80.00	23.10s
6kt34	17	Rg5	2.8	21	161.5	37	5975.5	33.91	16.45	6kt34	80.00	17.00s
41		GB12	4.5	21	218.5	14	3059.5	41.25		41.80		
8kt25	10	Rg5	1.8	21	0.0	1	0.0			8kt25	60.00	10.00s
23	13	Rg5	1.2	21	142.5	48	6841.5	23.07	12.80	23.35	60.00	13.00s
45	23	Rg5	2.8	21	183.2	18	3297.0	45.11	22.54	45.60	80.00	23.10s
8kt25	10	Rg5	1.8	21	125.0	24.3	3038.0	24.92	9.62	6kt25	60.00	10.00s
51		GB12	5.5	21	200.1	10.3	2061.5	51.39		52.00		
25	13	Rg5	1.4	21	303.8	12	3645.5	24.95	12.70	25.30	60.00	13.00s
40	29	Rg5	2	21	176.7	41	7246.5	40.38	28.80	40.80	80.00	29.20s
45	23	Rg5	3	21	177.9	7	1245.5	44.95	22.70	45.60	80.00	23.10s
33	12.5	GB12	2.5	21	336.0	15.3	5140.5	33.20	12.30	33.65	60.00	12.50s
27	17	Rg5	1.8	21	129.3	28	3620.5	27.18	16.65	27.60	60.00	17.00s
25	13	Rg5	1.2	21	152.5	5.3	808.0	24.80	12.60	25.30	60.00	13.00s
23	13	Rg5	1.4	21	127.2	8.3	1055.5	22.95	12.80	23.35	60.00	13.00s
27	17	Rg5	1.6	21	137.9	6.3	869.0	27.20	16.70	27.60	60.00	17.00s
40	17	Rg5	2.5	21	250.4	6	1502.5	39.85	16.66	40.50	80.00	17.00s
40	17	Rg5	2.3	21	252.0	33	8316.5	39.97	16.55	40.50	80.00	17.00s
30	12	Rg5	2.2	21	182.6	40	7304.5	30.05	11.50	30.35	60.00	12.00s
30		Rg5	2.4	21	0.0	6	0.0	30.00		30.35		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

40	17	Rg5	2	21	243.0	17.3	4204.0	39.95	16.55	40.50	80.00	17.00s
30		Rg5	2.5	21	169.2	23	3891.5	29.95		30.40		
61	19	Rg7	5.5	21	210.0	4.3	903.0	61.30	18.50	62.20	80.00	19.00s
33.5	12	Rg5	2.5	21	165.6	33	5466.0	33.44	11.60	33.90	60.00	12.00s
61		GB10(P)	5	21	167.7	9.3	1559.5	61.45		62.20		
33.5	12	Rg5	2.5	21	166.2	33	5483.0	33.38	11.62	33.90	60.00	12.00s
39	26	Rg5	2	21	235.8	5.3	1250.0	39.25	25.80	39.85	60.00	26.15s
51	29	GB10(P)	3	21	138.9	9	1250.0	51.40	28.90	52.00	80.00	29.20s
45	31	Rg5	2.1	21	224.2	9.3	2085.0	45.32	30.67	45.90	80.00	31.20s
51		GB10(P)	6	21	159.2	6	955.0	51.40		52.00		
30	12	RG5	2	21	161.0	16.3	2625.0	29.95	11.54	30.35	60.00	12.00s
24	13	Rg5	1.8	21	131.1	15	1966.0	24.20	12.69	24.55	60.00	13.00s
30	17	Rg5	1.8	21	170.2	12	2042.5			30.65	60.00	17.00s
51	36	Rg5	2.5	21	0.0	0	0.0			52.00	80.00	36.30s
51	36	Rg5	2.5	21	222.3	17.3	3846.0	51.35	35.80	52.00	80.00	36.30s
33.5		Rg5	3	21	178.9	25	4471.5	33.35		33.90		
32	21	Rg5	2	21	0.0	0.3	0.0			32.65	60.00	21.00s
24		Rg5	1.5	21	152.7	23	3512.0	24.05		24.50		
33.5		Rg5	2.7	21	209.8	12	2517.5	33.45		33.90		
30	12	Rg5	2.2	21	179.5	55	9870.0	30.02	11.60	30.35	60.00	12.00s
27	11SW	Rg5	2.2	21	130.2	30	3904.5	26.95	12.20	27.35	60.00	12.50s
68	49	Rg5	3	21	0.0	0	0.0			69.00	80.00	49.00s
8kt31	12	Rg5	2.3	21	177.8	34	6044.0	30.95	11.65	8kt31	60.00	12.00s
36		GB12	5	21	143.1	28	4008.0	36.20		36.70		
68	49	Rg5	4	21	239.4	8.5	2035.0	68.10	48.80	69.00	80.00	49.50s
8kt25	10	Rg5	1.8	21	0.0	5	0.0	24.90	9.70	8kt25	60.00	10.00s
8kt25	10	Rg5	1.8	21	139.1	51	7093.0	24.95	9.60	8kt25	60.00	10.00s
24		Rg5	1.6	21	164.5	39.3	6463.5	24.00		24.30		
27	11SW	Rg5	1.7	21	133.8	8.3	1110.5	26.90	12.20	27.35	60.00	12.50s
31		GB12	4	21	125.4	31.3	3926.0	31.30		31.65		
35	18	Rg5	2	21	189.6	21	3981.5	35.00	17.75	35.45	60.00	18.30s
34	22.1SW	Rg5	1.6	21	154.3	23	3549.5	34.03	22.32	34.45	60.00	22.65s
35	26	Rg5	2	21	83.5	3	250.5	34.85	25.85	35.45	60.00	26.30s
52		Rg5	6	21	175.8	6.3	1107.5	51.95		51.80		
26.5		Rg5	1.8	21	202.0	30	6058.5	26.50		26.80		
41		GB12	5	21	154.1	13.3	2050.0	41.28		41.85		
35	26	Rg5	1.5	21	0.0	2	0.0			35.45	60.00	26.30s
35	26	Rg5	1.8	21	153.4	17.3	2653.5	34.94	26.00	35.45	60.00	26.30s
34	22.1SW	Rg5	1.7	21	156.8	13.3	2085.5	33.95	22.32	34.45	60.00	22.65s
26.5		Rg5	1.6	21	184.2	24.3	4475.0	26.37		26.80		
46	19	GB12	3.1	21	124.3	2	248.5	46.20	18.55	46.90	80.00	19.00s
34	22.1SW	Rg5	1.4	21	173.9	18.3	3181.5	33.80	22.40	34.45	60.00	22.65s
51.6	24.6	Rg5	3.9	21	233.6	5	1168.0	51.80	24.10	52.60	80.00	24.70s
46	19	GB12	4.5	21	163.0	9.3	1516.0	46.20	18.40	46.90	80.00	19.00s
35	26	Rg5	1.9	21	0.0	0.3	0.0			35.45	60.00	26.30s
34	22.1SW	Rg5	1.8	21	145.6	28	4077.0	34.00	22.30	34.45	60.00	22.65s
35	26	Rg5	2	21	140.1	50	7005.5	35.05	26.05	35.45	60.00	26.30s
27	12SW	Rg5	2	21	112.5	62	6975.0	27.00	12.35	27.30	60.00	12.50s
57	29.5	Rg5	2.8	21	0.0	1	0.0			57.75	80.00	29.70s
33	19	Rg7	1.8	21	196.9	10.3	2028.5	33.23	18.79	33.70	60.00	19.00s
51		Rg7	5.5	21	232.6	14.3	3326.0	51.22		52.00		



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

57	29.5	Rg5	3.5	21	186.5	16.3	3039.5	56.91	29.14	57.75	80.00	29.70s
34	22.1SW	Rg5	1.7	21	160.8	16	2573.5	33.92	22.37	34.45	60.00	22.65s
39		Rg7	3	21	103.9	11.3	1174.0	39.20		39.80		
17		Rg7	1.2	21	95.7	16	1530.5	17.19		17.50		
31	19	Rg7	2	21	98.6	10.4	1025.5	31.30	18.80	31.70	60.00	19.00s
34	25.5	Rg5	1.6	21	146.0	14	2044.5	33.85	25.40	34.45	60.00	25.50s
42.5	33.5	Rg5	1.9	21	152.8	13	1986.5	42.35	33.25	43.05	80.00	33.70s
27	12SW	Rg5	1.3	21	182.0	16.3	2966.0	26.85	12.35	27.35	60.00	12.50s
41	14	Rg7	2.7	21	232.2	18	4179.5	41.25	13.65	41.85	80.00	14.00s
48.5	39	Rg5	1.75	21	200.1	10.3	2061.0	48.60	38.80	46.60	80.00	27.20s
30	12	Rg5	2	21	179.9	55.3	9951.0	29.90	11.75	30.35	60.00	12.00s
24	12	Rg5	1.6	21	119.4	18.3	2185.0	23.90	11.80	24.30	60.00	12.00s
26.5		Rg5	1.8	21	186.9	51	9533.0	26.40		26.80		
41	16.5	Rg5	2.6	21	187.8	16	3004.5	40.85	15.95	41.55	80.00	16.50s
41	14	Rg7	4.5	21	147.5	7	1032.5	41.20	13.40	41.85	80.00	14.00s
56	24	Rg7	4	21	195.2	10.3	2010.5	56.20	23.42	57.00	80.00	24.00s
24	12	Rg5	1.7	20	129.7	49.3	6392.5	23.85	11.95	24.30	60.00	12.00s
31		Rg7	3	21	172.3	19.3	3325.5	31.20		31.65		
32	21	Rg5	2.2	21	0.0	4.3	0.0	32.20	20.60	32.65	60.00	21.00s
28		Rg5	2	21	143.8	6.3	906.0	27.85		28.35		
32	21	Rg5	2	21	0.0	4.3	0.0	32.20	20.60	32.65	60.00	21.00s
66	19	Rg7	6.5	21	251.5	8	2012.0	66.25	18.48	67.20	80.00	19.00s
41	29	Rg7	2.1	21	188.4	27.3	5144.5	41.25	28.70	41.80	80.00	29.15s
23		Rg5	2.5	21	127.3	8	1018.5	22.85		23.30		
30		Rg5	2.4	21	132.9	20	2657.5	29.95		30.35		
25		Rg5	2	21	131.7	26.3	3464.5	24.85		25.30		
31	14	Rg7	2	21	154.4	13.3	2053.0	31.10	13.70	31.60	60.00	14.00s
29		Rg5	2.5	21	167.1	12.3	2055.5	28.85		29.40		
24	12	Rg5	1.4	21	77.5	1	77.5	23.90	11.75	24.30	60.00	12.00s
24		Rg5	1.5	21	170.5	77	13129.0	23.85		24.30		
32	17.1SW	Rg5	2.4	21	130.2	23	2995.0	31.85	17.25	32.40	60.00	17.60s
38	26	Rg5	2	21	193.9	52	10082.5	37.95	25.85	38.50	60.00	26.30s
24	12	Rg5	1.4	21	133.4	59	7872.5	23.85	11.65	24.30	60.00	12.00s
30		Rg5	2.4	21	0.0	6.3	0.0	30.00		30.40		
30		CuZn20Si	2.2	21	0.0	3.3	0.0	30.00		30.70		
30	12	Rg5	2.2	21	178.6	58	10357.5	29.80	11.70	30.35	60.00	12.00s
43	21	Rg5	3	21	192.2	31	5958.0	42.80	20.90	43.55	80.00	21.25s
33	21	Rg5	1.75	21	160.9	17.3	2783.5	32.90	20.85	33.40	60.00	21.25s
30		CuZn20Si	2.2	21	0.0	3.3	0.0	30.00		30.70		
49	18	Rg5	3.7	21	0.0	1.5	0.0			49.65	80.00	18.20s
33	21	Rg5	2	21	149.7	15.3	2290.0	32.83	21.00	33.40	60.00	21.25s
32	17	Rg5	1.9	21	151.0	12.3	1857.0	31.85	16.80	32.40	60.00	17.00s
24	12	Rg5	1	21	163.1	23.3	3799.5	23.92	11.89	24.30	60.00	12.00s
30	12	Rg5	1.9	21	175.3	45	7889.5	29.85	11.80	30.35	60.00	12.00s
27	17	Rg5	1.6	21	133.0	26	3459.0	26.85	16.70	27.35	60.00	17.15s
55	14	Rg5	5.4	21	165.6	12	1987.5	54.90	13.62	55.80	80.00	14.10s
24		Rg5	1.4	21	159.4	13	2072.5	23.88		24.30		
26	10	Rg5	1.6	21	124.7	13	1621.5	25.85	9.75	26.30	60.00	10.00s
33	17.1SW	Rg5	1.9	21	165.5	7	1158.5	32.90	17.25	33.45	60.00	17.60s
30	20	Rg5	1.46	21	133.3	13	1733.5	29.80	19.62	30.40	60.00	20.20s
49	18	Rg5	4.5	21	160.2	7	1121.5	48.95	17.70	49.65	80.00	18.20s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

57	35	Rg5	3	21	255.4	4	1021.5	57.05	34.90	57.85	80.00	35.30s
39	22.1SW	Rg5	2.5	21	0.0	0	0.0			39.50	80.00	22.65s
27	19	Rg5	1.5	21	118.8	86	10217.0	27.00	18.75	27.35	60.00	19.00s
30	12	Rg5	1.8	21	280.4	23	6449.0	29.90	11.70	30.35	60.00	12.00s
45	23	Rg5	2.5	21	249.3	41	10221.0	44.80	22.70	45.60	80.00	23.10s
27	14	Rg5	1.6	21	151.7	33.3	5051.0	27.00	13.75	27.35	60.00	14.00s
27	18	Rg5	1.5	21	114.9	25	2872.5	27.00	17.80	27.35	60.00	18.15s
56		Rg7	6	21	237.2	9.3	2206.0	56.25		57.00		
39	22.1SW	Rg5	2.5	21	179.4	17	3050.0	38.91	22.39	39.50	80.00	22.65s
25	13	Rg5	1.1	21	158.9	25.3	4020.0	24.90	12.78	25.30	60.00	13.00s
31		Rg7	2.5	21	181.8	18	3272.0	31.17		31.65		
41		Rg7	5	21	189.4	18	3410.0	41.10		41.75		
61	44	Rg7	2.7	21	255.7	12	3068.0	61.30	43.60	62.20	80.00	44.40s
27	12SW	Rg5	1.5	21	178.2	62	11050.0	26.93	12.38	27.35	60.00	12.50s
45	23	Rg5	2.8	21	203.3	14	2846.0	44.90	22.45	45.60	80.00	23.10s
51	29	Rg7	3.7	21	193.4	8	1547.0	51.30	28.56	52.00	80.00	29.15s
51	29	Rg7	3	21	260.5	6	1563.0	51.25	28.82	52.00	80.00	29.15s
26.5		Rg5	2.2	21	0.0	7	0.0	26.40		26.85		
27	19	Rg5	1.4	21	110.0	20	2200.0	26.80	18.80	27.35	60.00	19.00s
26.5		Rg5	1.6	21	180.5	25.5	4601.5	26.45		26.85		
31	17	Rg5	1.5	21	175.6	18.5	3248.5	30.95	16.98	31.40	60.00	17.15s
27	19	Rg5	1.8	21	114.9	29	3332.5	26.87	18.95	27.35	60.00	19.00s
27	12.1SW	Rg5	2	21	0.0	0	0.0			27.35	60.00	12.50s
28	17	Rg5	1.4	21	134.7	12	1616.5	27.90	16.90	28.35	60.00	17.15s
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	135.3	74	10014.0	26.95	12.35	27.35	60.00	12.50s
64		Rg5	10	21	206.0	5	1030.0	63.95		65.00		
40	20.5	Rg5	2.2	21	209.7	9.5	1992.5	40.00	20.31	40.55	80.00	20.60s
34	21	Rg5	2	21	164.9	14.5	2390.5	33.95	20.99	34.45	60.00	21.20s
25	13	Rg5	1.3	21	148.9	27	4020.5	24.95	12.81	25.30	60.00	13.00s
25	14	Rg5	1.4	21	156.9	20	3138.0	24.85	13.90	25.30	60.00	14.15s
32	16.5	Rg5	1.6	21	111.0	2.5	277.5	31.87	16.42	32.40	60.00	16.50s
34	21	Rg5	1.8	21	174.0	17	2957.5	33.94	20.97	34.45	60.00	21.20s
61		Rg7	9	21	173.0	19.5	3373.0	61.30		62.15		
32	16.5	Rg5	2	21	158.4	16.5	2613.5	31.83	16.40	32.40	60.00	16.50s
27	12SW	Rg5	1.8	21	141.7	25	3542.0	26.90	12.30	27.35	60.00	12.50s
31	14	GB12	2.2	21	176.2	23	4051.5	31.25	13.80	31.70	60.00	14.00s
21		GB12	2.2	21	92.9	27	2508.5	21.10		21.50		
66	24	GB12	7.7	21	182.2	5.5	1002.0	66.30	23.50	67.25	80.00	24.10s
51	24	GB12	4.7	21	213.4	9.5	2027.5	51.40	23.60	52.00	80.00	24.10s
57	24	Rg5	4.5	21	235.2	13	3057.5	56.90	23.45	57.80	80.00	24.10s
30	12	Rg5	2.2	21	185.8	46	8549.0	29.85	11.70	30.35	60.00	12.00s
35	18	Rg5	2.8	21	154.3	57	8797.0	34.85	17.70	35.45	60.00	18.00s
21		GB12	2	21	159.0	22	3497.5	21.20		21.50		
23	13	Rg5	1.2	21	134.5	37	4976.5	22.95	12.85	23.30	60.00	13.00s
33	16.5	Rg5	2	21	182.1	37	6737.5	32.88	16.10	33.40	60.00	16.50s
66	29	GB12	6.5	21	231.3	2	462.5	66.20	28.70	67.25	80.00	29.15s
36	14	GB12	2.3	21	208.3	10	2083.0	36.12	13.70	36.70	60.00	14.00s
30	12	Rg5	1.8	21	162.5	9	1462.5	29.85	11.85	30.35	60.00	12.00s
66	29	GB12	5.5	21	276.8	13	3599.0	66.35	28.60	67.25	80.00	28.15s
25		GB10(P)	2.5	21	110.9	9	998.5	25.20		25.60		
61	34	GB12	4	21	249.8	8	1998.0	61.30	33.65	62.20	80.00	34.25s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	12.1SW	Rg5	1.6	21	155.0	32	4960.0	26.95	12.35	27.35	60.00	12.50s
51	29	GB12	3.5	21	249.8	8	1998.5	51.25	28.70	52.00	80.00	29.20s
66		Rg5	11	21	0.0	6.5	0.0	66.30		67.30		
27	12.1SW	Rg5	1.7	21	134.5	33	4438.5	26.95	12.35	27.35	60.00	12.50s
22	10.1SW	Rg5	1.27	21	91.1	11	1002.5	21.90	10.15	22.25	60.00	10.45s
39	22.1SW	Rg5	2.1	21	210.1	15.5	3256.0	38.90	39.50	39.50	80.00	22.65s
51		GB12	5	21	173.1	11.5	1990.5	51.30		52.00		
56	24	GB12	5.7	21	214.9	9.5	2041.5	56.30	23.50	57.00	80.00	24.10s
31		GB10(P)	4	21	181.4	5.5	997.5	31.30		31.70		
20		Rg5	0.9	21	137.5	11	1512.5	20.13		20.50		
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	131.7	39	5136.0	26.94	12.36	27.35	60.00	12.50s
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	138.7	39	5407.5	26.92	12.30	27.35	60.00	12.50s
30	12	Rg5	1.8	21	181.4	47	8526.0	29.92	11.84	30.40	60.00	12.00s
33.5	12	Rg5	2.4	21	170.8	74.5	12725.0	33.31	11.81	33.90	60.00	12.00s
57	29.5	Rg5	3.5	21	182.0	16	2911.5	56.96	29.21	57.80	80.00	29.70s
24		Rg5	1.5	21	163.8	52	8515.0	23.88		24.30		
30		Rg5	1.8	21	0.0	6.3	0.0	30.00		30.40		
24		Rg5	1.6	21	164.2	47.3	7768.5	23.82		24.30		
27	12SW	Rg5	2	21	124.4	13.3	1654.0	27.00	12.20	27.35	60.00	12.50s
27	12SW	Rg5	1.7	21	148.4	13.3	1973.5	27.00	12.20	27.35	60.00	12.50s
57	24	Rg5	3.5	21	261.8	8	2094.5	56.80	23.40	57.80	80.00	24.00s
30	12	Rg5	1.9	21	181.0	52	9409.5	29.90	11.70	30.40	60.00	12.00s
27	19	Rg5	1.5	21	95.8	45	4311.0	26.80	18.90	27.35	60.00	19.00s
26	14	Rg7	1.2	21	147.4	22	3242.5	26.10	13.75	26.55	60.00	14.00s
27	12.1SW	Rg5	2	21	140.4	17.3	2429.0	26.91	12.35	27.35	60.00	12.50s
57	35	Rg5	2.9	21	253.5	4	1014.0	57.04	34.78	57.80	80.00	35.35s
65	48	Rg5	3	21	224.7	4.5	1011.0	64.95	47.85	66.00	80.00	48.55s
41	14	Rg7	3	21	191.9	38	7292.0	41.20	13.43	41.80	80.00	14.00s
39	22.1SW	Rg5	2.5	21	138.5	7.3	1011.0	38.95	22.23	39.50	80.00	22.65s
24	12.1SW	Rg5	1.6	21	151.0	22	3321.0	26.95	12.37	27.35	60.00	12.50s
31	14	Rg5	1.9	21	180.3	8	1442.5	30.95	13.97	31.45	60.00	14.10s
48	27.1SW	Rg5	2.8	21	143.3	5	716.5	48.05	27.25	48.70	80.00	27.75s
27	11	Rg5	1.8	21	158.7	6.3	1000.0	26.95	10.60	27.35	60.00	11.00s
33	17.1SW	Rg5	2.1	21	124.3	8	994.0	32.98	17.25	33.45	60.00	17.55s
27	18	Rg5	1.1	21	149.3	10	1492.5	26.80	17.96	27.35	60.00	18.15s
26	10	Rg5	1.6	21	164.0	9.3	1525.5	25.85	9.65	26.30	60.00	10.00s
50		Rg5	4	21	205.2	5	1026.0	50.10		50.80		
32	17.1SW	Rg5	1.7	21	146.9	17	2497.0	31.94	17.26	32.40	60.00	17.60s
22	10.1SW	Rg5	1.3	21	91.3	11	1004.0	22.00	10.38	22.25	60.00	10.45s
27	19	Rg5	1.3	21	96.6	8.5	821.5	26.80	19.00	27.35	60.00	19.00s
41	14	Rg7	3.2	21	177.6	6	1065.5	41.12	13.50	41.80	80.00	14.00s
32	16.5	Rg5	2.2	21	148.0	20.5	3033.5	31.80	16.20	32.40	60.00	16.50s
28	12.1SW	Rg5	1.8	21	0.0	0.5	0.0	28.00	12.26	28.40	60.00	12.50s
57	24	Rg5	6.6	21	232.5	8	1860.0	56.90	23.50	57.85	80.00	24.00s
27	12.1SW	Rg5	1.9	21	105.0	3	315.0	26.80	12.13	27.35	60.00	12.50s
27		Rg5	2.3	21	121.6	8.5	1034.0	26.80		27.35		
33.5	12	Rg5	2.3	21	166.2	43	7148.0	33.30	11.50	33.90	60.00	12.00s
56		Rg5	9	21	0.0	7	0.0	56.00		57.00		
32	17	Rg5	2.1	21	149.1	7	1043.5	31.85	16.90	32.40	60.00	17.10s
28	12.1SW	Rg5	2	21	137.1	7.3	1000.5	27.90	12.30	28.40	60.00	12.50s
34	25.5	Rg5	1.6	21	137.9	7.3	1007.0	33.85	25.40	34.45	60.00	25.60s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

30	12	Rg5	1.9	21	175.6	72	12646.5	29.85	11.80	30.40	60.00	12.00s
24		Rg5	1.7	21	158.3	22	3482.0	23.85		24.30		
40	17	Rg5	2.5	21	289.3	35	10125.0	39.85	16.85	40.55	80.00	17.00s
32	21	Rg5	1.9	21	128.3	6.3	808.5	31.80	20.75	32.40	60.00	21.20s
39	27	Rg5	2.2	21	140.8	7	985.5	38.95	27.05	39.50	80.00	27.30s
32	21	Rg5	1.8	21	162.5	44	7148.5	31.90	20.90	32.40	60.00	21.20s
25	14	Rg5	1.2	21	146.9	14.3	2100.5	24.95	13.98	25.30	60.00	14.10s
30	12	Rg5	1.8	21	186.6	42	7835.5	29.96	11.62	30.40	60.00	12.00s
51		GB12	6	21	182.6	22.3	4071.0	51.30		52.00		
40	26	Rg5	2.3	21	183.3	19	3482.5	40.70	25.90	40.55	80.00	26.30s
50	19	Rg5	4.5	21	140.3	7.3	1024.0	49.89	18.61	50.77	80.00	19.10s
61	39	GB12	3.5	21	262.0	8	2096.0	61.37	38.58	62.20	80.00	39.30s
36		Rg5	4	21	184.1	8.3	1528.0	35.95		36.70		
61		GB12	5.5	21	277.5	8	2220.0	61.20		62.20		
21		Rg5	1.5	21	139.9	7.3	1021.5	20.90		21.25		
27	14	Rg5	1.5	21	178.4	13.3	2372.5	26.95	13.80	27.35	60.00	14.10s
41		GB12	4	21	210.5	19.3	4062.0	41.70		41.80		
49	18	Rg5	3	21	219.6	4.5	988.0	48.95	17.78	49.70	80.00	18.20s
39	23	Rg5	1.8	21	218.1	23	5016.5	38.92	22.86	39.50	80.00	23.20s
33	17	Rg5	1.8	21	185.1	14.3	2647.0	32.90	16.90	33.40	60.00	17.25s
26.9	17.1SW	Rg5	1.4	21	106.6	20.3	2164.0	26.80	17.30	27.25	60.00	17.55s
33	17	Rg5	1.8	21	148.5	3	445.5	32.80	16.60	33.40	60.00	17.10s
42.5	33.5	Rg5	1.8	21	166.1	18	2990.0	42.30	33.00	43.05	80.00	33.70s
65	35	Rg5	5	21	207.0	5	1035.0	65.00	34.60	66.00	80.00	35.40s
37		Rg7	3.5	21	181.5	23	4175.5	37.15		37.70		
28		Rg5	2.2	21	152.3	13.3	2026.0	28.00		28.35		
34	21	Rg5	1.8	21	185.9	36.3	6746.5	33.80	20.80	34.45	60.00	21.20s
21		Rg7	1.4	21	133.9	15	2008.5	21.15		21.50		
36	19	Rg7	2.5	21	149.3	12	1792.0	36.20	18.70	36.70	60.00	19.00s
31	17	Rg5	2	21	139.6	16	2233.5	31.05	16.70	31.40	60.00	17.10s
26.5		Rg5	1.6	21	0.0	6	0.0	26.50		26.80		
46		Rg7	4.5	21	183.0	22.3	4082.0	46.20		46.85		
57	24	Rg5	3.5	21	266.9	22	5872.0	56.95	23.55	57.80	80.00	24.10s
27	19	Rg5	1.3	21	111.0	9	999.0	26.85	18.90	27.35	60.00	19.00s
41	24	Rg7	2.6	21	176.5	11.3	1994.0	41.20	23.70	41.80	80.00	24.10s
34	21	Rg5	1.7	21	186.6	19.3	3601.5	33.85	21.10	34.45	60.00	21.20s
39	26	Rg5	2.3	21	176.3	32.3	5695.0	38.95	25.80	39.50	80.00	26.20s
66		Rg7	8	21	217.2	9.3	2020.0	66.25		67.20		
27	19	Rg5	1.5	21	102.0	27.3	2784.0	26.95	18.70	27.35	60.00	19.00s
63	34	Rg5	3.5	21	247.9	4.3	1066.0	62.85	33.60	63.90	80.00	34.30s
27	12.1SW	Rg5	1.5	21	209.8	42.3	8874.0	27.15	12.38	27.60	60.00	12.50s
25	14	Rg5	1.4	21	126.6	23	2912.0	24.85	13.80	25.30	60.00	14.00s
60		Rg5	6.5	21	171.2	10	1712.0	59.80		60.80		
40	21	Rg5	2.4	21	236.8	11	2604.5	39.95	20.85	40.55	80.00	21.20s
61	38	Rg5	3	21	234.1	4.3	1006.5	60.95	37.65	61.90	80.00	38.50s
39	26	Rg5	2.3	21	212.2	4.3	912.5	39.10	25.80	39.50	80.00	26.20s
64	50	Rg5	2.4	21	209.6	5	1048.0	64.20	49.80	65.20	80.00	50.50s
27	19	Rg5	1.7	21	146.9	17.3	2541.0	26.93	18.85	27.35	60.00	19.00s
27	12SW	Rg5	2	21	155.1	29	4497.0	26.90	12.36	27.35	60.00	12.50s
27	12SW	Rg5	1.8	21	176.9	24	4244.5	26.89	12.38	27.35	60.00	12.50s
6kt34	17	Rg5	2.3	21	187.9	22	4133.0	33.70	16.70	6kt34	80.00	17.00s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

61	33	LB2	4.2	21	248.8	4.3	1070.0	61.20	32.50	62.15	80.00	33.20s
27	19	Rg5	1.8	21	122.5	8.3	1017.0	26.90	18.71	27.35	60.00	19.00s
52		Rg5	4	21	0.0	4	0.0	51.86		53.00		
30	17	Rg5	2	21	172.4	8	1379.5	30.15	16.80	30.65	60.00	17.00s
27	12.1SW	Rg5	2.1	21	153.1	24	3674.0	27.20	12.31	27.60	60.00	12.50s
27	12SW	Rg5	2	21	116.3	50	5816.5	26.95	12.28	27.35	60.00	12.50s
27	12SW	Rg5	2	21	136.4	56.3	7679.0	26.97	12.32	27.35	60.00	12.50s
34	25.5	Rg5	1.6	21	134.5	14.3	1924.0	33.85	25.36	34.45	60.00	25.60s
56		GB12	4	21	214.6	18.3	3928.0	56.35		57.10		
66		Rg5	10	21	0.0	6.3	0.0			67.00		
32	17.1SW	Rg5	2.5	21	0.0	6.3	0.0	32.15	17.20	32.40	60.00	17.60s
49	18	CuZn20Si	4	21	133.7	7.3	976.0	49.20	17.72	50.10	80.00	18.10s
24	13	Rg5	1.6	21	127.8	14	1788.5	24.18	12.76	24.50	60.00	13.00s
27	12.1SW	Rg5	1.8	21	139.2	65	9045.5	27.22	12.36	27.60	60.00	12.50s
32	17.1SW	Rg5	1.9	21	168.2	6.3	1059.5	32.20	17.35	32.70	60.00	17.55s
32	17.1SW	Rg5	1.9	21	168.0	4.3	722.5	32.25	17.30	32.70	60.00	17.55s
49	29	CuZn20Si	7	21	101.5	9.3	944.0	49.20	28.80	50.10	80.00	29.20s
57		Rg5	8.5	21	147.3	4	589.0	56.90		57.80		
45	31	Rg5	2.6	21	151.4	4	605.5	45.20	30.70	45.90	80.00	31.20s
6kt28	13	Rg5	1.8	21	165.4	17.3	2862.0	27.75	12.80	6kt28	60.00	13.00s
51	27	CuZn20Si	7	21	113.3	8.3	940.5	51.10	26.80	51.80	80.00	27.30s
6kt25	13	Rg5	1.8	21	129.2	21.3	2751.0	24.70	12.70	6kt25	60.00	13.00s
22	10.1SW	Rg5	1.3	21	106.9	7.3	780.5	22.25	10.25	22.55	60.00	10.45s
51	33	Rg5	2.5	21	188.5	5	942.5	51.00	32.70	51.80	80.00	33.35s
51	19	Rg7	3	21	270.9	11.2	3034.5	51.30	18.50	52.00	80.00	19.00s
61	29	Rg7	3.7	21	363.1	8.3	3013.5	61.20	28.60	62.20	80.00	29.20s
6kt34	22	Rg5	2.1	21	63.1	16	1009.0	33.75	21.60	74.00	80.00	36.70s
51		Rg7	5	21	237.9	13	3092.5	51.20		52.00		
22	11	Rg5	1.4	21	121.7	3.3	401.5	22.15	10.80	22.50	60.00	11.00s
45	31	Rg5	2.2	21	138.0	4	552.0	45.15	30.70	45.90	80.00	31.20s
6kt28	17	Rg5	2	21	0.0	1	0.0			6kt28	60.00	17.00s
51	27	Rg5	3.2	21	233.5	3.3	770.5	51.05	26.80	51.80	80.00	27.30s
51	36	Rg5	2	21	169.5	2	339.0	51.25	35.60	52.00	80.00	36.30s
28	13	Rg5	1.8	21	128.1	8	1024.5	27.95	12.80	28.40	60.00	13.00s
6kt25	10	Rg5	1.8	21	132.3	9	1191.0	24.75	9.70	6kt25	60.00	10.00s
28	10	Rg5	2	21	154.3	9	1389.0	27.90	9.75	28.40	60.00	10.00s
43		Rg5	4.2	21	167.6	6	1005.5	42.90		43.60		
6kt34	22	Rg5	2.2	21	248.9	12	2986.5	33.75	21.60	6kt34	80.00	22.00s
41	22	Rg5	2.6	21	171.2	6	1027.0	40.90	21.70	41.60	80.00	22.10s
26		Rg5	2	21	147.4	7	1031.5	26.00		26.40		
67	48	Rg5	4.3	21	224.0	6.3	1411.5	67.15	48.10	68.00	80.00	48.60s
28		Rg5	2	21	181.0	7.3	1321.0	27.95		28.40		
51	36	Rg5	2.4	21	218.7	3	656.0	51.25	35.80	52.00	80.00	36.30s
36	19	Rg5	2.1	21	194.7	5	973.5	35.95	18.70	36.50	60.00	19.00s
6kt28	17	Rg5	1.6	21	157.4	31	4880.5	27.70	16.60	6kt28	60.00	17.00s
32	17.1SW	Rg5	2	21	150.9	19.3	2912.0	31.95	17.32	32.40	60.00	17.55s
27	12.1SW	Rg5	2	21	121.4	16	1943.0	27.05	12.25	27.60	60.00	12.50s
50	29	Rg5	3	21	221.1	10	2210.5	49.95	28.70	117.90	80.00	37.30s
60	35	Rg5	3.7	21	189.5	2	379.0	60.05	34.60	60.90	80.00	35.40s
61	29	GB12	6	21	190.6	11	2096.5	61.25	28.60	62.20	80.00	29.20s
39	22.1SW	Rg5	2.3	21	0.0	1	0.0			39.55	80.00	22.65s



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

57	35	Rg5	2.6	21	277.9	5	1389.5	57.03	34.70	57.80	80.00	35.40s
49	24	Rg5	3	21	232.3	4.3	999.0	48.95	23.70	49.70	80.00	24.15s
39	23	Rg5	1.9	21	249.9	4	999.5	38.90	22.70	39.55	80.00	23.20s
61	39	Rg5	2.5	21	330.8	12	3969.5	61.30	38.60	62.10	80.00	39.30s
24		Rg5	2	21	165.0	26	4290.0	23.95		24.30		
39		Rg5	3	21	222.8	27	6015.0	39.00		39.55	80.00	23.20s
65	48	Rg5	3	21	268.4	6	1610.5	65.10	47.70	66.00	80.00	48.60s
61	24	GB12	5	21	259.5	8.3	2154.0	61.30	23.50	62.10	80.00	24.10s
17		GB12	1.4	21	99.7	31	3091.0	17.17		17.45		
39	22.1SW	Rg5	2.5	21	198.5	3.3	655.0	39.00	22.34	39.55	80.00	22.65s
41	19	GB12	2.5	21	205.8	10	2057.5	41.15	18.60	41.80	80.00	19.00s
26		GB12	2.5	21	158.2	13	2056.5	26.20		26.55		
60	35	Rg5	4.2	21	208.1	6	1248.5	60.05	34.80	60.90	80.00	35.40s
21		Rg7	1.3	21	150.0	10.3	1544.5	21.13		21.50		
46		GB12	4.5	21	222.1	9	1998.5	46.20		46.85		
24		Rg5	1.3	21	177.5	25	4436.5	23.90		24.30		
61		Rg5	6.5	21	0.0	3	0.0	61.10		62.00		
23		Rg7	1.8	21	148.2	13	1926.5	23.15		23.50		
51	39	Rg7	2	21	227.8	9	2050.0	51.25	38.60	52.00	80.00	39.30s
61	24	Rg7	4.5	21	115.4	18.3	2111.5	61.30	23.50	62.10	80.00	24.10s
56		Rg7	6	21	267.7	1.3	348.0	56.25		57.00		
51	29	Rg7	3	21	252.1	8	2017.0	51.20	28.50	52.00	80.00	29.15s
27	12SW	Rg5	1.2	21	214.9	17.3	3718.5	27.00	12.30	27.35	60.00	12.50s
27	12SW	Rg5	1.2	21	193.0	31.3	6042.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.50s
21		Rg7	1.2	21	172.8	17.3	2990.0	21.15		21.50		
38		Rg7	3.5	21	214.9	9.3	1998.5	38.15		38.75		
66		Rg7	7.3	21	264.4	20.3	5367.0	66.28		67.20		
51	19	Rg7	4.4	21	227.3	9	2046.0	51.20	18.50	52.00	80.00	19.00s
46		Rg7	4.8	21	228.4	22.3	5092.5	46.15		46.85		
27	12SW	Rg5	2	21	0.0	1	0.0			27.35	60.00	12.50s
27	12SW	Rg5	1.4	21	169.8	41	6960.5	26.90	12.38	27.35	60.00	12.50s
61	49	Rg7	3.5	21	171.3	14	2398.0	61.30	48.85	62.15	80.00	48.45s
41	19	Rg7	2.5	21	216.6	24	5197.5	41.17	18.57	41.80	80.00	19.00s
27	12SW	Rg5	1.4	21	173.1	26	4499.5	26.80	12.35	27.35	60.00	12.50s
31		Rg7	3	21	186.7	17.3	3230.0	31.15		31.65		
51	24	Rg7	4	21	324.4	6.3	2043.5	51.22	23.62	52.00	80.00	24.10s
56		Rg7	5.8	21	262.7	1.3	341.5	56.13		57.00		
61	49	Rg7	3.1	21	198.2	6	1189.0	61.30	48.97	62.15	80.00	49.45s
27	12SW	Rg5	2	21	333.2	12	3998.0			27.35	60.00	12.50s
24		Rg5	1.4	21	183.7	37.3	6851.0	23.86		24.30		
61		Rg7	6.5	21	227.1	9	2044.0	61.30		62.15		
56		Rg7	6	21	243.7	18	4386.5	56.30		57.20		
31		Rg7	3	21	166.9	13	2169.5	31.20		31.65		
36	24	Rg7	2	21	209.1	3.3	690.0	36.15	23.80	36.70	60.00	24.10s
26	14	Rg7	1	21	155.2	12	1862.0	26.18	13.70	26.55	60.00	14.00s
36	24	Rg7	2	21	158.4	9	1426.0	36.20	23.70	36.70	60.00	24.10s
26		Rg7	3	21	161.9	14	2266.0	26.20		26.55		
45	23	Rg5	2.6	21	253.0	41.3	10448.0	44.95	22.65	45.60	80.00	23.10s
41		Rg7	5.5	21	0.0	6	0.0	41.20		41.75		
30	12	Rg5	2.2	21	185.2	79	14629.5	29.90	11.70	30.40	60.00	12.00s
30		CuZn20Si	2.5	21	0.0	0	0.0			30.60		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

41		Rg7	4	21	157.3	13	2045.5	41.25		41.75		
51		Rg7	5	21	201.6	10	2016.0	51.25		52.00		
30		CuZn20Si	3.5	21	0.0	3.3	0.0			30.60		
46	34	Rg7	1.8	21	211.4	13	2748.0	46.20	33.85	46.90	80.00	34.30s
24		Rg5	1.5	21	167.7	25	4193.5	23.80		24.30		
30		Rg5	2.4	21	0.0	6	0.0	30.00		30.50		
61		Rg7	6	21	0.0	5	0.0	61.07		62.00		
55	29.5	Rg5	2.5	21	248.8	12.3	3060.0	54.80	29.10	55.75	80.00	29.70s
57	29.5	Rg5	2.8	21	252.8	12	3034.0	56.90	29.20	57.80	80.00	29.70s
30	14	Rg5	1.8	21	0.0	0	0.0			30.40	60.00	14.20s
61		Rg7	6	21	218.1	9.3	2028.5	61.15		62.00		
19		Rg7	1.3	21	127.4	12	1529.0	19.10		19.45		
30		Rg5	2.4	21	0.0	7	0.0	30.00		31.65		
32	17.1SW	Rg5	1.6	21	197.8	12.3	2433.0	31.85	17.30	32.40	60.00	17.55s
39	22.1SW	Rg5	2.2	21	158.3	5.3	839.0	38.82	22.25	39.55	80.00	22.65s
56	39	Rg7	2.2	21	293.2	7	2052.5	56.30	38.80	57.10	80.00	39.30s
41		Rg7	4.2	21	199.9	25.3	5056.3	41.30		41.80		
29		Rg7	2	21	184.2	8.3	1529.0	29.20		29.60		
39		Rg7	4	21	193.9	15.3	2966.5	39.20		39.75		
56	29	Rg7	4	21	264.3	8	2114.0	56.35	28.45	57.10	80.00	29.15s
33	19	Rg7	2	21	165.1	13	2146.0	33.15	18.60	33.70	60.00	19.00s
30	14	Rg5		5	0.0	3.2	0.0			30.40	60.00	14.20s
66		Rg7	8	21	287.4	7	2011.5	66.23		67.20		
61	29	Rg7	4.5	21	247.5	8.3	2054.5	61.20	28.50	62.15	80.00	29.15s
27	19	Rg5	1.8	21	121.1	33	3997.5	26.90	18.85	27.35	60.00	19.00s
33	10	Rg5	2.4	21	195.1	15.3	2984.5	32.90	9.60	33.40	60.00	10.00s
30	12	Rg5	1.8	21	178.8	60	10729.5	29.90	11.60	30.40	60.00	12.00s
45	23	Rg5	2.5	21	265.6	35	9295.0	44.95	22.70	45.60	80.00	23.10s
47	29	GB10(P)	3.2	21	156.5	6	939.0	47.35	28.80	47.90	80.00	29.20s
32	16.5	Rg5	2	21	176.0	17	2992.0	31.90	16.10	32.40	60.00	16.50s
41	28	GB10(P)	2.2	21	134.4	7	940.5	41.25	27.70	41.80	80.00	28.20s
63	34	Rg5	3.5	21	341.3	9	3072.0	62.95	33.50	63.90	80.00	34.20s
56	24	GB10(P)	5.3	21	161.0	6	966.0	56.30	23.45	57.10	80.00	24.10s
27	12SW	Rg5	2	21	151.4	23.3	3528.5	26.95	12.20	27.35	60.00	12.50s
34		Rg5	2.8	21	168.1	10	1681.0	33.92		34.45		
45	23	Rg5	2.4	21	243.3	44	10706.5	44.90	22.80	67.20		
30	14	Rg5	1.8	21	0.0	7	0.0			30.40	60.00	14.25s
61	29	GB12	5	21	228.6	9	2057.5	61.25	28.47	62.15	80.00	29.15s
23	10	Rg5	1.3	21	140.5	18.3	2571.5	22.90	9.80	23.35	60.00	10.00s
51	39	GB12	2.7	21	181.0	11.3	2045.0	51.30	38.72	52.00	80.00	39.30s
61		GB12	4.8	21	203.7	10	2037.0	61.27		62.15		
31		GB12	3.5	21	180.0	12	2159.5	31.10		31.65		
30	14	Rg5	1.8	21	0.0	2	0.0			30.40	60.00	14.25s
51	19	GB12	3	21	197.4	4	789.5	51.20	18.55	52.00	80.00	19.00s
66	34	GB12	6	21	178.3	11.3	2015.0	66.30	33.45	67.25	80.00	34.25s
51		GB12	5.5	21	355.3	5.5	1954.0	51.25		52.00		
23	10	Rg5	1.3	21	154.5	11	1699.0	22.95	9.80	23.35	60.00	10.00s
51	19	GB12	3	21	197.7	7	1384.0	51.37	18.80	52.00	80.00	19.00s
66		GB12	5	21	210.8	10	2108.0	66.45		67.25	80.00	34.25s
30		Rg5	1.8	21	0.0	5	0.0			30.40		
29	9	Rg5	2.2	21	139.8	19.3	2698.0	28.95	8.50	29.40	60.00	9.00s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	12SW	Rg5	1.5	21	148.3	18.3	2714.0	26.85	12.20	27.35	60.00	12.50s
21.5	14.5	Rg5	0.9	21	87.8	23.3	2046.5	21.40	14.35	21.80	60.00	14.50s
27	19	Rg5	2.2	21	126.2	61	7698.5	26.88	19.00	27.35	60.00	19.00s
30		Rg5	2.4	21	0.0	3.3	0.0	29.90		30.45		
57		PB1	7	21	0.0	6.3	0.0	57.29		57.80		
30		Rg5	2.4	21	177.3	17	3014.0	29.96		30.45		
23		Rg5	1.5	21	178.6	39.3	7017.5	23.05		23.50		
17		Rg5	1.2	21	119.0	24.3	2891.0	17.10		17.40		
61	19	Rg7	3.9	21	195.3	10.3	2012.0	61.25	18.61	62.15	80.00	19.00s
46	24	Rg7	3	21	254.3	8	2034.0	46.17	23.75	46.90	80.00	24.10s
38	26	Rg5	2.1	21	202.2	25	5054.0	38.01	25.98	38.50	60.00	26.30s
21.5	14.5	Rg5	0.8	21	51.4	14	720.0	21.42	14.36	21.80	60.00	14.50s
56	29	Rg7	3.6	21	244.9	9	2204.0	56.25	28.60	57.10	80.00	29.15s
46	28	Rg7	2.5	21	259.3	8	2074.0	46.20	28.75	46.90	80.00	29.15s
30	12	Rg5	1.9	21	121.5	14	1701.0	29.90	11.65	30.40	60.00	12.00s
27	17	Rg5	1.2	21	137.6	25	3439.5	26.92	16.69	27.35	60.00	17.00s
66		Rg7	8	21	301.1	7	2108.0	66.35		67.20		
27	19	Rg5	1.3	21	85.8	16	1373.5	26.80	18.80	27.35	60.00	19.00s
30	12	Rg5	2.2	21	0.0	0.3	0.0			30.40	60.00	12.00s
30	12	Rg5	1.8	21	188.7	10.3	1944.0	29.92	11.74	30.40	60.00	12.00s
24		Rg5	1.4	21	179.2	62	11109.0	23.90		24.30		
24		Rg5	1.3	21	175.2	51	8934.0	23.83		24.30		
30	12	Rg5	1.7	21	191.4	58	11103.0	29.92	11.72	68.00	80.00	47.50s
50	23	Rg5	3.5	21	253.7	49	12429.5	49.94	22.76	50.70	80.00	23.10s
6kt44	17	Rg5	3	21	128.0	6	768.0	43.80	16.74	6kt44	80.00	17.00s
63	31	Rg5st	6	21	235.1	17	3996.0	63.25	30.62	64.20	80.00	31.20s
6kt44	23	Rg5	4	21	178.0	11.3	2011.0	43.85	22.70	6kt44	80.00	23.10s
66	49	Rg7	2.5	21	282.3	7.3	2061.0	66.40	48.74	67.25	80.00	49.50s
30		Rg5	1.8	21	0.0	6	0.0	30.00		30.40		
6kt44	29	Rg5	2.5	21	179.7	6	1078.0	43.80	28.72	6kt44	80.00	29.20s
23	15.5	Rg5	1	21	87.6	7	613.5	22.80	15.50	23.30	60.00	15.50s
51	24	Rg7	4	21	206.7	10	2067.0	51.00	23.70	52.00	80.00	24.10s
6kt44	32	Rg7	2.8	21	140.6	3.3	464.0	43.70	31.60	6kt44	80.00	32.25s
23	15.5	Rg5	1	21	222.5	8.3	1847.0	22.95	15.62	23.30	60.00	15.50s
46		Rg7	4.5	21	200.7	10	2007.0	46.19		46.90		
51		Rg7	6	21	192.6	10.3	1983.5	51.30		52.00		
56		Rg7	6	21	222.2	8.5	1889.0	56.37		57.10		
26	14	Rg7	1.2	21	166.4	14	2329.5	26.13	13.65	26.55	60.00	14.00s
37	17	Rg7	2.7	21	206.2	10	2062.0	37.15	16.70	37.75	60.00	17.00s
23		Rg7	1.4	21	153.0	13	1989.5	23.07		23.50		
41	29	Rg7	2.2	21	151.1	13.3	2009.5	41.20	28.70	41.80	80.00	29.20s
23	15.5	Rg5	1	21	85.3	19	1620.0	22.80	15.30	23.30	60.00	15.50s
37		Rg7	3.5	21	185.1	11	2036.5	37.20		37.75		
41	14	Rg7	2.8	21	203.2	10	2032.0	41.25	13.50	41.80	80.00	14.00s
23	15.5	Rg5	1	21	85.6	9	770.0	22.80	15.55	23.30	60.00	15.50s
31	21	Rg5	1.6	21	147.9	32	4733.5	30.80	20.80	31.40	60.00	21.15s
21		Rg7	1.2	21	142.1	14	1989.0	21.15		21.50		
55	38	Rg5	3.5	21	162.7	6.3	1025.0	55.05	37.70	55.80	80.00	38.40s
41	24	Rg7	2.5	21	179.9	11.3	2032.5	41.25	23.60	41.80	80.00	24.10s
25	11	Rg5	1.5	21	136.0	12	1632.5	25.00	10.65	25.30	60.00	11.00s
22	10.1SW	Rg5	1.6	21	96.7	10.3	996.5	21.85	10.35	22.25	60.00	10.50s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

51		Rg7	5.5	21	225.1	9	2025.5	51.30		52.00		
52	34	Rg5	3.2	21	157.5	6.3	992.0	51.80	33.75	52.75	80.00	34.35s
31		Rg7	3	21	169.5	12	2034.5	31.25		31.70		
22	11	Rg5	1.4	21	85.1	13.3	1132.0	21.85	10.80	22.25	60.00	11.00s
29	21	Rg5	1.7	21	106.7	41	4373.0	28.80	21.00	29.35	60.00	21.15s
24		Rg5	1.5	21	174.6	55	9600.5	23.80		24.30		
40	23	Rg5	2.6	21	260.9	27	7043.0	39.85	22.80	40.50	80.00	23.20s
54	40	Rg5	3	21	192.2	26.3	5055.0	53.80	40.00	54.75	80.00	40.40s
22	11	Rg5	1.4	21	82.7	20	1653.0	21.90	10.90	22.25	60.00	11.00s
35	26	Rg5	1.8	21	153.6	38	5835.5	34.95	26.20	35.45	60.00	26.20s
23		GB12	2	21	134.8	30	4045.0	23.10		23.55		
22	11	Rg5	1.4	21	103.9	32	3324.5	21.85	10.80	22.25	60.00	11.00s
26		GB12	3.5	21	146.9	28	4112.5	26.25		26.60		
22	11	Rg5	1.2	21	0.0	0.3	0.0	21.90	10.72	22.25	60.00	11.00s
46		GB12	4.5	21	185.7	22	4085.5	46.19		46.90		
21		GB12	1.5	21	120.4	17	2047.5	21.14		21.50		
22	11	Rg5	1.8	21	92.1	16.3	1501.5	21.90	11.08	22.25	60.00	11.00s
26		Rg7	2	21	169.7	35.3	5991.5	26.20		26.60		
41		Rg7	4	21	196.4	31	6089.5	41.20		41.80		
36	14	Rg7	2.5	21	202.1	10	2021.0	36.15	13.65	36.70	60.00	14.00s
51		Rg7	6	21	197.2	21	4141.5	51.25		52.00		
51		Rg7	5.7	21	192.5	26	5006.0	51.30		52.00		
36	19	Rg7	2.5	21	185.7	27.3	5070.0	36.15	18.60	36.70	60.00	19.00s
41	24	Rg7	2.7	21	191.1	16	3057.0	41.20	23.60	41.80	80.00	24.20s
33	19	Rg7	2.2	21	156.3	26	4062.5	33.20	18.80	33.70	60.00	19.00s
41	14	Rg7	3	21	209.5	19.3	4042.5	41.20	13.55	41.80	80.00	14.00s
36	24	Rg7	2.1	21	165.6	12.3	2037.0	36.20	23.70	36.75	60.00	24.10s
31		Rg7	2.7	21	178.6	17	3035.5	31.10		31.65		
24		Rg5	1.4	21	163.4	31.3	5113.0	23.83		24.30		
30	12	Rg5	1.7	21	133.2	40.3	5369.5	29.91	11.72	30.40	60.00	12.00s
51	29	Rg7	3.5	21	197.3	6	1184.0	51.23	28.70	52.00	80.00	29.10s
46		Rg7	5.5	21	175.1	17	2976.5	46.20		46.90		
21		Rg7	1.3	21	144.6	14	2025.0	21.15		21.50		
30		Rg5	2	21	160.3	32	5129.5	29.95		30.35		
51	29	Rg7	3	21	167.2	5	836.0	51.35	28.50	52.00	80.00	29.20s
24		Rg5	1.8	21	150.7	33	4971.5	23.90		24.30		
30	12	Rg5	2.2	21	0.0	8	0.0	29.90	11.50	30.40	60.00	12.00s
22	11	Rg5	1.5	21	261.5	17	4446.0	21.90	10.65	22.25	60.00	11.00s
27	12.1SW	Rg5	1.3	21	186.8	35.5	6632.0	26.90	12.40	27.35	60.00	12.55s
27	12.1SW	Rg5	1	21	0.0	1.5	0.0			27.35	60.00	12.55s
30	12	Rg5	1.8	21	175.9	26.5	4660.5	29.90	11.90	30.40	80.00	49.50s
36	19	Rg7	2.2	21	184.7	11	2031.5	36.15	18.70	36.75	60.00	19.00s
27	12.1SW	Rg5	1.9	21	140.8	59.5	8377.5	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
26		Rg7	2.5	21	169.4	12	2032.5	26.15		26.60		
61		Rg7	6.2	21	249.0	13.5	3361.0	61.05		62.15		
27	14	Rg5	1.6	21	152.0	19	2888.0	26.85	13.80	27.35	60.00	14.00s
27	12.1SW	Rg5	2	21	136.4	58.5	7981.5	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
25	17	Rg5	1.6	21	98.6	30.5	3006.0	24.95	17.15	25.30	60.00	17.10s
32	17	Rg5	2.3	21	153.9	29.5	4540.5	31.90	16.80	32.40	60.00	17.10s
61		GB12	6	21	178.8	17	3039.0	61.30		62.15		
51		GB12	5	21	317.6	9.5	3017.0	51.27		52.00		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

37		GB12	4	21	192.3	16	3077.5	37.22		37.75		
24		Rg5	1.6	21	166.1	41.3	6858.5	23.90		24.30		
27	12.1SW	Rg5	1.5	21	173.1	17.3	2995.0	26.93	12.40	27.35	60.00	12.55s
40	17	Rg5	3.7	21	311.7	24.3	7574.5	39.80	16.50	40.55	80.00	17.00s
39	23	Rg5	1.9	21	225.4	30.3	6830.5	38.80	22.70	39.50	80.00	23.20s
50	17	Rg5	4	21	213.7	14.3	3056.5	50.00	16.40	50.70	80.00	17.00s
34	25.5	Rg5	1.8	21	130.0	23.3	3028.5	33.90	25.20	34.50	60.00	25.60s
58	23	Rg5	6.2	21	239.6	21.3	5104.5	57.96	22.50	58.80	80.00	23.10s
40	17	Rg5	2.7	21	212.5	26	5525.5	39.95	16.64	40.55	80.00	17.00s
24		Rg5	1.7	21	163.7	19.3	3159.0	23.91		24.30		
34	22.1SW	Rg5	1.7	21	161.4	12.3	1985.5	33.95	22.35	34.45	60.00	22.60s
46	24	GB12	3.5	21	228.6	18	4114.5	46.20	23.70	46.85	80.00	24.10s
8kt34	16.5	Rg5	2.3	21	164.3	34	5586.0	33.62	16.16	8kt34	80.00	16.50s
28		Rg5	1.9	21	198.5	10.3	2045.0	27.95		28.40		
61		GB12	5.5	21	216.0	19.3	4168.0	61.33		62.15		
27	19	Rg5	1.5	21	110.4	26.3	2904.0	26.90	18.95	27.35	60.00	19.00s
40	21	Rg5	2.5	21	192.4	13.3	2559.0	40.14	20.90	40.75	80.00	21.10s
68	49	Rg5	3	21	224.5	12.3	2761.0	68.02	48.75	69.00	80.00	49.50s
24		Rg5	1.6	21	154.1	34	5239.0	23.99		24.30		
24		Rg5	1.6	21	155.5	31	4820.5	23.90		24.30		
63	34	Rg5	3	21	216.7	13	2817.0	62.90	33.70	63.90	80.00	34.30s
39		Rg7	3.5	21	171.0	12.3	2103.0	39.20		39.80		
21		Rg7	1.3	21	148.3	27.3	4048.0	21.12		21.50		
61		Rg7	6.5	21	0.0	4	0.0	60.99		62.15		
46	24	Rg5	2.5	21	120.3	17	2045.0	46.22	23.70	46.90	80.00	24.10s
56		Rg7	5.9	21	263.0	12	3156.0	56.20		57.05		
31		Rg7	3	21	279.0	1	279.0	31.20		31.65		
61	39	Rg7	3	21	384.8	5.3	2039.5	61.30	38.50	61.15	80.00	39.30s
41		Rg7	3.8	21	136.0	3	408.0	41.20		41.85		
41		GB12	5	21	153.3	20.3	3113.0	41.25		41.85		
31		GB12	4.2	21	134.5	22.3	2999.5	31.27		31.65		
61	39	Rg7	3.8	21	301.2	7.3	2199.0	61.25	38.50	61.16	80.00	39.30s
21		GB12	1.6	21	121.5	25.3	3075.0	21.15		21.50		
61	44	GB12	2.5	21	262.1	16	4193.0	61.35	43.64	62.15	80.00	44.40s
31	17	Rg5	2.2	21	134.2	20	2684.5	30.85	16.70	32.65	60.00	17.00s
33.5	12	Rg5	2.3	21	190.1	31	5892.5	33.30	11.60	33.90	60.00	12.00s
27	12SW	Rg5	2	21	173.7	28	4864.5	26.90	12.20	27.35	60.00	12.50s
45	23	Rg5	2.7	21	236.4	21	4963.5	44.85	22.65	45.60	80.00	23.10s
27	12SW	Rg5	1.4	21	178.4	17.3	3087.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
24		Rg5	1.6	21	156.7	63.3	9921.5	23.90		24.30		
45	23	Rg5	2.7	21	229.4	22.3	5116.0	44.90	22.50	45.60	80.00	23.10s
27	12SW	Rg5	1.8	21	141.1	61	8605.0	26.95	12.37	27.35	60.00	12.55s
27	19	Rg5	1.7	21	107.1	28	2998.0	26.90	18.70	27.35	60.00	19.00s
51		Rg7	5.7	21	182.2	11.3	2059.0	51.20		52.00		
37		Rg7	4	21	192.0	16.3	3130.0	37.15		37.75		
33.5	12	Rg5	2.5	21	170.4	24	4089.5	33.50	11.55	33.90	60.00	12.00s
57	29.5	Rg5	3.5	21	278.4	11	3062.0	56.90	29.00	57.80	80.00	29.70s
27	12SW	Rg5	2	21	376.3	14.3	5381.5	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
44		Rg5	5	21	190.3	16	3044.5	43.85		44.60		
8k27	10	Rg5	2.2	21	136.1	16.3	2219.0	26.81	9.69	8kt27	60.00	10.00s
31	19	Rg5	1.6	21	156.1	4	624.5	31.15	18.70	31.65	60.00	19.00s



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronz

24		Rg5	1.9	21	133.0	1	133.0	23.91		24.30		
41		Rg7	4	21	168.7	18	3037.0	41.25		41.80		
33.5	12	Rg5	2.5	21	394.8	14	5527.0	33.30	11.65	35.45	60.00	13.00s
31	19	Rg7	2.2	21	139.6	12.3	1717.0	31.20	18.70	31.65	60.00	19.00s
24		Rg5	1.5	21	246.1	36	8860.0	23.90		24.30		
19		CuZn20Si	2.4	21	0.0	5.3	0.0			19.30		
31		Rg7	3	21	167.6	18	3017.0	31.20		31.65		
27	12SW	Rg5	1.5	21	158.7	56	8884.5	26.90	12.40	27.35	60.00	12.55s
71		Rg7	10	21	163.4	32	5230.0	71.60		72.30		
45	23	Rg5	2.7	21	210.9	48	10122.0	44.90	22.68	45.60	80.00	23.10s
61	49	Rg7	4.2	21	0.0	0.3	0.0			62.15	80.00	49.50s
39	22.1SW	Rg5	2.7	21	159.6	11	1756.0	38.95	22.35	39.50	80.00	22.65s
21		Rg5	2	21	132.0	23.3	3076.0	21.15		21.50		
61	49	Rg7	3.7	21	155.2	13	2017.0	61.35	48.70	62.15	80.00	49.50s
61		Rg7	7	21	193.9	26.3	5100.0	61.32		62.15		
33.5	12	Rg5	2.5	21	175.4	26	4561.0	33.45	11.70	33.90	60.00	12.00s
22	10SW	Rg5	1.6	21	91.9	40	3677.0	21.85	10.35	22.25	60.00	10.45s
42.4	32.4	Rg5	1.6	21	152.0	8.3	1261.5	42.40	32.50	42.95	80.00	32.60s
8kt27	10	Rg5	2.2	21	138.7	13	1803.0	26.85	9.80	8kt27	60.00	10.00s
42.5	25	Rg5	2.3	21	230.7	13.3	3068.5	42.46	24.68	43.05	80.00	25.10s
27	12SW	Rg5	2	21	194.1	28	5434.0	29.96	12.40	27.35	60.00	12.55s
19		CuZn20Si	1.5	21	0.0	2	0.0	19.15		19.50		
24		Rg5	1.8	21	165.7	19	3149.0	23.85		24.30		
45	23	Rg5	2.5	21	218.4	8	1747.5	44.92	22.66	45.60	80.00	23.10s
24		Rg5	2	21	85.7	12.3	1053.5	23.94		24.30		
25	17	Rg5	1.6	21	89.0	37.3	3319.5	24.85	17.17	25.30	60.00	17.10s
25		Rg5	1.8	21	162.2	44	7138.5	24.90		25.30		
23		Rg7	1.5	21	157.1	13	2042.5	23.09		23.50		
22	10SW	Rg5	1.8	21	123.3	49.3	6077.0	21.95	10.38	22.25	60.00	10.45s
66	49	Rg7	4.1	21	255.4	8	2043.5	66.34	48.92	67.25	80.00	49.50s
32	17SW	Rg5	2.5	21	0.0	0.3	0.0			32.40	60.00	17.55s
32	17SW	Rg5	2.6	21	99.6	15.3	1524.0	31.90	17.25	32.40	60.00	17.55s
24		Rg5	1.6	21	152.4	43.4	6612.0	23.80		24.30		
21.5	14.5	Rg5	1.4	21	102.8	29	2980.0	21.45	14.32	21.80	60.00	14.40s
32	17SW	Rg5	2.5	21	150.9	37	5585.0	31.85	17.30	32.40	60.00	17.60s
45	23	Rg5	2.8	21	206.4	39.3	8112.5	44.85	22.70	45.60	80.00	23.10s
64.3		PB1	10	21	164.2	6	985.0	64.50		65.50		
45	29	Rg5	2.5	21	199.8	20	3996.0	44.85	28.70	45.60	80.00	29.20s
46		GB12	5	21	168.6	18	3035.0	46.20		46.85		
23	11	Rg5	1.6	21	134.2	14	1878.5	22.90	11.05	23.30	60.00	11.10s
25	11	Rg5	1.6	21	108.6	9.3	1010.0	24.90	10.90	25.30	60.00	11.10s
38.9		LB4	5	21	145.5	7	1018.5	39.24		39.70		
40		Rg5	3	21	175.3	22	3855.5	39.90		40.55		
43	27	Rg5	2.4	21	148.6	38.3	5690.5	42.90	26.75	43.60	80.00	27.20s
27	12SW	Rg5	1.5	21	179.0	65	11636.5	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
35	13	Rg5	2.6	21	220.4	41.3	9100.5	34.90	12.60	35.45	60.00	13.00s
51	29	GB10(P)	3	21	147.9	7	1035.0	51.30	28.55	52.00	80.00	29.20s
41	28	GB10(P)	3.2	21	110.4	9	994.0	41.30	27.80	41.80	80.00	28.20s
63	27	GB10(P)	11	21	105.9	9.3	984.5	63.50	26.70	64.20	80.00	27.10s
31		GB10(P)	5	21	90.3	11.3	1020.0	31.20		31.60		
41		GB10(P)	6.5	21	111.0	9.3	1032.5	41.35		41.80		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	19	Rg5	1.6	21	96.0	6.3	605.0	27.00	18.70	27.35	60.00	19.00s
66		GB10(P)	8	21	163.4	6	980.5	66.35		67.25		
61	29	GB10(P)	6.5	21	192.3	5.3	1019.0	61.40	28.45	62.20	80.00	29.00s
26		GB10(P)	3.5	21	98.4	10.3	1014.0	26.20		26.60		
45	29	Rg5	2.5	21	212.2	4.3	912.5	44.87	28.85	45.60	80.00	29.20s
36		GB10(P)	5	21	111.3	9	1002.0	36.25		36.75		
27	19	Rg5	2.2	21	78.2	32	2503.0	26.93	19.00	27.35	60.00	19.00s
21		GB10(P)	3.3	21	59.8	16	956.5	21.20		21.50		
36		Rg7	3.5	21	198.2	15.3	3032.5	36.20		36.75		
51	34	Rg7	2.5	21	224.9	9	2024.5	51.30	33.70	52.00	80.00	34.30s
26	14	Rg7	1.2	21	157.4	13	2046.0	26.20	13.70	26.60	60.00	14.00s
24		Rg5	1.6	21	148.3	36.3	5383.0	23.94		24.30		
27	12SW	Rg5	1.6	21	137.9	42	5793.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.6	21	139.4	39.3	5480.0	26.90	12.38	27.35	60.00	12.55s
34	25.5	Rg5	1.6	21	111.7	23.3	2602.0	34.10	25.30	34.50	60.00	25.60s
24		Rg5	1.6	21	154.9	18	2787.5	23.90			24.30	
24		Rg5	1.6	21	169.2	15.3	2588.5	23.85			24.30	
32		Rg5	2.7	21	0.0	5	0.0	32.10		32.65		
30	12	Rg5	2	21	183.8	54.3	9978.0	29.85	11.60	30.40	60.00	12.00s
40	12	Rg5	2.7	21	233.0	13	3028.5	39.95	11.60	40.55	80.00	12.00s
27	12SW	Rg5	2	21	188.6	18	3395.0	27.00	12.25	27.35	60.00	12.55s
24	11.5	Rg5	1.5	21	130.9	26.2	3429.5	23.95	11.06	24.30	60.00	11.50s
51	39	Rg7	1.7	21	207.8	10	2077.5	51.35	38.60	52.00	80.00	39.30s
41	14	Rg5st	3.5	21	156.1	6.3	983.5	41.70	13.75	41.80	80.00	14.00s
27	12SW	Rg5	1.3	21	156.5	39	6102.5	26.85	12.35	27.35	60.00	12.55s
51		Rg7	8	21	169.3	19	3217.0	51.30		52.00		
6kt34	17	Rg5	2.8	21	169.6	31.3	5308.5	33.70	16.70	6kt34	80.00	17.00s
31	14	Rg5st	1.8	21	139.0	7.3	1015.0	31.10	13.65	31.60	60.00	14.00s
24		Rg5	1.5	21	173.0	74.3	12853.5	24.01		24.30		
41	24	Rg5st	2.5	21	185.1	5.3	981.0	41.15	23.65	41.80	80.00	24.10s
61	39	GB12	4.5	21	193.8	10.3	1996.0	61.20	38.60	32.20	80.00	39.30s
51		GB12	6	21	165.4	18	2977.5	51.20		52.00		
26		GB12	3.5	21	0.0	2	0.0	26.10		26.55		
66		GB12	5	21	305.0	10	3049.5	66.33		67.25		
26		GB12	3	21	101.7	30	3052.0	26.14		26.55		
27	12SW	Rg5	1.8	21	163.6	53.3	8718.0	26.90	12.36	27.35	60.00	12.55s
17		GB12	2	21	63.1	24	1515.5	17.20		17.45		
6kt34	17	Rg5	2.6	21	183.5	54.3	9964.0	33.72	16.65	103.90	80.00	48.45s
27	19	Rg5	1.8	21	192.3	31	5961.5	26.90	18.70	27.35	60.00	19.00s
56		GB12	5.5	21	189.1	16	3025.5	56.30		57.10		
23	11.9	LG2	1.5	21	76.1	16	1217.0	23.15	11.75	23.50	60.00	11.90s
56		Rg7	6	21	202.1	15.3	3092.0	56.37		57.10		
61		Rg7	7	21	225.5	14	3157.5	61.10		62.15		
30		Rg5	2.4	21	165.3	15.3	2529.5	29.85		30.40		
45		Rg5	5.5	21	170.1	18	3062.5	44.85		45.60		
22	11	Rg5	1.5	21	105.8	24	2540.0	22.10	10.95	22.50	60.00	11.10s
27	12SW	Rg5	1.3	21	178.9	60	10731.0	26.95	12.37	27.35	60.00	12.55s
24		Rg5	1.5	21	166.1	32	5314.5	23.90		24.30		
27	19	Rg5	1.8	21	0.0	1	0.0	26.84	18.90	27.35	60.00	19.00s
27	19	Rg5	1.5	21	108.4	37	4012.0	26.90	18.95	27.35	60.00	19.00s
6kt34	17	Rg5	2.7	21	155.9	23	3585.5	33.65	16.70	6kt34	80.00	17.00s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

37.5		Rg5	3	21	0.0	7	0.0	37.50		38.20		
22	11	Rg5	1.5	21	103.0	84.3	8683.0	21.85	10.80	22.25	60.00	11.00s
66	18	GB12	7	21	89.3	8	714.0	66.50	17.50	67.30	80.00	18.00s
24		Rg5	1.8	21	151.1	8	1209.0	23.85		24.30		
6kt34	17	Rg5	2.5	21	189.3	8.3	1571.0	33.63	16.70	6kt34	80.00	17.00s
29	21	Rg5	1.6	21	126.1	46	5800.0	29.10	21.15	29.40	60.00	21.20s
56	39	Rg7	2.6	21	284.3	7.3	2075.5	56.30	38.55	57.10	80.00	39.30s
27	12SW	Rg5	1.5	21	156.9	53.3	8360.5	27.00	12.38	27.35	60.00	12.55s
46	29	Rg7	2.5	21	206.6	10	2065.5	46.27	28.68	46.90	80.00	29.15s
27	12SW	Rg5	1.8	21	154.3	17.3	2669.5	27.01	12.35	27.35	60.00	12.55s
46		Rg7	4.5	21	234.2	13	3045.0	46.30		46.90	80.00	29.15s
66	49	Rg7	3.4	21	160.6	13	2087.5	66.25	48.45	6kt34	80.00	17.00s
22	11	Rg5	1.3	21	112.6	29.3	3300.5	21.93	10.95	22.25	60.00	11.10s
66		Rg7	8	21	237.2	13	3083.5	66.20		6kt34	80.00	17.00s
29	21	Rg5	1.3	21	109.9	15	1648.5	28.90	20.85	29.40	60.00	21.20s
39		Rg7	4	21	201.9	15	3029.0	39.05		39.75		
19	9	Rg5	1.2	12	0.0	2.3	0.0			19.30	60.00	9.00s
29	21	Rg5	1.6	21	123.0	14	1722.5	29.00	21.00	29.40	60.00	21.20s
21.5	14.5	Rg5	1	21	76.5	38	2907.5	21.30	14.50	21.75	60.00	14.50s
29	21	Rg5	1.8	21	96.4	15.3	1475.5	29.00	20.80	29.40	60.00	21.20s
39		Rg5	2.5	21	160.6	15.3	2457.5	38.95		39.50		
27	12SW	Rg5	1.5	21	143.5	44	6313.0	26.80	12.40	27.35	60.00	12.55s
57	29.5	Rg5	4.5	21	223.3	18	4018.5	56.95	29.20	57.80	80.00	29.70s
41		Rg7	4.8	21	152.1	22.3	3392.0	41.25		41.80		
45		Rg5	5	21	0.0	6	0.0	44.90		45.60		
50	17	Rg5	4	21	228.2	15.3	3492.0	49.80	16.60	50.70	80.00	17.00s
27	12SW	Rg5	1.5	21	167.1	78	13037.0	26.95	12.40	27.35	60.00	12.55s
19	9	Rg5	1.4	21	0.0	1.3	0.0			19.30		9.00s
32	17	Rg5	2.1	21	160.8	27	4341.0	32.00	16.70	32.40	60.00	17.00s
46	34	Rg7	3	21	157.8	11.3	1783.0	46.50	33.70	46.90	80.00	34.30s
19		Rg7	1.4	21	117.6	26	3057.5	19.10		19.45		
34	25.5	Rg5	1.2	21	174.3	17.3	3015.0	34.00	25.30	34.45	60.00	25.60s
42.5	33.5	Rg5	1.6	21	165.2	13.3	2197.5	42.45	33.35	43.05	80.00	33.70s
32	17SW	Rg5	2.5	21	156.7	32	5015.0	31.95	17.38	32.40	60.00	17.60s
51	33	GB12	2.8	21	232.3	1.3	302.0	51.30	32.80	52.00	80.00	33.30s
51		GB12	5	21	134.7	3	404.0	51.30		52.00		
27	19	Rg5	1.3	21	134.0	29.3	3925.0	26.85	18.98	27.35	60.00	19.00s
61		GB12	5.5	21	273.0	11	3003.0	61.26		62.15		
51		GB12	5	21	221.2	17	3760.0	51.33		52.00		
23		Rg7	1.4	21	169.1	19	3212.5	23.10		23.50		
42.5	33.5	Rg5	1.6	21	168.1	17	2857.5	42.50	33.25	43.05	80.00	33.70s
27	12SW	Rg5	1.5	21	172.9	7.3	1262.0	26.95	12.39	27.35	60.00	12.55s
43		Rg5	4	21	197.3	102.3	20182.0	43.35		43.85		
23	15.5	Rg5	1.4	21	89.2	10	891.5	22.95	15.50	23.30	60.00	15.60s
27	17	Rg5	1.6	21	128.8	31.3	4030.5	26.95	16.80	27.35	60.00	17.10s
36	10	Rg5	2.5	21	189.9	5.3	1006.5	35.95	9.70	36.45	60.00	10.00s
31		Rg7	4	21	79.8	4	319.0	31.20		31.64		
45	26	Rg5	2.8	21	233.0	2	466.0	45.15	25.70	45.85	80.00	26.10s
41	19	Rg7	3	21	199.6	10	1995.5	41.25	18.60	41.80	80.00	19.00s
25		Rg5	2	21	142.7	7	999.0	24.90		25.30		
33		Rg7	3	21	166.9	18.3	3055.0	33.20		33.70		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

27	12SW	Rg5	2	21	0.0	0	0.0			27.30	60.00	12.55s
23	15.5	Rg5	1.4	21	89.3	51	4552.5	22.90	15.60	23.30	60.00	15.45s
24		Rg5	1.6	21	159.2	63	10029.5	23.85		24.30		
66	34	GB12	6	21	137.5	1	137.5	66.30	33.80	67.25	80.00	34.30s
66		Gb12	7	21	296.3	10.3	3051.5	66.35		67.25		
27	12SW	Rg5	1.7	21	138.3	31	4286.0	26.90	12.28	27.30	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.6	21	154.8	41	6345.5	26.90	12.39	27.35	60.00	12.55s
51	39	GB12	3.5	21	125.3	8	1002.0	51.20	38.60	52.00	80.00	39.30s
27	12SW	Rg5	1.3	21	172.2	43.3	7456.0	26.82	12.39	27.35	60.00	12.55s
37	23	GB12	2.5	21	142.7	1.3	185.5	37.20	22.75	37.75	60.00	23.10s
37		GB12	4	21	189.3	16	3029.5	37.20		37.75		
35	26	Rg5	1.8	21	120.5	34	4098.5	35.20	25.60	35.70	60.00	26.15s
27	12SW	Rg5	1.8	21	196.1	13	2549.0	26.85	12.36	27.35	60.00	12.55s
19		Rg5	1.8	15	0.0	4.3	0.0			19.35		
27	12SW	Rg5	1.3	21	173.3	19	3293.5	26.82	12.40	27.35	60.00	12.55s
26		Rg5	2	21	157.5	6.3	992.0	26.15		26.55		
45.2	24.6	PB1	3.5	21	165.5	6	993.0	45.24	24.20	45.85	80.00	24.70s
35	26	Rg5	1.7	21	166.2	71	11798.5	35.20	25.80	35.70	60.00	26.15s
38	25	Rg5	2	21	192.0	15.3	2937.0	38.15	24.60	38.75	80.00	25.10s
6kt27		Rg5	2.1	21	171.4	57	9771.0	26.75		6kt27		
30	12	Rg5	1.9	21	173.0	58	10034.0	29.90	11.70	30.35	60.00	12.00s
38	25	Rg5	2.1	21	214.3	64	13713.0	38.15	24.70	24.85	60.00	12.55s
38	25	Rg5	2	21	182.5	110	20069.5	38.10	24.70	38.75	80.00	25.10s
27	12SW	Rg5	1.3	21	149.1	60	8947.5	26.85	12.39	27.35	60.00	12.55s
6kt27		Rg5	2.1	21	134.4	30	4033.0	26.75		6kt27		
32	17SW	Rg5	2.5	21	106.6	22	2345.5	31.90	17.30	32.40	60.00	17.60s
35	26	Rg5	1.6	21	146.6	51	7476.0	35.00	25.95	35.70	60.00	26.15s
40		Rg7	5.5	21	0.0	6	0.0	40.05		40.75		
32	17SW	Rg5	2.1	21	147.8	38	5618.0	31.95	17.32	32.40	60.00	17.60s
51	19	Rg7	6	21	219.6	9.3	2042.0	51.25	18.48	52.00	80.00	19.00s
27	12SW	Rg5	1.4	21	152.8	39	5957.5	27.00	12.40	27.35	60.00	12.55s
51		Rg7	6	21	234.7	13.3	3122.0	51.15		52.00		
27	12SW	Rg5	1.6	21	136.7	44	6013.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
31		Rg7	3.5	21	178.7	17	3038.0	31.10		31.65		
27	12SW	Rg5	1.6	21	129.7	5	648.5	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
24.5	12.1SW	Rg5	1.5	21	112.1	9	1008.5	24.50	12.40	24.85	60.00	12.55s
38	25	Rg5	2	21	181.7	19.3	3506.0	38.15	24.70	38.75	80.00	25.10s
39	22.1SW	Rg5	2.1	21	166.0	6	996.0	38.95	22.35	39.50	80.00	22.65s
27	12SW	Rg5	1.3	21	151.6	10	1516.0	26.85	12.30	27.35	60.00	12.55s
23	11	Rg5	1.2	21	100.4	5	502.0	22.85	10.70	23.30	60.00	11.00s
56	39	Rg5	3.5	21	164.2	6	985.0	56.15	38.50	57.00	80.00	39.30s
34		Rg5	2.8	21	198.2	76	15064.5	34.20		34.65		
24		Rg5	1.5	21	159.6	75	11969.0	23.85		24.30		
33		Rg5	2	21	156.2	10	1561.5	32.90		33.45		
38	25	Rg5	2.1	21	193.8	20	3875.0	38.15	24.70	38.75	80.00	25.10s
27	19	Rg5	1.5	21	115.0	25	2874.5	26.95	18.80	27.35	60.00	19.00s
27	12SW	Rg5	1.5	21	143.0	49	7008.5	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.5	21	163.3	62	10127.0	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
27		Rg5	2.6	21	175.5	28	4914.0	26.85		27.35		
66		Rg5	10	21	0.0	6	0.0	66.30		67.30		
30	12	Rg5	2	21	168.4	60	10105.5	29.90	11.65	30.40	60.00	12.00s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

31	21	Rg5	1.8	21	133.5	38	5073.5	30.95	20.80	31.40	60.00	21.20s
33.5		Rg5	2.4	21	166.0	30	4978.5	33.50		33.95		
66		Rg5	10	21	0.0	5	0.0	66.30		67.25		
6kt27		Rg5	2.2	21	151.4	34	5147.0	26.75		6kt27		
54	40	Rg5	2.9	21	200.9	18	3615.5	53.80	36.65	54.75	80.00	40.50s
6kt27		Rg5	1.8	21	142.1	16	2273.5	26.70		6kt27		
32	17SW	Rg5	1.9	21	146.3	16.3	2384.5	31.90	17.37	32.40	60.00	17.60s
45	26	Rg5	2.8	21	0.0	3	0.0	44.90	25.80	45.65	80.00	26.30s
26.5		Rg5	2	21	175.7	63	11069.5	26.40		26.80		
27	12SW	Rg5	2	21	0.0	0.3	0.0			27.35	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.7	21	125.7	52.3	6574.5	27.00	12.38	27.35	60.00	12.55s
24		Rg5	1.5	21	167.9	46	7721.5	23.90		24.30		
23		Rg5	1.4	21	170.7	36	6144.5	23.20		23.50		
32	17SW	Rg5	2.2	21	133.9	11.3	1513.5	31.95	17.30	32.40	60.00	17.60s
27	12SW	Rg5	1.5	21	153.3	65	9961.5	26.80	12.38	27.35	60.00	12.55s
45	26	Rg5	2.9	21	229.1	2.3	527.0	45.00	25.80	45.65	80.00	26.30s
39	27	Rg7	2.1	21	196.4	9	1767.5	39.20	26.50	39.80	80.00	27.20s
19	9	Rg5	2	15	0.0	2	0.0			19.30		9.00s
61		Rg7	6.5	21	0.0	6	0.0	61.25		62.15		
17		Rg5	1.4	21	84.4	30	2532.5	17.15		17.45		
38		Rg7	4.5	21	204.8	10	2047.5	38.25		38.95		
36	24	Rg7	2.2	21	144.5	15.3	2211.0	36.20	23.80	36.75	60.00	24.10s
61		Rg7	6	21	178.7	15	2680.5	61.25		62.15		
26		Rg7	2	21	151.5	20	3030.5	26.15		26.55		
27	12SW	Rg5	1.8	21	147.9	47	6951.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
26.2		Rg5	2	21	137.4	14.3	1964.5	26.30		26.55		
19		Rg5	0.5	21	0.0	2.3	0.0			19.30		
27	12SW	Rg5	1.4	21	157.3	27.3	4293.5	26.90	12.33	27.35	60.00	12.55s
51	29	GB12	3	21	244.2	8.3	2027.0	51.30	28.60	52.00	80.00	29.20s
50	23	Rg5	4	21	241.5	14.3	3453.0	49.95	22.65	50.70	80.00	23.10s
51		GB12	6.5	21	164.1	8.3	1362.0	51.30		52.00	80.00	29.20s
30		Rg5	3	21	143.9	35.3	5079.5	29.95		30.40		
6kt27		Rg5	2.4	21	144.9	35.3	5114.0	26.75		6kt27		
34		Rg5	2.8	21	0.0	6.3	0.0	34.10		34.65		
27	12SW	Rg5	1.7	21	148.3	36.3	5383.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
50	23	Rg5	4	21	248.6	14	3480.0	50.05	22.70	50.70	80.00	23.10s
27	12SW	Rg5	2	21	0.0	0	0.0			27.35	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.7	21	136.7	77	10525.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
24	12	Rg5	1.5	21	124.3	45	5595.0	23.90	11.85	24.30	60.00	12.00s
51		GB12	5.5	21	167.7	10	1676.5	51.50		52.00		
56		GB12	5.5	21	171.9	8	1375.0	56.35		57.10		
50	23	Rg5	4	21	177.0	27.3	4832.5	50.00	22.70	50.70	80.00	23.10s
27	12SW	Rg5	1.5	21	168.3	37.3	6278.5	26.90	12.38	27.35	60.00	12.55s
41	19	GB12	2.6	21	210.2	10	2102.0	41.15	18.50	41.80	80.00	19.00s
41		GB12	4.5	21	201.3	15.3	3080.0	41.20		41.80		
50	23	Rg5	4.5	21	217.8	17.3	3768.0	50.00	22.70	50.70	80.00	23.10s
36	24	GB12	3	21	0.0	4	0.0	36.40	23.80	36.95	60.00	24.10s
27	19	Rg5	1.8	21	100.6	33.3	3349.5	26.85	18.80	27.35	60.00	19.00s
27	12SW	Rg5	1.5	21	163.8	33.3	5456.0	26.90	12.30	27.35	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.5	21	140.6	33	4639.0	26.90	12.25	27.35	60.00	12.55s
24		Rg5	1.5	21	151.3	66.3	10029.5	23.85		24.30		



Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

45	23	Rg5	2.8	21	219.2	32.3	7080.0	44.80	22.60	45.60	80.00	23.10s
43		Rg5	5	21	0.0	5.5	0.0	43.00		43.85		
27	12SW	Rg5	1.5	21	144.1	61	8787.5	26.95	12.25	27.35	60.00	12.55s
45	23	Rg5	2.8	21	191.9	15.3	2936.5	44.95	22.60	45.65	80.00	23.10s
27	19	Rg5	1.7	21	88.6	7	620.5	26.95	18.80	27.35	60.00	12.55s
35	26	Rg5	1.7	21	151.8	37.3	5662.5	35.30	25.60	35.75	60.00	18.00s
28		Rg7	2.2	21	170.7	24.3	4148.0	28.10		28.60		
27	10	Rg5	2.2	21	140.5	56.3	7912.5	27.15	9.70	27.60	60.00	10.00s
65	49	G3	7	21	113.0	6.3	712.0	65.50	48.80	66.40	80.00	49.50s
35	26	Rg5	1.8	21	133.0	70.3	9347.0	35.20	25.90	35.70	60.00	26.15s
24	12	Rg5	1.4	21	132.4	48	6354.0	23.80	11.70	24.30	60.00	12.00s
41	17	Rg5	2.8	21	217.4	51	11086.0	40.85	16.50	41.55	80.00	17.00s
35	26	Rg5	1.5	21	148.4	27	4007.0	35.20	25.80	35.70	60.00	26.20s
27	12SW	Rg5	1.5	21	165.6	46.3	7669.0	26.90	12.25	27.35	60.00	12.55s
60	40	Rg5	5	21	169.0	3	507.0	59.90	39.65	60.80	80.00	40.40s
27	10	Rg5	2.2	21	144.4	92	13282.0	27.20	9.85	27.60	60.00	10.00s
35	26	Rg5	1.8	21	140.6	27	3797.0	35.25	25.80	35.70	60.00	26.20s
29		Rg5	2.2	21	164.4	73.3	12050.5	28.87		29.35		
35	26	Rg5	1.8	21	121.0	12	1452.0	35.27	25.90	35.70	60.00	26.20s
41	17	Rg5	3.1	21	199.5	70	13965.0	40.80	16.60	41.55	80.00	17.00s
27	12SW	Rg5	1.8	21	175.4	31	5438.5	26.85	12.35	27.35	60.00	12.55s
45	33	Rg5	2.4	21	144.8	5	724.0	44.85	32.65	45.65	80.00	33.30s
42	21	Rg5	3.2	21	212.2	2.3	488.0	41.90	20.65	42.60	80.00	21.15s
21.5	14.5	Rg5	1.1	21	79.2	38.3	3034.5	21.33	14.35	21.75	60.00	14.50s
36	19	GB12	2.5	21	173.1	12.3	2129.0	36.20	18.60	36.75	60.00	19.00s
32	17SW	Rg5	2.5	21	134.1	22	2950.0	31.80	17.31	32.40	60.00	17.60s
55	29.5	Rg5	5	21	192.6	16	3081.5	55.00	28.90	55.75	80.00	29.70s
27	10	Rg5	2.2	21	0.0	0.3	0.0			27.35	60.00	10.00s
27	12SW	Rg5	1.4	21	339.6	12	4075.0	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
27	10	Rg5	1.8	21	159.2	17	2706.0	27.20	9.60	27.60	60.00	10.00s
24		Rg5	1.8	21	145.7	68	9906.5	23.85		24.30		
27	12SW	Rg5	1.8	21	167.3	49.3	8246.0	26.85	12.35	27.35	60.00	12.55s
27	19	Rg5	1.8	21	112.8	27	3046.0	26.90	18.60	27.35	60.00	19.00s
66		Rg7	8	21	247.0	16	3951.5	66.20		67.25		
34	25.5	Rg5	1.8	21	121.1	24	2905.5	33.90	25.20	34.45	60.00	25.65s
48.5	39	Rg5	1.8	21	135.3	23.3	3153.5	48.50	38.60	49.20	80.00	39.30s
6kt27		Rg5	2	21	157.4	27.3	4297.5	26.70		6kt27		
41	17	Rg5	2.5	21	209.1	94.3	19722.0	40.90	16.50	41.55	80.00	17.00s
35	26	Rg5	1.8	21	130.5	66	8614.5	34.90	26.15	35.45	60.00	26.20s
61	34	Rg7	3.5	21	297.1	7	2080.0	61.20	33.45	62.15	80.00	34.20s
29		Rg5	2.5	21	150.3	20	3006.0	28.85		29.35		
27		Rg5	2.5	21	145.9	41	5982.0	26.85		27.35		
61		Rg7	6	21	271.5	19	5158.0	61.26		62.15		
29	21	Rg5	1.6	21	95.1	94	8944.0	28.80	20.80	29.35	60.00	21.10s
32	17.1SW	Rg5	1.8	21	147.0	3.3	485.0	31.90	17.35	32.40	60.00	17.60s
66	39	Rg7	4.5	21	235.4	13	3060.5	66.35	38.50	67.25	80.00	39.30s
45	26	Rg5	2.7	21	160.0	3.3	528.0	44.80	25.80	45.60	80.00	26.20s
24		Rg5	1.7	21	150.0	41	6148.0	23.85		24.30		
46	29	Rg5st	2.3	21	205.8	5	1029.0	46.15	28.70	46.90	80.00	29.20s
21		Rg7	1.3	21	146.3	13.5	1974.5	21.15		21.50		
46	29	Rg7	2.3	21	230.0	9	2070.0	46.25	28.74	46.90	80.00	29.20s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

66	49	Rg7	3.5	21	247.7	22	5449.5	66.35	48.50	67.25	80.00	49.50s
51	24	Rg7	4.5	21	224.4	9.3	2086.5	51.30	23.60	52.00	80.00	24.10s
30		Rg5	2.2	21	182.1	27	4916.0	29.95		30.40		
51		Rg7	6.2	21	202.2	10	2021.5	51.25		52.00		
35	26	Rg5	1.9	21	100.6	34.3	3451.5	34.80	25.80	35.45	60.00	26.20s
66		Rg7	8	21	257.0	12.3	3161.0	66.30		67.25		
37		Rg7	4.5	21	182.0	17	3094.0	37.20		37.75		
26	14	Rg7	1.6	21	138.8	15	2082.5	26.20	13.80	26.55	60.00	14.00s
24		Rg5	1.6	21	151.2	25	3779.0	23.80		24.30		
51	39	Rg7	2.3	21	193.0	11	2122.5	51.15	38.50	52.00	80.00	39.30s
26		Rg7	3.5	21	174.0	18.3	3184.0	26.20		26.55	60.00	14.00s
27	12SW	Rg5	1.8	21	144.7	36	5210.5	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
27	19	Rg5	1.6	21	111.6	16.3	1819.5	26.80	18.80	27.35	60.00	19.00s
27	12SW	Rg5	1.6	21	0.0	0	0.0			27.35	60.00	12.55s
36	19	Rg5st	2.5	21	160.5	6	963.0	36.16	18.60	36.70	60.00	19.00s
40	17	Rg5	2.5	21	232.1	71	16478.5	39.95	16.60	40.55	80.00	17.00s
27	12SW	Rg5	1.8	21	121.1	3.3	399.5	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
25		Rg5	2	21	136.1	7.3	993.5	24.85		25.30		
28	10	Rg5	1.8	21	135.8	4	543.0	27.85	9.75	28.35	60.00	10.00s
45	29	Rg5	2.8	21	202.7	27	5474.0	44.80	28.80	45.60	80.00	29.30s
43	27	Rg5	2.5	21	208.6	9.3	1940.0	42.85	26.80	41.80	80.00	24.10s
27	12SW	Rg5	1.5	21	154.3	50	7712.5	26.90	12.40	27.35	60.00	12.55s
31		GB12	2.7	21	168.3	30	5047.5	31.15		31.65		
27	19	Rg5	1.6	21	101.5	22	2234.0	26.95	18.75	27.25	60.00	19.00s
27	12SW	Rg5	1.5	21	158.8	41	6509.0	26.90	12.30	27.35	60.00	12.55s
36		GB12	5	21	169.2	24	4061.0	36.25		36.75		
27	12SW	Rg5	2	21	139.7	24	3352.5	26.90	12.30	27.35	60.00	12.55s
27	12SW	Rg5	1.5	21	162.8	56.3	9168.0	26.90	12.25	27.35	60.00	12.55s
32	17SW	Rg5	2.1	21	135.4	22	2979.0	31.85	17.35	32.40	60.00	17.60s
27	12SW	Rg5	1.4	21	136.8	48	6564.0	26.85	12.30	27.35	60.00	12.55s
40	12	Rg5	2.8	21	225.5	50	11273.5	39.80	11.60	40.55	80.00	12.00s
40	17	Rg5	2.3	21	211.7	21.3	4510.0	39.85	16.60	40.55	80.00	17.00s
56	39	Rg7	3.4	21	231.7	9.3	2154.5	56.20	38.50	57.10	80.00	39.30s
31		Rg7	2.5	21	180.1	17	3061.0	31.20		31.65		
51		Rg7	6.3	21	194.8	16	3116.5	51.20		52.00		
40	22SW	Rg5	2.7	21	170.0	23.3	3960.0	39.85	22.35	40.55	80.00	22.70s
22	11	Rg5	1.5	21	119.2	59.3	7066.5	21.80	10.85	22.25	60.00	11.00s
41		Rg7	5	21	193.1	17	3283.0	41.25		41.80		
61	39	Rg7	4	21	257.2	8	2057.5	61.25	38.50	62.15	80.00	39.30s
61		Rg7	7	21	202.8	15	3042.5	61.20		62.15		
27	12SW	Rg5	1.5	21	163.7	9.3	1522.0	26.85	12.35	27.35	60.00	12.55s
40	12	Rg5	2.8	21	188.6	15	2829.0	39.85	11.65	40.55	80.00	12.00s
66	34	GB12	6	21	190.6	10	1905.5	66.25	33.50	67.20	80.00	34.20s
46	34	Rg7	2	21	202.3	5	1011.5	46.20	33.65	46.90	80.00	34.25s
27	12SW	Rg5	1.8	21	146.2	25.3	3698.5	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
27	13	Rg5	2	21	97.4	5.3	516.0	26.95	12.70	27.35	60.00	13.00s
31	15	Rg5	2	21	101.7	5	508.5	30.90	14.60	31.40	60.00	15.00s
33.5		Rg5	1.8	21	185.9	54	10037.0	33.45		33.95		
30	12	Rg5	1.8	21	179.7	43.3	7782.5	29.95	11.70	30.35	60.00	12.00s
32	17	Rg5	2	21	169.0	37	6253.0	31.90	16.70	27.35	60.00	12.55s
24		Rg5	1.6	21	163.3	61.3	10009.0	23.90		24.30		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

21.5	14.5	Rg5	1.2	21	89.8	33.3	2989.0	21.50	14.15	21.75	60.00	14.50s
50	26	Rg5	4.5	21	162.1	16	2594.0	49.95	25.60	50.70	80.00	26.10s
27	12SW	Rg5	1.5	21	181.2	66.3	12016.0	26.87	12.35	27.35	60.00	12.55s
39		Rg7	4.5	21	175.8	17.3	3042.0	39.20		39.80		
22	11	Rg5	1.4	21	112.5	30.3	3408.5	22.10	10.95	22.50	60.00	11.10s
27	19	Rg5	1.4	21	114.2	26	2969.5	26.95	18.95	27.35	60.00	19.00s
36	19	Rg7	2.2	21	208.1	4.3	895.0	36.25	18.60	36.75	60.00	19.00s
30	12	Rg5	2.2	21	158.6	14.3	2267.5	29.90	11.60	30.40	60.00	12.00s
36	24	Rg7	2	21	175.8	12	2109.5	36.20	23.70	36.75	60.00	24.00s
29		Rg5	2.5	21	152.1	17	2585.5	28.85		29.40		
35	26	Rg5	1.6	21	153.6	49	7526.5	34.80	26.00	35.45	60.00	26.20s
27		Rg5	1.9	21	170.9	7	1196.0	26.95		27.35		
42	22	Rg7	3.5	21	73.4	27	1982.0	42.50	22.50	49.20	22.60	
22	11	Rg5	1.4	21	112.0	37.3	4177.5	21.85	10.90	22.25	60.00	11.00s
46	24	Rg7	3.5	21	178.3	12	2139.0	46.20	23.45	46.90	80.00	24.10s
41	29	Rg7	2.2	21	183.5	11	2019.0	41.30	28.70	41.85	80.00	29.20s
61	29	Rg7	5.5	21	247.7	8.3	2056.0	61.40	28.50	62.20	80.00	29.20s
35	26	Rg5	1.5	21	155.4	25	3884.0	34.90	25.80	35.45	60.00	26.20s
21		Rg7	1.5	21	135.0	9.3	1255.5	21.05		21.50		
26		GB12	3	21	147.3	48.3	7112.5	26.10		26.60		
31		GB12	3	21	136.3	29.3	3992.5	31.25		31.70		
35	26	Rg5	1.6	21	146.0	12	1752.5	34.80	25.80	35.45	60.00	26.20s
24		Rg5	1.7	21	147.5	68	10032.5	23.85		24.30		
45	21	Rg5	3.4	21	221.7	2.3	510.0	44.90	20.60	45.60	80.00	21.10s
6kt27		Rg5	2.3	21	150.0	45	6750.0	26.75		6kt27		
61		GB12	10	21	168.4	24.3	4091.5	61.30		62.20		
27	12SW	Rg5	1.4	21	155.8	54	8411.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
RV31.1	17.4	Rg5	1.9	21	143.4	35.3	5063.5	31.25	17.50	31.78	60.00	17.40s
33.5		Rg5	1.8	21	166.0	60	9957.5	33.45		33.95		
52	22	GB12	6	21	88.4	17.3	1529.0	52.60	22.55	53.10	22.70	
46		GB12	4.7	21	202.2	20	4043.0	46.25		46.90		
27	12SW	Rg5	1.5	21	146.4	51	7466.5	26.95	12.38	27.35	60.00	12.55s
34	25.5	Rg5	1.5	21	149.9	20	2997.0	33.80	25.30	34.45	60.00	25.65s
56		Rg7	6	21	214.9	19	4082.5	56.35		57.10		
27	12SW	Rg5	1.5	21	166.1	42.3	7024.0	26.95	12.35	27.35	60.00	12.55s
51	29	Rg7	4	21	209.1	19.3	4035.5	51.30	28.70	52.00	80.00	29.20s
32	17SW	Rg5	2.2	21	112.6	26.3	2962.5	31.90	17.25	32.40	60.00	17.60s
23		Rg7	1.8	21	129.3	31	4008.0	23.15		23.50		
46	14	Rg7	5.5	21	157.0	13	2041.0	46.20	13.46	46.90	80.00	14.00s
6kt27		Rg5	2.1	21	131.2	55	7214.0	26.65		6kt27		
50	17	Rg5	4.5	21	0.0	2	0.0			50.65	80.00	17.00s
34		Rg5	2.7	21	193.4	77.3	14953.0	34.10		34.65		
24		Rg5	1.8	21	151.5	66.3	10042.0	23.90		24.30		
27	12SW	Rg5	1.7	21	165.0	65	10726.0	26.90	12.35	27.35	60.00	12.55s
35	26	Rg5	1.6	21	162.4	70	11370.0	35.10	25.90	35.70	60.00	26.20s
50	17	Rg5	4	21	248.5	12.3	3056.5	49.85	16.55	50.70	80.00	17.00s
61		Rg5	6.5	21	0.0	6	0.0			62.00		
33.5		Rg5	3.5	21	0.0	6	0.0	33.60		33.90		
6kt34	17	Rg5	3	21	168.2	59.3	9976.5	33.65	16.60	6kt34	80.00	17.00s
36	24	GB12	2.0	21	144.7	14	2025.5	36.15	23.95	52.00	80.00	19.10s
6kt27		Rg5	2.2	21	149.5	25	3737.0	26.72		6kt27		

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

51	19	GB12	3	21	0.0	2	0.0	51.35	18.20	52.00	80.00	19.10s
31	19	Rg7	2	21	95.7	40	3827.5	31.20	18.45	31.65	60.00	19.00s
36	14	Rg7	3.2	21	156.7	13	2037.5	36.25	13.60	36.70	60.00	14.00s
35	26	Rg5	1.5	21	208.3	0.3	62.5	35.30	25.60	35.70	60.00	26.20s
67	50	Rg5	4.5	21	179.0	5.3	948.5	67.00	49.60	67.90	80.00	50.50s
35	26	Rg5	1.6	21	163.0	23	3748.0	35.20	25.85	35.70	60.00	26.20s
27	19	Rg5	1.8	21	99.1	22.3	2210.0	26.80	18.70	27.35	60.00	19.00s
51	19	GB12	5	21	203.2	10	2031.5	51.25	18.50	52.00	80.00	19.00s
35	26	Rg5	1.8	21	191.6	11	2107.5	35.20	25.80	35.70	60.00	26.20s
27	19	Rg5	1.8	21	91.3	13	1186.5	26.85	18.47	27.35	60.00	19.00s
61		Rg5	9	21	0.0	5	0.0			62.20		
40		Rg5	4	21	0.0	5.3	0.0			40.60		
40		Rg5	4	21	0.0	4	0.0			40.60		
35	26	Rg5	1.8	21	153.1	15	2297.0	35.20	25.90	35.70	60.00	26.20s
35	26	Rg5	1.8	21	138.1	15	2071.0	35.20	25.85	35.70	60.00	26.20s
35	26	Rg5	1.8	21	131.3	12.3	1614.5	35.20	25.95	35.70	60.00	26.20s
23		Rg5	2.5	21	138.0	29.3	4044.0	22.95		23.30		
57	29.5	Rg5	4	21	269.5	19.3	5201.5	56.85	29.10	57.80	60.00	29.70s
24		Rg5	1.8	21	142.4	18	2562.5	23.90		24.30		
26.5		Rg5	2	21	156.9	17.3	2715.0	26.30		26.80		
45		Rg5	5	21	195.9	18	3526.5	44.80		45.60		
26.5		Rg5	2	21	135.6	13.3	1803.5	26.35		26.80		
31	19	Rg7	2.2	21	121.8	19	2314.5	31.20	18.65	31.65	60.00	19.00s
26.5		Rg5	2	21	171.5	31	5315.5	26.35		26.80		
24		Rg5	2	21	146.3	56	8195.0	23.90		24.30		
28	10	Rg5	2.2	21	102.9	10	1028.5	27.95	9.65	28.40	60.00	10.00s
45	33	Rg5	2.6	21	119.2	4.3	512.5	44.85	32.80	45.60	80.00	33.40s
33	17.1	Rg5	2.1	21	125.1	4	500.5	32.90	17.30	33.40	60.00	17.60s
34	21	Rg5	1.8	21	97.0	10	970.0	33.85	20.70	34.45	60.00	21.10s
43	27	Rg5	2.2	21	254.0	2	508.0	42.85	26.85	43.60	80.00	27.30s
31	17	Rg5	2.2	21	101.5	5	507.5	30.85	16.70	31.40	60.00	17.10s
6kt34	17	Rg5	2.8	21	165.4	44	7278.5	33.75	16.53	6kt34	80.00	17.00s
21.5	14.5	Rg5	1.2	21	73.9	41	3029.0	21.55	14.20	21.80	60.00	14.45s
30		Rg5	2.4	21	161.0	72.3	11640.0	30.30		30.65		
24		Rg5	1.6	21	153.0	62	9483.0	23.90		24.30		
51		GB12	6.5	21	191.6	21	4024.0	51.35		52.00		
29	16.5	Rg5	1.8	21	143.1	21	3004.5	28.80	16.20	29.35	60.00	16.50s
36		GB12	5	21	0.0	0.3	0.0			36.75		
41		GB12	4	21	166.0	25	4149.5	41.20		41.85		
27	19	Rg5	1.5	21	94.0	22	2069.0	26.92	18.80	27.35	60.00	19.00s
36		GB12	4.4	21	170.8	24	4098.5	36.20		36.75		
55	29.5	Rg5	3.5	21	222.0	14	3108.0	54.80	28.92	55.75	80.00	29.60s
32	17SW	Rg5	2.1	21	134.0	30	4019.0	31.90	17.30	32.40	60.00	17.60s
6kt34	17	Rg5	3	21	0.0	0.3	0.0	33.75	16.60	6kt34	80.00	17.00s
6kt34	17	Rg5	2.9	21	138.9	4	555.5	33.75	16.60	6kt34	80.00	17.00s
40	22SW	Rg5	2.4	21	200.9	15	3014.0	39.80	22.35	40.55	80.00	22.65s
27	19	Rg5	1.4	21	95.2	31	2951.0	26.95	18.85	27.35	60.00	19.00s
26.5		Rg5	2.1	21	148.4	41	6084.0	26.40		26.80		
6kt34	17	Rg5	2.6	21	174.6	52.3	9131.5	33.72	16.65	6kt34	80.00	17.00s
30		Rg5	1.8	21	150.0	30	4498.5	30.00		32.40	60.00	17.60s
46	34	Rg5	2.4	21	218.7	8	1749.5	46.20	33.60	46.90	80.00	34.30s

Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

23		Rg5	2.5	21	125.1	8	1000.5	22.85		23.30		
24		Rg5	1.8	21	124.9	4.3	537.0	23.85		24.30		
46		Rg7	5	21	296.0	10.3	3048.5	46.25		46.90		
45	23	Rg5	2.8	21	209.6	19.3	4045.5	44.90	22.50	45.60	80.00	23.10s
30		Rg5	2.4	21	168.8	12.3	2076.5	30.15		30.65		
24		Rg5	1.7	21	141.7	14.3	2027.0	23.80		24.30		
31	21	Rg5	1.9	21	143.9	36.3	5224.5	30.95	20.95	31.40	60.00	21.15s
26.5		Rg5	2	21	161.9	55.3	8950.5	26.40		26.80		
6kt34	17	Rg5	3	21	161.3	33	5322.5	33.75	16.70	6kt34	80.00	17.00s
23		Rg7	1.8	21	136.2	22	2997.0	23.20		23.55		
51	29	Rg7	3.5	21	228.9	9	2060.0	51.25	28.60	52.00	80.00	29.20s
56	34	Rg7	4.2	21	234.8	9	2113.5	56.30	33.65	57.10	80.00	34.25s
24		Rg5	2	21	149.7	47	7034.5	23.90		24.30		
51		Rg7	6	21	217.4	10	2174.0	51.30		52.00		
56		Rg7	6.9	21	234.7	13	3051.5	56.30		57.10		
26		Rg7	2	0	143.6	21.3	3059.5	26.20		27.35	60.00	19.00s
51		GB12	6	21	168.5	18.3	3084.0	51.22		52.00		
61	29	GB12	6	21	227.1	9	2044.0	61.20	28.60	62.20	80.00	29.20s
45	29	Rg5	2.7	21	205.0	27	5535.5	44.80	28.70	45.60	80.00	29.20s
61		GB12	5.5	21	152.3	20	3045.0	61.20		62.20		
23	15.5	Rg7	1.2	21	76.2	10.3	784.5	22.85	15.50	23.30	60.00	15.45s
25	14	Rg5	1.5	21	126.8	48	6086.0	24.90	13.70	25.30	60.00	14.00s
23	15.5	Rg5	1.2	21	121.1	45	5450.0	22.85	15.20	23.30	60.00	15.45s
26	10	Rg5	2.2	21	144.1	17	2450.0	25.90	9.65	21.50		
46		GB12	5	21	174.5	17.3	3019.5	46.15		46.85		
21		GB12	1.7	21	109.3	28	3061.5	21.10		21.50		
42	21	Rg5	3	21	171.8	3	515.5	41.90	20.70	42.55	80.00	21.20s
34	21	Rg5	1.8	21	172.4	3.3	569.0	33.98	20.80	34.45	60.00	21.20s
61	39	GB12	4.2	21	267.3	8	2138.5	61.30	38.60	62.20	80.00	39.30s
27	12SW	Rg5	1.4	21	174.4	51	8894.5	26.90	12.40	27.35	60.00	12.55s
23	15.5	Rg5	1.4	21	94.5	13.5	1275.5	22.95	15.60	23.30	60.00	15.45s
35	26	Rg5	1.8	21	140.2	37	5189.0	35.10	26.10	35.45	60.00	26.25s
45	23	Rg5	2.8	21	232.5	43	9999.0	44.95	22.60	45.60	80.00	23.10s
31		Rg7	3	21	159.9	16	2559.0	31.15		31.65		
35	17	Rg5	2.9	21	159.6	25.3	4038.0	34.90	16.75	35.45	60.00	17.00s
39		Rg7	4	21	161.2	19	3062.5	39.20		39.80		
61	19	Rg7	5.5	21	232.1	9	2089.0	61.30	18.55	62.20	80.00	19.00s
27	19	Rg5	1.7	21	0.0	1	0.0			27.35	60.00	19.00s
27	19	Rg5	1.4	21	107.1	38	4071.0	27.05	18.95	27.35	60.00	19.00s
32	17SW	Rg5	2.5	21	150.9	27	4074.5	31.95	17.35	32.40	60.00	17.60s
31		Rg7	3.7	21	0.0	7	0.0			31.65		
35	26	Rg5	3.7	21	141.7	49	6943.5	34.80	26.00	35.45	60.00	26.25s
31		Rg7	3	21	146.0	5.3	774.0	31.20		31.65		
21		Rg7	1.2	21	115.0	26.3	3025.0	21.10		21.50		
56	29	GB12	5.5	21	220.4	9.3	2050.0	56.25	28.60	57.10	80.00	29.20s
27	12SW	Rg5	1.4	21	166.7	25.3	4217.5	26.85	12.35	27.35	60.00	12.55s
37		Rg7	3.2	21	202.5	15	3037.0	37.20		37.75		
17		GB12	1.6	21	87.3	23	2009.0	17.15		17.40		
36	19	Rg7	2.6	21	166.7	13	2167.5	36.25	18.50	36.75	60.00	19.00s
41		GB12	5	21	156.0	20	3119.0	41.20		41.80		
51	39	GB12	3	21	184.0	11	2024.5	51.35	38.70	52.00	80.00	39.30s



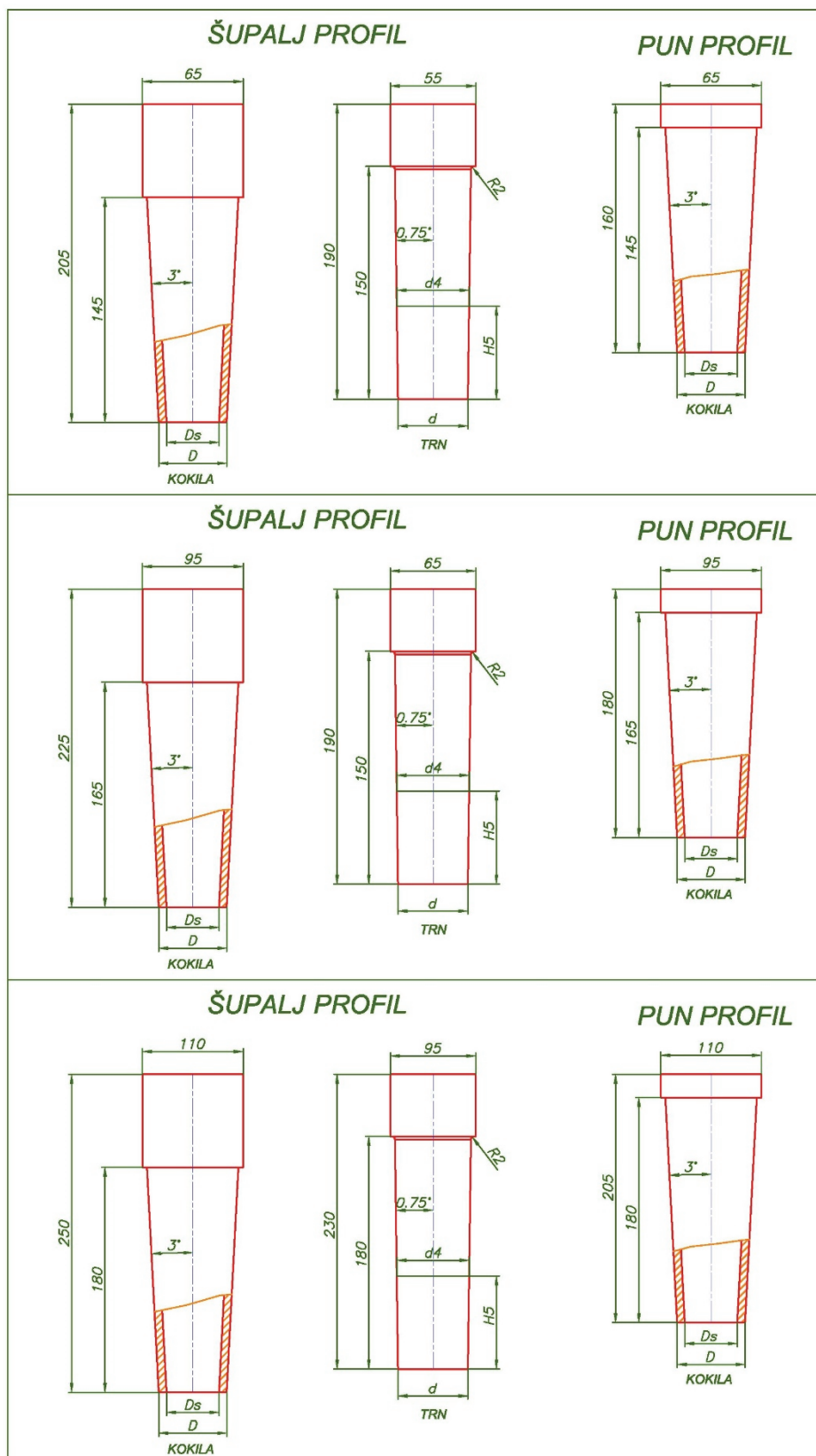
Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronze

24		Rg5	1.7	21	153.3	20	3065.5	23.90		45.60	80.00	23.10s
45	23	Rg5	2.8	21	240.9	42	10116.0	44.90	22.60	24.30		
50	17	Rg5	3	21	217.4	30	6522.0	49.90	16.45	50.70	80.00	17.00s
35	26	Rg5	1.6	21	132.1	5.3	700.0	35.00	25.80	35.45	60.00	26.20s
24		Rg5	1.6	21	151.6	41	6216.5	23.90		24.30		
35	26	Rg5	1.6	21	156.0	5.3	827.0	34.80	26.00	35.45	60.00	26.25s
67	50	Rg5	4	21	234.6	13	3050.0	67.10	49.65	68.00	80.00	50.50s
24		Rg5	1.6	21	160.5	13.3	2135.0	23.90		24.30		
34	21	Rg5	2	21	138.1	9	1243.0	33.85	20.95	34.45	60.00	21.20s
24		Rg5	2	21	148.1	61.5	9106.5	23.85		24.30		
45	23	Rg5	2.8	21	213.2	61.5	13114.5	44.85	22.60	45.60	80.00	23.10s
41	24	Rg7	2.3	21	214.4	7	1501.0	41.20	23.65	41.80	80.00	24.10s
36	24	Rg7	1.9	21	182.2	11	2004.5	36.30	23.90	36.75	60.00	24.10s
41		Rg7	5	21	196.8	15.5	3050.0	41.25		41.80		
61		Rg7	9	21	198.1	17	3368.5	61.30		62.20		
36	14	Rg7	2.6	21	192.6	10.5	2022.0	36.15	13.60	36.70	60.00	14.00s
112	38	Rg7	20	21	169.7	11.5	1951.5	112.50	37.95	114.00	80.00	38.40s
65	48	Rg5	3.5	21	240.1	5	1200.5	65.05	47.90	66.00	80.00	48.60s
56	29	Rg7	5	21	173.0	12	2076.5	56.40	28.45	57.10	80.00	29.15s
51	39	Rg7	2	21	237.0	8.5	2014.5	51.20	38.70	52.00	80.00	39.30s
31	19	Rg7	2	21	0.0	1	0.0	31.20	18.70	31.60	60.00	19.00s
43		Rg7	5.2	21	178.2	17	3029.0	43.05		43.85		
51		Rg7	6.5	21	190.3	16	3044.0	51.15		52.00		
31	19	Rg7	1.8	21	155.8	13	2025.5	31.10	18.70	31.60	60.00	19.00s
29		Rg7	2.2	21	173.3	12	2080.0	29.10		29.60		
51		Rg7	6	21	177.5	17.5	3106.5	51.30		52.00		
51		Rg7	6	21	172.2	11	1894.0	51.20		52.00		
18		GB12	2.2	21	77.0	52	4004.5	18.10		18.40		
61	29	GB12	5	21	240.2	8.5	2042.0	61.20	28.55	62.00	80.00	29.20s
34		Rg5	3	21	0.0	6	0.0	33.80		34.45		
33	16.5	Rg5	2.2	21	162.4	31	5035.5	32.90	16.20	33.40	60.00	16.50s
51	19	GB12	5	21	209.3	9.5	1988.5	51.25	18.58	50.70	80.00	23.10s
29	13	Rg5	2	21	156.0	20	3119.0	28.95	12.65	29.40	60.00	13.00s
41	19	GB12	2.5	21	201.8	15.5	3128.0	41.20	18.42	41.80	80.00	19.00s
35	18	Rg5	2	21	546.9	15	8204.0	34.90	17.50	35.45	60.00	18.00s
51		GB12	6	21	203.2	20	4064.5	51.30		50.70		
31		GB12	3.2	21	144.5	21.5	3106.5	31.15		31.55		
33.5	12	Rg5	2.4	21	190.1	51	9696.0	33.35	11.70	33.90	60.00	12.00s
28		Rg5	2	21	160.3	13	2084.5	28.12		28.60		
68	49	Rg5	3.1	21	241.7	12	2900.0	67.90	48.80	68.95	80.00	49.45s
33.5		Rg5	3	21	179.0	28	5012.0	33.30		33.90		
45	23	Rg5	3.5	21	206.3	25	5157.0	44.90	22.65	45.65	80.00	23.10s
29	21	Rg5	1.8	21	110.8	37	4099.5	28.80	20.65	29.35	60.00	21.10s
58	23	Rg5	3.5	21	232.4	13	3021.5	57.95	22.60	58.80	80.00	23.10s
29	21	Rg5	1.7	21	124.5	7	871.5	28.95	20.60	29.35	60.00	21.15s
61.1	49.2	G3	6	21	97.9	16.5	1616.0	61.45	48.60	62.20	80.00	49.60s
51	19	Rg7	5.5	21	183.4	11.5	2109.5	51.20	18.50	52.00	80.00	19.00s
6kt34	17	Rg5	2.4	21	0.0	2.5	0.0			6kt34	80.00	17.00s
29	21	Rg5	1.8	21	96.6	44.5	4300.0	28.80	21.05	29.35	60.00	21.15s
33.5	12	Rg5	2.4	21	189.3	28.5	5396.0	33.40	11.70	33.90	60.00	12.00s
37	17	Rg7	2.9	21	192.5	11	2118.0	37.15	16.50	37.75	60.00	17.00s

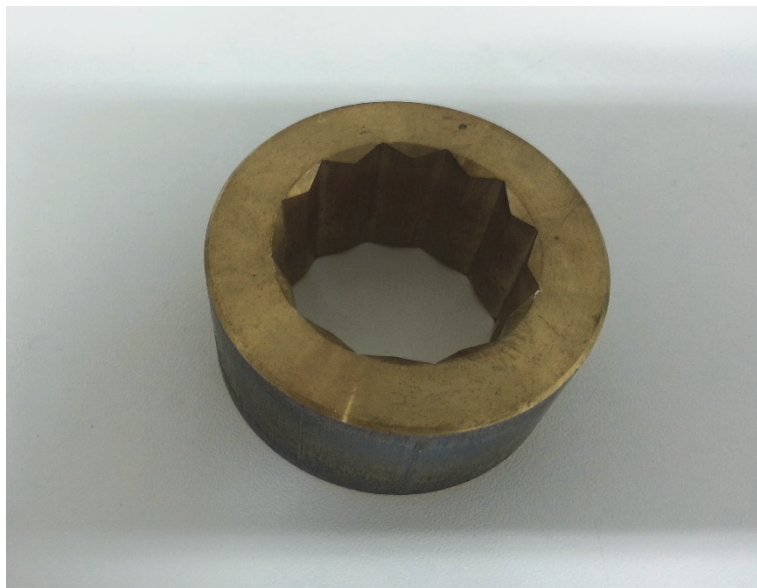
Istraživanje savremenih tehnologija za kontinualno livenje bronz

41	29	Rg7	2.5	21	157.0	13.5	2120.0	41.10	28.70	41.80	80.00	29.15s
6kt34	17	Rg5	2.5	21	182.4	65	11855.0	33.70	16.60	6kt34	80.00	17.00s
29	21	Rg5	1.8	21	0.0	0.1	0.0			29.35	60.00	21.15s
61		Rg7	7	21	201.9	15	3028.0	61.40		62.15		
21		Rg7	1.8	21	137.6	22.5	3095.0	21.20		21.50		
46		Rg7	6	21	171.4	24	4112.5	46.20		46.90		
29	21	Rg5	1.9	21	91.4	17	1553.0	28.85	20.95	29.35	60.00	21.15s
56	24	Rg7	5	21	227.5	9	2047.5	56.10	23.50	57.00	80.00	24.00s
33	19	Rg7	2.2	21	162.6	25	4066.0	33.20	18.60	33.65	60.00	19.00s
33.5	12	Rg5	2.3	21	184.1	22.5	4142.0	33.35	11.70	33.90	60.00	12.00s

Ova baza znanja ima veoma veliki značaj za definisanje tehnologije vertikalnog kontinualnog livenja na dole. Pri startu livenja šupljih profila veoma je bitno znati vreme pauze jer ako je vreme pauze malo, dolazi do prevelikog zahlađenja metala unutar kokile koji se skuplja oko trna i pri povlačenju livenog profila kida se trn, a samim time i prekida se livenje, U suprotnom slučaju ako je pauza previše mala pri startu livenja dolazi do prebrzog povlačenja livenog profila iz zone kristalizacije unutar grafitne kokile, profil nije ohlađen do potrebne temperature koja obezbeđuje potrebne mehaničke karakteristike koje su potrebne da profil izdrži svlačenje sa trna, zbog čega dolazi do kidanja profila a samim time i do prekida livenja (Dr. Dmitri Kopeliovich i dr., 2012). Svaki start livenja je veoma skup, a priprema za start traje nekoliko sati, zbog toga je veoma važno definisati tehnologiju tako da svaki start bude uspešan. Pored parametara livenja, korak i pauza isto tako su važne i karakteristične dimenzije grafitne kokile, koje obezbeđuju da se liveni profil dobije u traženim tolerancijama. U današnje vreme tržište je sve zahtevnije, a zbog dalje obrade livenih profila na CNC strugovima za veoma brzu obradu struganjem ove tolerancije su veoma uske i kreću se za spoljašnje mere najviše do +0,3mm, a za unutrašnje mere šupljih profila do -0,3 ili najviše do -0,6mm. Imajući u vidu da pri livenju profila nije dovoljno samo obezbediti uspešan start nego i dobiti liveni profil u traženim tolerancijama u bazi znanja su ubačene i karakteristične dimenzije grafitne kokile, za svaki profil koji je proizveden na navedenoj livnoj mašini. Karakteristične dimenzije grafitne kokile za šuplje i pune profile prikazane su na slici 6.1. Oznake u tabeli za profil su: D-spoljni prečnik, d-unutrašnji prečnik. Za spoljni prečnik korišćene su oznake: 6kt i 8kt, one predstavljaju skraćenicu za šestougao i osmougao profil. Za unutrašnji prečnik korišćena je oznaka SW, ona predstavlja cev sa poprečnim presekom prikazanim na slici 6.2, a za spoljašnji oznaka Rv je korišćena za profil koji ima spoljašnji oblik prikazan na slici 6.3.



Slika 6.1. Skica karakterističnih dimenzija grafitne kokile za šuplje i pune profile



**Slika 6.2.** Poprečni presek livenog profila koji u oznaci za unutrašnji prečnik sadrži SW



**Slika 6.3.** Poprečni presek livenog profila koji u oznaci za spoljašnji prečnik sadrži RV

## **7. ZAKLJUČAK I PRAVCI DALJEG ISTRAŽIVAČKOG RAZVOJA**

U ovom radu su sadržana višegodišnja naučna istraživanja autora, koja su vršena u industrijskim uslovima, sa ciljem da se oprema koju je autor projektovao usavrši, kako u komercijalnom tako i u stručnom pogledu. Rezultati prikazani u ovom radu su već primenjeni u industrijskim uslovima u firmi KMM Metals u Rigi.

Uvođenjem karakterističnih dimenzija, kristalizatora za vertikalno kontinualno livenje na dole i grafitnih kokila za livenje punih i šupljih profila, omogućeno je lakše i kvalitetnije vođenje procesa livenja sa malim procentom škarta. Istraživanja opisana u ovom radu su dokazala da karakteristične dimenzije kokile i kristalizatora direktno utiču na brzine livenja i kvalitet odlivka, pre svega na dimenzije i mehaničke karakteristike. Za livenje šupljih profila, poštovanjem dimenzije H5 (visine na kojoj se definiše prečnik trna d4) obezbeđuje se kontrolisanje fronta kristalizacije na željenoj visini unutar kristalizatora, a time i dobijanje odlivka traženih dimenzija u zadatoj toleranciji, sa mehaničkim karakteristikama definisanim standardom za leguru od koje se profil lije.

Tipiziranjem kristalizatora i grafitnih kokila, smanjeni su troškovi prerade livenih profila na minimum, pojednostavljena je kontrola kvaliteta i olakšana obuka celokupnog personala koji radi na proizvodnoj liniji za vertikalno kontinualno livenje na dole.

Naučna istraživanja koja su vršena na tehnologiji vertikalnog kontinualnog livenja na dole su obezbedila da se zatvori razvojni ciklus, kako opreme za kontinualno livenje tako i same tehnologije. U radu je detaljno opisan tehnološki proces, livna mašina sa kristalizatorom kao i proces izrade grafitnih kokila. Zahvaljujući rezultatima iz ovog rada, livna mašina i kristalizator su u konstrukcionom smislu usavršeni i prilagođeni poprečnim presečnim profilima koji preovlađuju u proizvodnji firme KMM Metals. Za dalji razvoj tehnologije i opreme za kontinualno livenje veoma je značajna baza znanja, koja je prikazana u ovom radu, sa podacima parametara livenja i karakterističnim dimenzijama grafitne kokile. Ova baza znanja ima najvažniju ulogu za uspešan start livenja, pogotovu za livenje šupljih profila i vođenje procesa livenja, tako da se dobije liveni profil u traženim tolerancijama unutrašnjeg i spoljašnjeg prečnika, sa standardnim mehaničkim karakteristikama. Cilj autora ovog rada je da u narednim istraživanjima razvije livnu mašinu sa ugrađenim ekspertnim sistemom u sebi. Ovaj ekspertni sistem bi sadržao znanje autora, stečeno u dvadesetogodišnjim istraživanjima, koje bi obezbedilo da korisnik livne mašine u suštini dobija livnu mašinu sa celokupnom tehnologijom. Operater na mašini bi unošenjem dimenzije poprečnog preseka profila i legure od koje treba da se lije dobio tehnički crtež za izradu kokile i tehnološke parametre livenja. U ekspertnom sistemu bi bile unešene sve greške livenja, na koje je autor u toku svojih istraživanja naišao, tako da ukoliko se u toku livenja desi neka greška na odlivku, operater bi upoređivanje greške sa bazom grešaka lako mogao da otkloni nepravilnosti na odlivku i nastavi sa proizvodnjom bez zaustavljanja procesa. Ovaj rad predstavlja kostur budućeg ekspertnog sistema za vertikalno kontinualno livenje na dole i slobodno se može reći, da su rezultati istraživanja iz ovog rada



primenljivi u većini livnica bronzanih profila u svetu, koje poseduju postrojenja za vertikalno kontinualno livenje na dole.

Pored detaljnih istraživanja vezanih za vertikalno kontinualno livenje na dole, bronzanih profila, u ovom radu su vršena i delimična istraživanja tehnologije vertikalnog kontinualnog livenja na gore u standardnim i elektromagnetnim kristalizadorima. Istraživanja vezana za ovu tehnologiju su izvršena u nedovoljnom obimu da bi se mogla dobiti neka nova tehnologija, ali su veoma značajna, za dalji razvoj ove tehnologije, pogotovu za razvoj kontinualnog livenja u elektromagnetnim kristalizadorima. Put za razvoj ove tehnologije je dug i skup, ali će autor ovog rada nastaviti dalja istraživanja na ovoj tehnologiji i rezultati tih istraživanja biće objavljeni u nekom drugom radu.

U ovoj disertaciji su prikazani eksperimenti i rezultati termografska analize, zajedno sa konvencionalnim metodama, za testiranje zatezne čvrstoće metalnih uzoraka složenog oblika. Glavni cilj istraživanja je bio da se dobiju odnosi, temperaturne promene uzoraka, kontinualno snimljeni termografski, sa zavisnošću napon - izduženje i numeričkom simulacijom. Može se istaći kao zaključak da ova tehnologija omogućava obavljanje analize napona i procenu granice zamora primenom nedestruktivne i bezkontaktne metode, u veoma kratkom roku. Test zatezanjem omogućava dobijanje vidljivih podataka o distribuciji površinskih napona, koristeći termografiju. Numerička simulacija određuje maksimalnu vrednost i distribuciju napona, i dobijene vrednosti su veoma slični sa eksperimentalno dobijenim rezultatima.

Predstavljeni su rezultati termografske primene, istovremeno sa konvencionalnim metodama mehanike loma, za ispitivanje svojstva novo razvijenih metalnih uzoraka. Glavni cilj je bio da se kvalitativna testiranja odnose na promene temperature na površini uzoraka, odnosno da kontinuirano termografski snime zajedno sa dijagramom sila  $F$  - napon  $\sigma$ , vrha prslina. Rezultat pokazuje, da ovaj proces omogućava da se detaljno ispituju vrste grešaka i lomova.

Dobijeni rezultati dokazuju da infracrvena termografija nudi mogućnost da se bez razaranja, u realnom vremenu, ispituju fizički procesi degradacije materijala i rasipanja energije. Termografija može da ukaže veoma precizno, na osnovu promene temperature površine, kako izgled elastično - plastična deformaciona zona, kao i nastanak pukotina i njihovo širenje kroz materijal.

Numerička simulacija, određuje maksimalnu vrednost i raspored napona, koja je veoma slična eksperimentalno dobijenim vrednostima tokom procesa nastajanja i rasta prsline u materijalu. Takođe, numerička simulacija može biti korisno sredstvo za određivanje osobine legure bronz (P.CuSn5Pb5Zn5 - Rg5).

Na kraju ovih istraživanja, može se zaključiti, da je ovaj rad doprineo razvoju i usavršavanju tehnologije za vertikalno livenje na dole u značajnoj meri, kako u naučnoj tako i u komercijalnoj sferi. Netreba zaboraviti, da je cilj svakog rada, da se isplati u komercijalnom smislu, a ovaj rad je u velikoj meri smanjio celokupne troškove proizvodnje livenih bronzanih profila i obezbedio korisniku tehnologije konkurentnost na svetskom tržištu.

## 8. LITERATURA

"Continuous Casting," in *The Making, Shaping, and Treating of Steel*, 2, A. Cramb, ed. (Pittsburgh, PA: Assoc. of Iron & Steel Engineers, 2001).

A.Ludwig ,M. Gruber-Pretzler, M. Wu, A. Kuhn, J.Riedle, About the Formation of Macrosegregations During Continuous Casting of Sn-Bronze, *FDMP*, vol.1, no.4, pp.285-300, 2005

A.Tavakoli a, R. Liu a and X.J. Wu, NOVEL BRONZE-BASED T-401 TROBALLOY COMPOSITE FOR JOURNAL BEARING COMPONENTS,

Aaron H. B., Fainstein D., Kotler G. R. (1970), *J. Appl. Phys.*

Arderiu, OG: Properzi G. Continuous Copper Rod Production from 100% Scrap. *Wire Journal Int'l*, 1996

B.L. Simpson, *Development of the Metal Castings, Industry*, American Foundrymen's Association, Chicago, 1948

Behzad Bavarian and Lisa Reiner, *Piece Mold, Lost Wax & Composite Casting Techniques of the Chinese Bronze Age*, College of Engineering and Computer Science, California, September 2006

Bennema P. (1993), "Growth and morphology of crystals" in *Handbook of Crystal Growth Vol. 1a*, D. T. J. Hurle Ed., North Holland.

Branko Škorić, Milan Arsenović, Marina Kutin, Ivana Vasović, Marko Ristić, Zlatan Milutinović, THERMOGRAPHY AND NUMERICAL SIMULATION WITH RESPECTS TO STRESS STATE AND FRACTURE OF CONTINUOUS CAST SPECIMENS MADE OF BRONZE ALLOY, Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics Vrnjačka Banja, Serbia, 2013, p.p.485-490.

Brian G. THOMAS and Lifeng ZHANG, *Mathematical Modeling of Fluid Flow in Continuous Casting*, *ISIJ International*, Vol. 41 (2001), No. 10, pp. 1181–1193

Brian G. Thomas, RECENT ADVANCES IN COMPUTATIONAL MODELING OF CONTINUOUS CASTING OF STEEL, *Scanmet II Conference, MEFOS*, Luleå, Sweden, 2004, pp. 1-10.

BRYAN PETRUS, KAI ZHENG, X. ZHOU, BRIAN G. THOMAS, and JOSEPH BENTSMAN, Real-Time, Model-Based Spray-Cooling Control System for Steel Continuous Casting, *METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS B*, VOLUME 42B, FEBRUARY 2011, pp.87-103.

Byrd, L.W., Haney, M.A., Thermoelastic stress analysis applied to fully reversed bending fatigue, *Experimental Mechanics*, 40 (1), pp.10-14. , Mar 2000.

C.A. Sanders and D. Gould, *History Cast in Metal*, American Foundrymen's Society, 1976

C.S Smith, The Early History of Casting, Molds, and the Science of Solidification, in A Search for Structure: Selected Essays on Science, Art, and History, MIT Press, Cambridge, MA and London, 1981, p 127-173

Casting Copper-Base Alloys, American Foundrymen's Society, 1984

Continuous Casting, 1-9, (Iron and Steel Society, 186 Thorn Hill Road, Warrendale, PA 15086-7512, 1979-1997).

Copper Development Association, Aluminium Bronze Alloys Corrosion Resistance Guide Publication No 80 July 1981

Copper Development Association, Designing Aluminium Bronze Castings, CDA Publication No 81, 1983.

Dr. Dmitri Kopeliovich, Casting of aluminum bearing alloys in submerged graphite mold, [www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=continuous\\_casting\\_of\\_alumin](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=continuous_casting_of_alumin), 2012.

Dr. Ing. Catrin Kammer, Continuous casting of aluminium, Goslar, Lecture

Dulieu-Barton, J.M., Introduction to thermoelastic stress analysis, Strain, pp. 35-39, May 1999.

E.M. Dunn, Metallurgical Structure of Electromagnetically Cast Extrusion Billet Light Metals, ed. W.S. Peterson, 1979

Ershun Pan Liang Ye, Jianjun Shi, Tzyy-Shuh Chang, On-Line Bleeds Detection in Continuous Casting Processes Using Engineering-Driven Rule-Based Algorithm, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2009, Vol. 131, pp. 1-9.

Flir System, FLIR Publication number: 1557547 version A, June 18th, 2002

Flir System, ThermaCAM™ Researcher, Publ.No.1558071 Rev.a196–ENGLISH(EN)–December 21, 2006.

Flir, DG001U-E Photometry Form

G. F. COMSTOC, Non-metallic Inclusions in konze and Brass, Milwaukee Meeting, October, 1918, 386-400

Galietti, U., Metta, N., Pappalettere, C., Thermoelastic Stress Analysis, numerical automatic shape reconstruction for stress separation, Proceedings of the SEM IX International Congress on Experimental Mechanics, Orlando, Florida, pp. 92-95, June 5-8, 2000.

Guduru P.R., Yehnder A.T., et al. Dynamic full field measurements of crack tip temperatures, Engineering Fracture Mechanics, vol.68, pp. 1535-1556, (2001).

H. R. Müller, R. Zauter, Erzmetall, 2003, 56, Nr. 11.

H.F. Schrewe, Continuous Casting of Steel, Fundamental Principles and Practice, (Stahl und Eisen, Dusseldorf, Germany, 1991), 194.

Harwood, N., and Cummings, W.M., Thermoelastic Stress Analysis, (1991), IOP Publishing Ltd, Adam Hilger imprint, Bristol

<http://ccc.illinois.edu/introduction/concast.html>

[http://flir.custhelp.com/app/account/fl\\_downloads](http://flir.custhelp.com/app/account/fl_downloads)

<http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php>

Hua Qing Li et al., Effect of Electromagnetic Stirring on Tin Bronze Plate Blank, Materials Science Forum, 202, 2009, 610-613

Ir.P.F.Cuyppers, Continuous casting in the copper industry, Eindhoven, 1987

Ivanovic, V. Marjanovic, S.Dimitrijevic, M. Ignjatovic, V. Trujic, M. Ignjatovic, Development of environmental copper-based alloys, technics technologies education management, Volume 7, Number 2, 2012, p.572

J. Iqbal1, F. Ahmed1 and F Hasan1, Development of Microstructure in Silicon-Aluminum-Bronze, Pak. J. Engg. & Appl. Sci. Vol. 3 Jul 2008 (p.47 – 53)

J. M. HAN, Y. S. HAN, S. Y. YOU, H. S. KIM, Mechanical behaviour of a new dispersion-strengthened bronze, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 32 (1997) 6613-6618

J. SENGUPTA, B.G. THOMAS, and M.A. WELLS, The Use of Water Cooling during the Continuous Casting of Steel and Aluminum Alloys, METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A, VOLUME 36A, JANUARY 2005—187

J. Sengupta1, B. G. Thomas1, and M. A. Wells2, Understanding the Role Water-cooling Plays during Continuous Casting of Steel and Aluminum Alloys, MS&T 2004 Conference Proceedings, (New Orleans, LA), AIST, Warrendale, PA, 2004, pp. 179-193.

John Campbell, Castings Practice, The 10 Rules of Castings, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

John Campbell, Castings, Butterworth-Heinemann, 2003

Johnson A: Naylor A: Tucker D Copper Wire Production: IWMA/Intras Publications, 1990

K. Dies, Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1967

L.S. Darken and R.W. Gurry, Physical Chemistry of Metals, McGraw-Hill, 1953

L.S. Darken, Thermodynamics and Physical Metallurgy, American Society for Metals, 1950

Ludwig, M. Gruber-Pretzler, M. Wu, A. Kuhn, J.Riedle, About the Formation of Macroseggregations During Continuous Casting of Sn-Bronze, FDMP, vol.1, no.4, 2005, pp.285-300

Luong, M.P., (1998), Fatigue limit evaluation of metals using an infrared thermographic technique", Mechanics of Materials, vol. 28, pp. 155-163

M. Bamberger and B. Prinz: Mathematical modeling of the temperature field in continuous casting. Z. Metall. Vol. 77(1986), No. 4, p. 234–38

M. Matovic, S. Panic, Z. Popovic, M. Stefanovic, J. Zivanic, M. Peric, Eta-Mu modeled multipath propagation of electromagnetic waves, Technics technologies education management, Volume 7, Number, 2012, pp. 456-461.

M. Mitovski idr., Ispitivanje strukturnih i mehaničkih karakteristika nekih bezolovnih lemnih legura na bazi bakar-kalj sistema, Hemijska industrija, 62(3), 2008, pp.160-163.

M.M. Wolf, "History of Continuous Casting," in *Steelmaking Conference Proceedings*, 75,(Iron & Steel Society, Warrendale, PA, 1992), 83-137.

Maksimović S., Vasović I., Maksimović M., Djurić M.; *Computation methods and software in fatigue life estimations of structural components under general load spectrum*; ICDM - First International Conference on Damage Mechanics , Belgrade, Serbia; June 27 2012. pp. 213-216.

Mandić, G., *Osnovni principi infracrvene termografije, Integritet i vek konstrukcija*, vol.6, n1-2, 15-23, 2006.

*Materials and Products for Continuous Casting Technology, Industrial Applications*, SGL Group – The Carbon Company, Bonn/Germany 2010.

Milan Arsenović, Branko Skoric, Marina Kutin, and Marko Ristic, *Influence of mold flow velocities on fracture of continuous cast specimens made of bronze alloy*, 10th International Conference on Structural Integrity of Welded Structures (ISCS13), July 11-12, 2013, Timisoara, Romania

*Mold Operation for Quality and Productivity*, A. Cramb, ed., (Iron and Steel Society, 186 Thorn Hill Road, Warrendale, PA 15086-7512, 1991).

NDT.net - The e-Journal of Nondestructive Testing ; Nondestructive Testing Encyclopedia

NDT.net - The e-Journal of Nondestructive Testing ; Nondestructive Testing Encyclopedia

Nowinski, J.L., *Theory of thermoelasticity with applications*, Sijthoff & Noordhoff International Publisher B.V. Alphenan den Rijn, 1978.

P. K. Liaw - B. J. Taszarek - S. Frohlich - M. N. Gungor, *Correlation of mechanical properties with nondestructive evaluation of babbitt metal/bronze composite interface* Metallurgical Transactions A - Vol. 19, Issue 9, 1988, pp. 2215-2224

P.F. Cuypers, *Continuous Casting in the Copper Industry*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1987.

Peter Beeley, *Foundry Technology*, Butterworth-Heinemann, 2001.

PH. Hermann, D.G.Morris, *Metallurgical and Materials Transactions A*. 1994, 25A

*Proceedings of the 1997 International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting*, A. Mitchell and P. Auburtin, eds., (Santa Fe, NM:, 1997).

Prof. J.S. Colton, *Manufacturing Processes and Equipment*, GIT, 2011.

Prof. J.S. Colton, ME 4210: *Manufacturing Processes and Equipment*, GIT 2011

Prof. Karl B. Rundman, Dept. of Materials Science and Engineering Michigan Tech. University, *METAL CASTING, Reference Book for MY4130*

Prof. Karl B. Rundman, *METAL CASTING*, Dept. of Materials Science and Engineering Michigan Tech. University, 2003.

R. CHAUDHARY, GO-GI LEE, B.G. THOMAS, SEONG-MOOK CHO, SEON-HYO KIM, and OH-DUCK KWON, *Effect of Stopper-Rod Misalignment on Fluid Flow in Continuous Casting of Steel*, METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS B, VOLUME 42B, APRIL 2011, 301



- R. Wilson, A practical approach to Continuous Casting of Copper Alloys and Precious Metals, (London, UK: Inst. of Materials, 1 Carlton House Terrace, 1999).
- R. Wilson, A practical approach to Continuous Casting of Copper Alloys and Precious Metals, (London, UK: Inst. of Materials, 1 Carlton House Terrace, 1999), #B0725, 1-300.
- R. Zauter, K. Ohla, H. R. Müller, and J. Maier, "Spray-formed materials for low temperature superconductors," in Proc. 5th Int. Conf. Spray Forming (SDMA 2003/ICSF V), Bremen, Germany, 2003.
- R. Zauter, K. Ohla, H.R. Müller, J. Maier, Intern. Conf. On Spray Deposition and Melt Atomization, SDMA 2003, Bremen – Germany, 2003.
- Renée Schwartz, Study of the continuous casting of peritectic steel grades by a mesoscopic damage approach, PhD, Faculty of Applied Sciences, UNIVERSITY of Liege, 2011.
- S. Louhenkilpi, E. Laitinen, R. Nieminen: Real-Time Simulation of Heat Transfer in Continuous Casting. *Met. Trans. B*. Vol. 24B (1993), August.
- Seid Koric, Lance C. Hibbeler, Rui Liu & Brian G. Thomas (2010): Multiphysics Model of Metal Solidification on the Continuum Level, *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, 58:6, 371-392
- Siemens VAI, Continuous Slab Casting Solutions, 2008.
- STEVE HURST, METAL CASTING, Intermediate Technology Publications, 1996.
- T.F. Bower, M.R. Randlett, "Solidification structure of copper alloys ingots", *Metals Handbook*, 9th, 9, ASM.
- THE COMMITTEE ON METALLURGY, Metallurgy, PITMAN PUBLISHING CORPORATION, 1957
- Thomas, B.G., "Continuous Casting," *The Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, Vol. 2, 2001, pp. 1595-1599.
- Thomas, B.G., "Continuous Casting: Complex Models," *The Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, Vol. 2, 2001, pp. 1599-1609.
- W.R. Irving, Continuous Casting of Steel, (London, UK: Inst. of Materials, 1 Carlton House Terrace, 1993), 1-206.
- Wedler, G., Brink, A., Maierhofer, CH., Röllig, M., Weritzf., Wiggerhauser, H., Infrared Thermography in Civil Engineering - Quantitative Analysis by Numerical Simulation, International Symposium (NDT-CE 2003) Non- Destructive Testing in Civil Engineering, (2003).
- Y.K. Rao Stoichiometry and Thermodynamics of Metallurgical Processes, Cambridge University Press, 1985, p 383-394
- Y.M. Won, B.G. Thomas, Simple model of microsegregation during solidification of steels, *Metall. Mater. Trans. A* 32A (2001) 1755–1767
- Y.M. Won, B.G. Thomas, Simple model of microsegregation during solidification of steels, *Metall. Mater. Trans. A* 32A (2001) 1755–1767

Yasin Alemdag, Temel Savaskan, Mechanical and tribological properties of Al– 40Zn– Cu alloys, Tribology International 42 (2009) 176– 182

М. Арсеновић, А. Костов, Континуално ливење профила малих попречних пресека, Бор, 2001.