

# ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ - ДОКУМЕНТАЦИЈА

## **„УРЕЂАЈ ЗА ИСПИТИВАЊЕ ТРИБОЛОШКИХ УТИЦАЈА У ПРОЦЕСУ ДУБОКОГ ИЗВЛАЧЕЊА СА СТАЊЕЊЕМ ДЕБЉИНЕ ЛИМА”**

### **Аутори техничког решења**

- Др Драган Адамовић, ванр. проф.
- Др Милентије Стефановић, ред. проф.
- Др Србислав Александровић, ред. проф.

### **Наручилац техничког решења**

- Од идејног решења, преко израде, до пробних испитивања и пуштања у рад, уређај је урађен у оквиру истраживачких активности Лабораторије за обраду деформисањем и машинске материјале Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и дисертације др Драгана Адамовића, урађене под менторством др Милентија Стефановића, редовног професора Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

### **Корисник техничког решења**

- Лабораторија за обраду деформисањем и машинске материјале, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

### **Година када је техничко решење урађено**

- 2002.

### **Област технике на коју се техничко решење односи**

- Производно машинство, Технологија пластичног обликовања метала, Трибологија

### **1. Опис проблема који се решава техничким решењем**

Предложено техничко решење односи се на област технологије дубоког извлачења са стањењем дебљине лима. То је технологија у којој се као полуфабрикат користи лим од нискоугљеничних челика, аустенитних нерђајућих челика, алуминијума и његових легура, месинга и других металних материјала. Дебљина лима је најчешће мања од 3 mm. Иако је лим полуфабрикат, особине процеса обликовања, пре свега високи контактни притисци (и преко 2000 MPa) сврставају дубоко извлачење са стањењем у поступке масивног (запреминског) обликовања. За разумевање значаја овог процеса обликовања у савременој индустрији, биће довољно поменути да се готово целокупна светска производња лименки за паковање хране и пића скоро искључиво производи на тај начин. Реч је о више милијарди комада годишње. Слично важи и за производњу чаура различитих димензија у војној индустрији. Геометрија комада је цилиндрична, при чему је дебљина вертикалног зида релативно мала (најчешће између 0,1 и 0,5 mm), а дебљина дна нешто већа. Однос висине и пречника је најчешће између 2:1 и 10:1.

Код процеса обликовања дубоким извлачењем са стањењем лима суштински важну

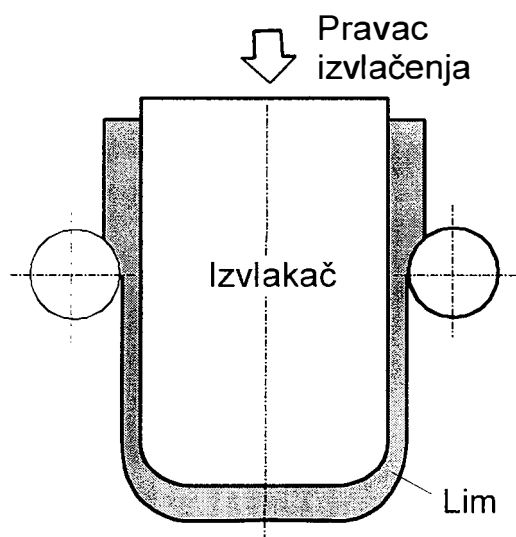
улогу имају триболошке појаве. Најважнији узрок су врло високе вредности контактних притисака у зони обликовања. Предложено техничко решење омогућава реалну процену утицаја следећих фактора на процес обликовања: врсте материјала комада и алата, стања контактних површина комада и алата, геометријских параметара алата (нпр. угао нагиба матрице), параметара процеса (нпр.: сила држања, брзина деформације итд.), врсте и карактера оствареног трења, температуре итд. Са практичног аспеката, можда је најважније поменути могућност да се на предложеном уређају веома ефикасно врши анализа подмазивања и оцена различитих мазива намењених за примену у веома тешким условима процеса дубоког извлачења са стањењем.

На основу претходно изнетог произилази да се предложеним уређајем, поред научних истраживања, могу непосредно дефинисати конкретни технолошки параметри и извршити избор оптималног средства за подмазивање у тешким и захтевним условима пластичног обликовања дубоким извлачењем са стањењем лима.

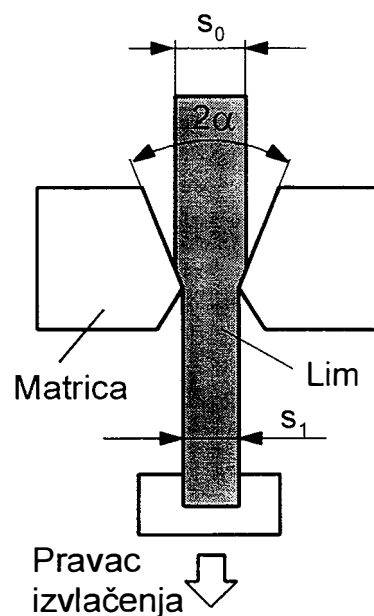
## 2. Тренутно стање решавања сличних проблема на међународном нивоу

Већ неколико деценија не престаје потреба за уређајима који у лабораторијским условима могу да на физичком моделу процеса дубоког извлачења са стањењем, дају значајне податке о процесу обликовања, материјалу комада и алата, као и о најповољнијим мазивима. Развојем нових материјала, нових мерних инструментација и нових идеја, појављивала су се и решења одговарајућих уређаја. Ни једно решење нема универзалну примену, него је, углавном, усмерено ка испитивању неког од карактеристичних утицаја у одговарајућим условима.

Принципијелна схема једног од првих уређаја дата је на сл. 1. Мери се нормална бочна сила и сила извлачења, са циљем одређивања коефицијента трења.

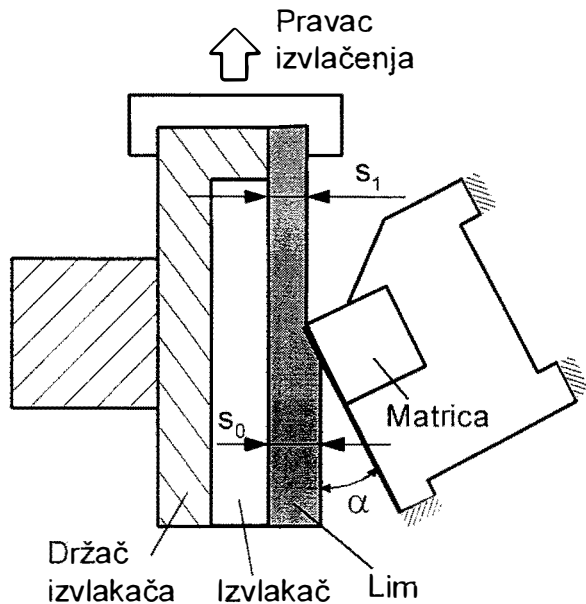


Сл. 1 Принцип уређаја Вејлера и Лихтмана [1]

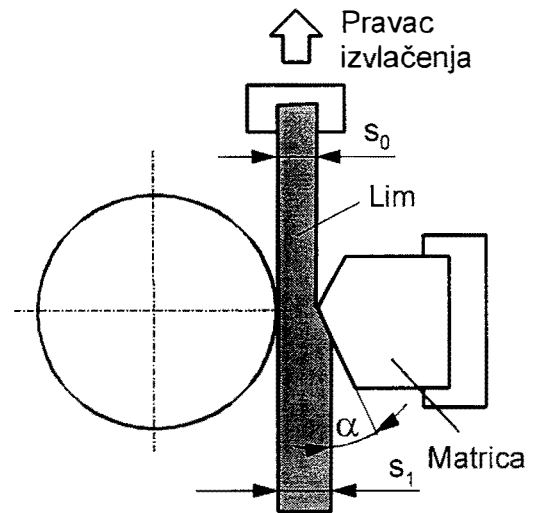


Сл. 2 Принцип уређаја Schlossera [2]

Уређај Schlossera (сл. 2) примењује модел клизања траке лима са стањењем. Преко бочних притискивача делује се бочним нормалним силама које врше стањење са одговарајућим степеном деформисања. Истовремено делује вучна сила. Елементи држача својим углом нагиба симулирају геометрију матрице реалног алата. Уз познавање геометрије контакта, вучне силе, силе држања и степена стањења могуће је израчунати коефицијент трења и контактни притисак.



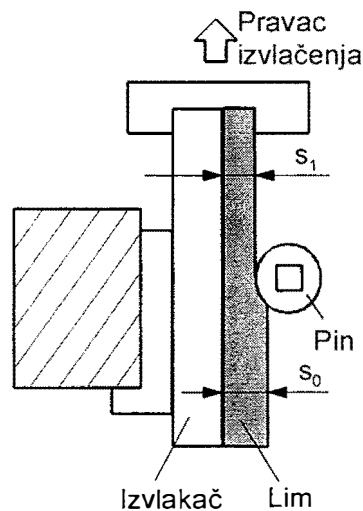
Сл. 3 Принцип уређаја Kawai-a [3]



Сл. 4 Принцип уређаја Jonassona [4]

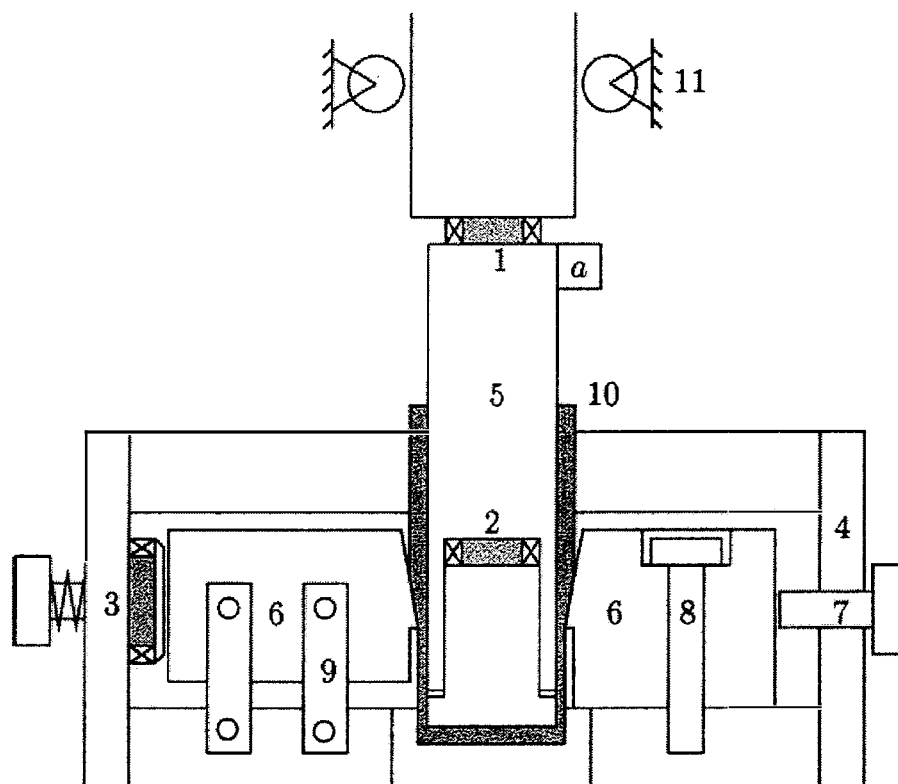
Уређај који је развио Kawai (сл. 3) омогућава испитивање неколико променљивих фактора: материјала алата, угла нагиба матрице, пута клизања, брзине клизања, храпавости матрице и извлакача итд. Мери се укупна сила извлачења, нормална и тангенцијална сила у контакту. Није обезбеђено мерење силе трења у контакту лима и извлакача.

Принцип рада уређаја Jonassona дат је на сл. 4. Трака лима клизи са стањењем између обртног цилиндра са леве стране и држача са десне стране. Могуће је мерити: тангенцијалне и нормалне силе, обртни момент цилиндра, одговарајуће силе затезања итд. Лим може да се креће различитим брзинама. Примењени модел у значајној мери одступа од реалних услова контакта матрице и лима у индустријским алатима.



Сл. 5 Принцип уређаја Andreassen - Bay [5]

Код уређаја на сл. 5 трака лима се стањује између неротирајућег пина који опонаша матрицу и призматичног носача који опонаша извлакач. Уређај омогућава да се испитује утицај степена редукције, брзине клизања и температуре алата на дужини хода при коме настаје појава „galling”-а у различитим режимима подмазивања.



Сл. 6 Принцип уређаја van der Aa [6]

Код уређаја на сл. 6 трака лима 10 има „U“ облик који најбоље симулира реалан облик комада. Извлакач 5 је дводелан. Давачем 2 мери се сила на челу извлакача, а давачем 1 укупна сила извлачења која укључује и трење. Позиција 6 означава елементе матрице, односно држача. Леви је непокретан и наслања се на давач за мерење нормалне силе 3. Завртњем 7 дефинише се степен стањења, а завртњем 8 врши се осигурање положаја померљивог десног држача 6. Позицијом 9 означена је вођица левог држача 6. Захваљујући уграђеним давачима и систему за аквизицију података уређај омогућава дефинисање коефицијента трења на извлакачу и матрици, као и промену вучне силе у различитим условима контакта и брзине клизања.

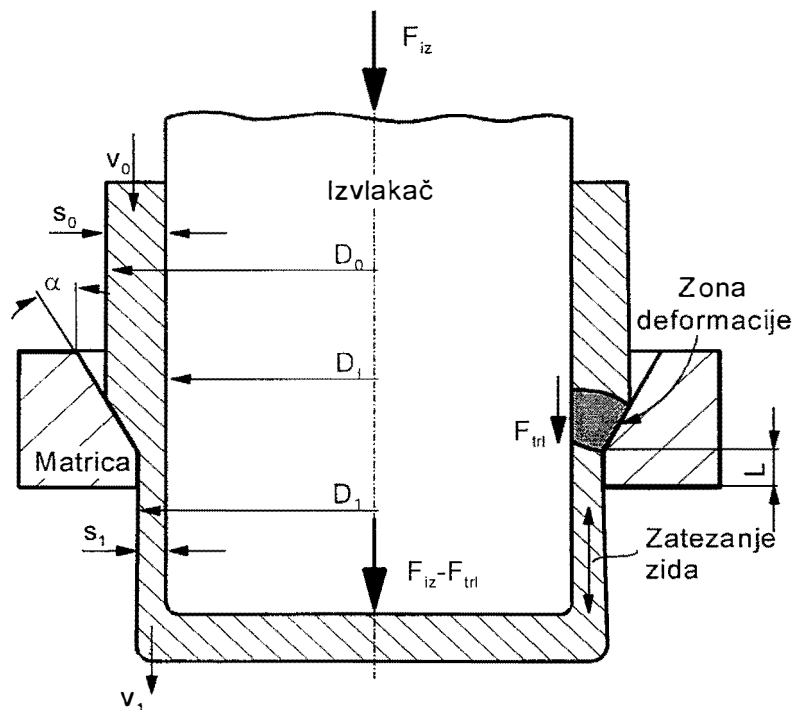
У опсежном истраживању метода оцене мазива за различите поступке обликовања лима [7] поменут је и уређај за испитивање клизања трака са стањењем. Реч је о уређају за хоризонтално вучење трака дужине 500 mm брзином 25 – 150 mm/s у температурном опсегу 25 – 250 °C. Испитују се услови при којима настаје појава „galling“.

И истраживању [8] користи се уређај сличан индустријском алату са уграђеним давачем за мерење силе извлачења. Анализира се извлачење са стањењем савремених лимова повишене чврстоће у различитим контактним условима уз примену различитих мазива. Основа за анализу су зависности силе извлачења од хода извлакача.

### 3. Суштина техничког решења

Процес дубоког извлачења са стањењем лима, кроз једну матрицу, схематски је приказан на сл. 7, са општим приказом сила трења у контакту комада и матрице, односно извлакача. Дејство сила трења у зони деформисања је различито; на спољашњој површини (између комада и матрице) ове силе ( $F_{trM}$ ) повећавају напоне затезања, а на унутрашњој (између комада и извлакача, силе  $F_{trI}$ ) растеређују критичан пресек, умањујући напоне у

зиду дела који се извлачи. То је главни разлог за постизање високих степена деформације и остваривање знатних прираштаја релативне дубине при извлачењу.



Сл. 7 Основна схема дубоког извлачења са стањењем лима

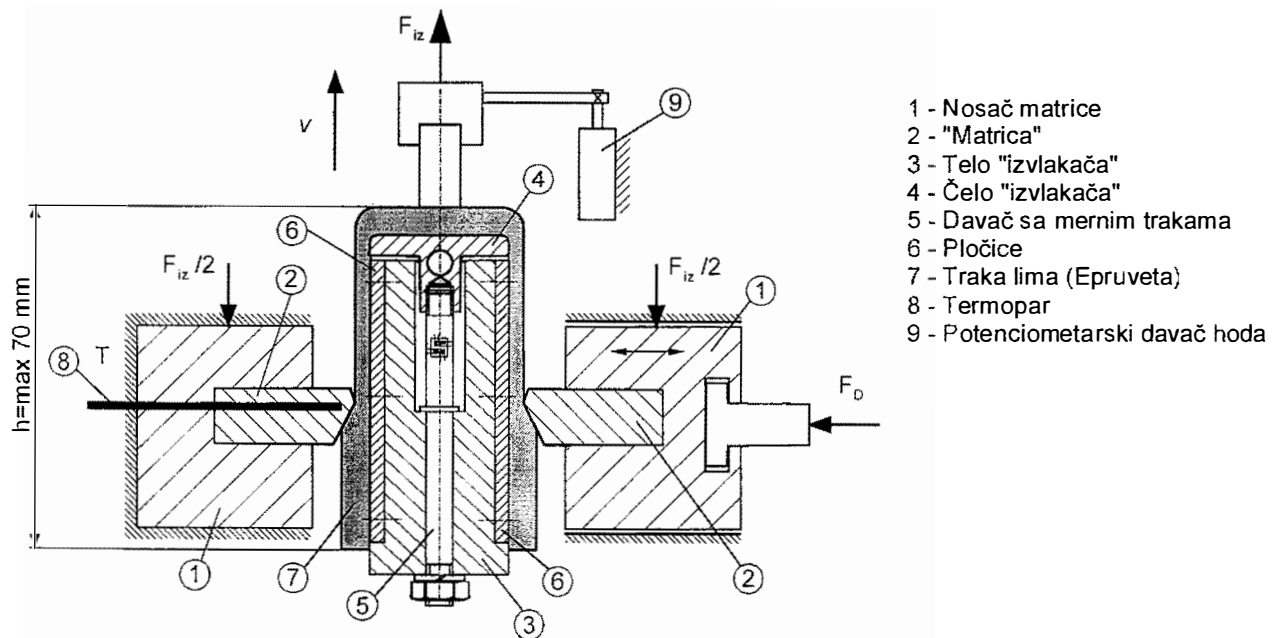
Стањење се изводи у условима који су блиски раванском деформационом стању. Повећање трења на страни извлакача умањује критични затежући напон, али се укупна сила извлачења повећава. При томе сила  $F_{trl}$  не сме толико да порасте да се на контактної површини комада појаве груба задирања и микро приваривања (или налепљивања) честица метала радног комада на алат, што би довело до оштећења радног комада и алата и отежало скидање радног комада са извлакача.

Јасно је да је утицај триболошких утицаја при дубоком извлачењу са стањењем дебљине лима изузетно важан и представљао је предмет изучавања низа истраживача протеклих година, како у реалним процесима тако и на трибо-моделима. Испитивање триболошких услова у реалним процесима је знатно дуже и скупље, па су стога знатно заступљенија испитивања на трибо-моделима.

Моделирање триболошких услова при извлачењу са стањењем зида подразумева задовољавање минимума потребних критеријума с обзиром на: сличност у напонско-деформационим карактеристикама, температурско-брзинским условима, особинама површине алата и материјала као и стању њиховог контакта за време процеса.

Физичко моделирање, које је најчешће основа трибо-истраживања, подразумева изучавање реалног процеса у лабораторијским условима уз модификовање услова реализације процеса, геометријских величина или врста материјала који се обрађују, у складу са законима сличности. Постављени услови при моделирању у потпуности морају да задовољавају геометријску, механичку и физичку сличност процеса којима су подвргнути оригинал и модел.

Сагледавајући добре и лоше стране претходно наведених модела, предложен је уређај који садржи нови трибо-модел дубоког извлачења са стањењем лима, који двострано симетрично опонаша зону контакта са матрицом и извлакачем. Овај модел омогућава остваривање високих контактних притисака и уважава физичке и геометријске услове реалног процеса (материјал матрице и извлакача, топографија контактних површина, угао конуса матрице -  $\alpha$  и др.). Схема поменутог трибо-модела дата је на сл. 8.



Сл. 8 Схема централног дела уређаја предложеног техничког решења

Савијена трака од лима 7, у облику слова „U“, (епрувета) поставља се на "извлакач". На њу се делује помоћу "матрица" 2 силом  $F_D$ . Матрице су постављене у носаче, при чему је леви носач непокретан а десни покретан заједно са матрицом. Извлакач се састоји из тела 3 и чела 4 који су међусобно спојени помоћу давача са мерним тракама 5. Епрувета се провлачи (клиза) између матрица, дејством силе  $F_{iz}$  на чело извлакача, при чему долази до стањења епрувете. Током провлачења, спољашња површина епрувете клизи по површини матрице, нагнутој за угао  $\alpha$ , а унутрашња површина епрувете клиза преко плочица б причвршћених на тело извлакача.

Уређај је реализован са компактном конструкцијом повишене крутости, са могућношћу лаке измене контактних - притисних елемената (матрице 2 и плочице 6), лаким чишћењем контактних зона и погодним постављањем епрувета.

Плочице 6 и матрице 2 могу да буду направљене од различитих материјала као и са различитом храпавошћу, а матрице и са различитим углом нагиба  $\alpha$ .

Основна идеја при реализацији овог уређаја је била да се омогући одређивање коефицијента трења, како на страни матрице, тако и на страни извлакача при различитим контактним условима.

Укупна сила извлачења  $F_{iz}$  представља збир силе трења између извлакача и радног дела,  $F_{trl}$ , и силе која делује на дно епрувете,  $F_z$  (сл. 8 и 9), тј.:

$$F_{iz} = F_{trl} + F_z$$

Сила  $F_{iz}$  се мери на самој погонској хидрауличној машини, а сила трења на страни извлакача  $F_{trl}$ , се региструје помоћу давача са мерним тракама.

Из претходне једначине следи да је:

$$F_z = F_{iz} - F_{trl}$$

Сила  $F_z$  која делује на дно траке (епрувете) оптерећује зидове траке напоном  $\sigma_z$  који може да се израчуна на основу следећег израза:

$$\sigma_z = \frac{F_z}{2 \cdot b \cdot s_1}$$

при чему је:  $b$  - ширина епрувете,

$s_1$  - дебелина епрувете после стањења.

Коефицијент трења на страни извлакача, узимајући да се мења према *Coulomb*-овом закону, може се добити на основу следећег израза:

$$\mu_l = \frac{F_{trl}}{2 \cdot F_D}$$

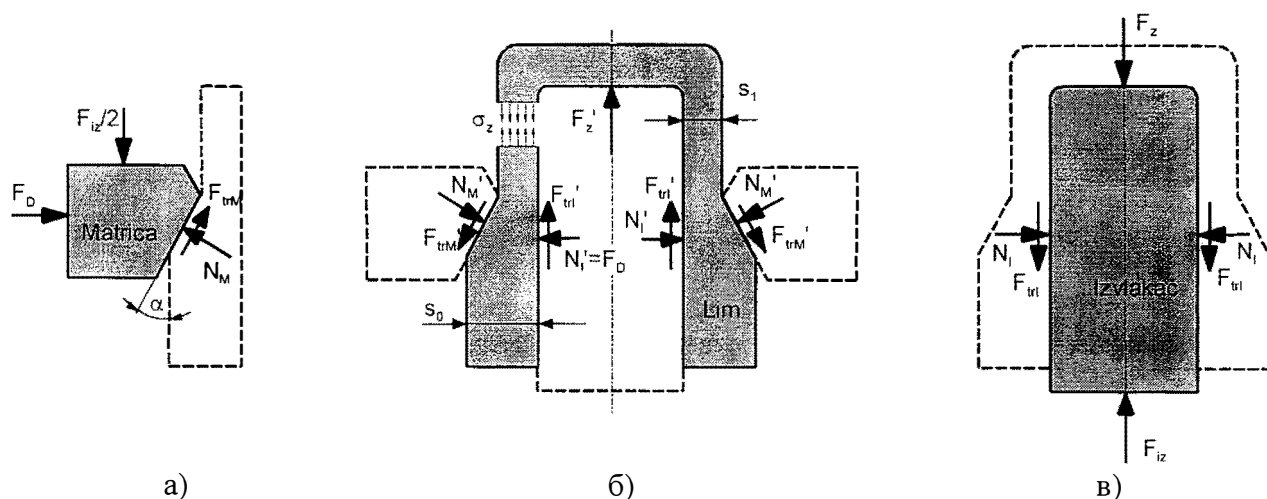
а коефицијент трења на страни матрице помоћу израза:

$$\mu_M = \frac{F_{iz} \cos \alpha - 2F_D \sin \alpha}{F_{iz} \sin \alpha + 2F_D \cos \alpha}$$

Познавајући зависност сила  $F_{iz}$  и  $F_{trl}$  од пута клизања  $h$  могуће је на основу претходних формула одредити и коефицијенте трења ( $\mu_M$  и  $\mu_l$ ) у функцији пута клизања.

Средњи контактни притисак између матрице и лима представља количник између нормалне силе, којом матрица делује на лим,  $N_M$ , и контактне површине између матрице и лима  $S_k$ :

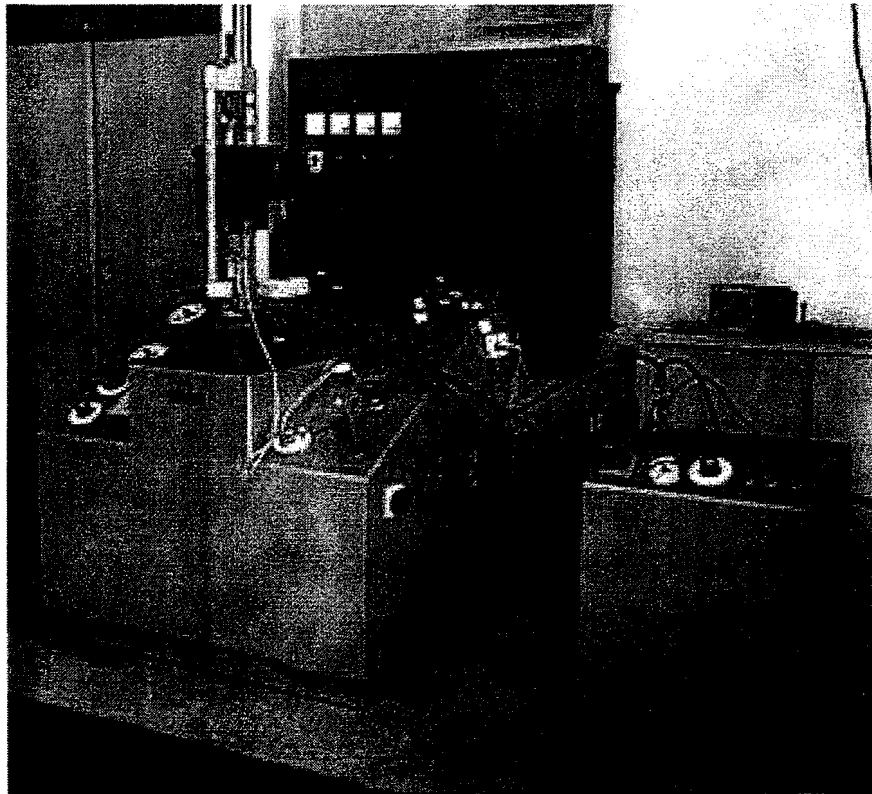
$$p_{sr} = \frac{N_M}{S_k} = \frac{2 \cdot F_D \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha + F_{iz} \cdot \sin^2 \alpha}{b \cdot (s_0 - s_1)}$$



Сл. 9 Схема деловања сила на: а) на матрицу, б) на лим и в) на извлакач.

#### 4. Детаљан опис техничког решења

Предложени уређај као погонску машину користи универзалну лабораторијску хидрауличну машину за испитивање лимова ERICHSEN 142/12 (слика 10). Поменута машина има три независна дејства и то: главно са два опсега сила (0-20 kN и 0-130 kN); дејство држача лима (0-30 kN) и дејство избацивача. Ова машина, поред класичних манометара са скалама за мерење силе има уграђене индуктивне даваче силе и хода који дају напонски сигнал ових величина. Тај сигнал може да се користи за графички приказ зависности силе од хода на стандардном X-Y писачу или за аквизицију у AD-DA системима. Промена брзине деформисања под оптерећењем је континуална и износи 0-250 mm/min.



Сл. 10 Предложени уређај монтиран на погонску машину

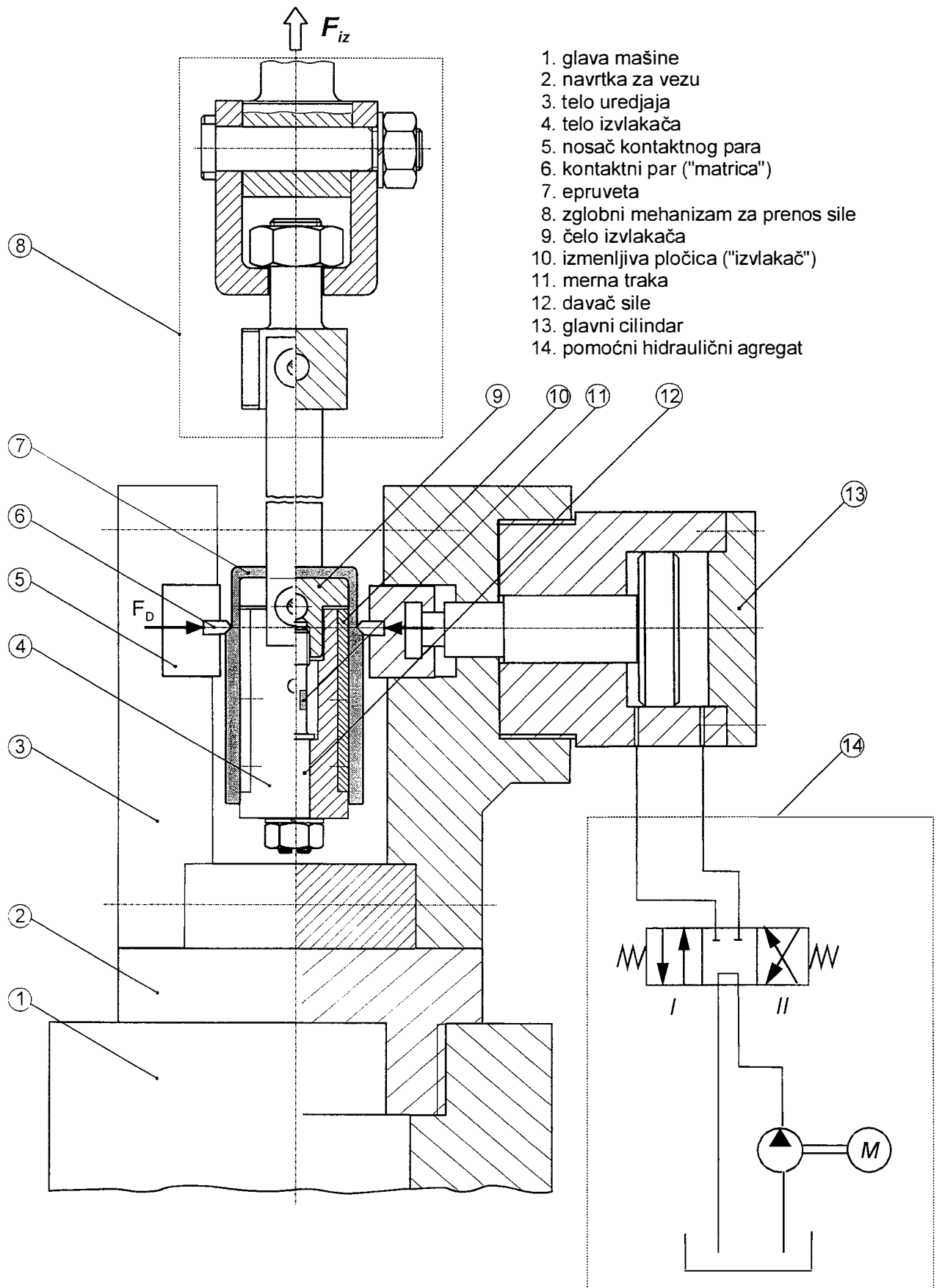
#### 4.1 Елементи предложеног уређаја

Уређај за извлачење трака лима са стањењем (слика 11) инсталиран је на специјалној машини за испитивање лимова ERICHSEN 142/12. Конструктивним решењем, овај уређај се смешта у рам прибора за испитивање затезањем, при чему се главни погон машине користи за стварање силе извлачења (сила  $F_{iz}$ ). Друго дејство, притисак на епрувету, остварује се цилиндром погоњеним хидрауличним путем, номиналне притисне силе 50 kN, преко засебне пумпе снаге 0.75 kW, са властитим мерачем силе. Између пумпе и реализованог уређаја постављен је троположајни разводник са ручним управљањем.

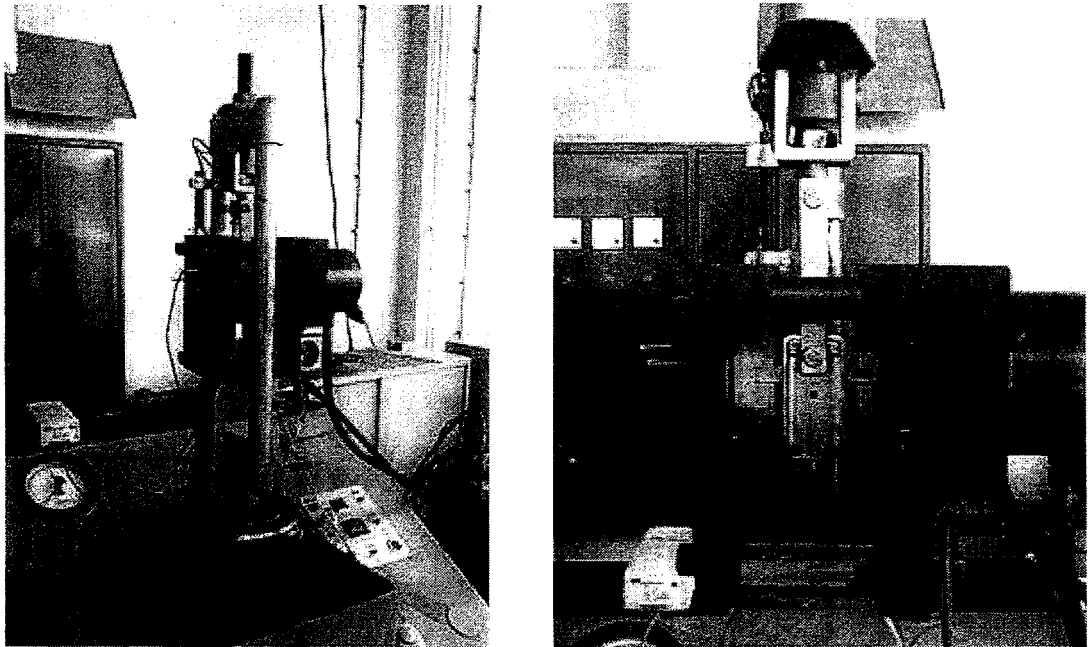
Савијена трака од лима 7 (епрувета) поставља се на "извлакач". На њу се делује помоћу "матрица" 6 силом  $F_D$ . Матрице су постављене у носаче 5, при чему је леви носач непокретан а десни покретан заједно са матрицом. Извлакач се састоји из тела 4 и чела 9 који су међусобно спојени помоћу давача силе 12 са мерним тракама (розета) 11. Епрувета се провлачи (клиза) између матрица, дејством силе  $F_{iz}$  на чело извлакача, при чему долази до стањења дебљине зида епрувете. Зглобни механизам за пренос силе омогућава обезбеђење аксијалности силе  $F_{iz}$ . Током провлачења спољашња површина епрувете клиза по, нагнутој за угао  $\alpha$ , површини матрице, а унутрашња површина епрувете клиза преко плочица 10 причвршћених завртњима на тело извлакача.

Уређај је реализован са компактном конструкцијом повишене крутости, са могућношћу лаке измене контактних - притисних елемената (матрице 6 и плочице 10), лаким чишћењем контактних зона и погодним постављањем епрувета (слика 11). Приликом израде уређаја посебна пажња је била посвећена обезбеђењу паралелности контактних површина.



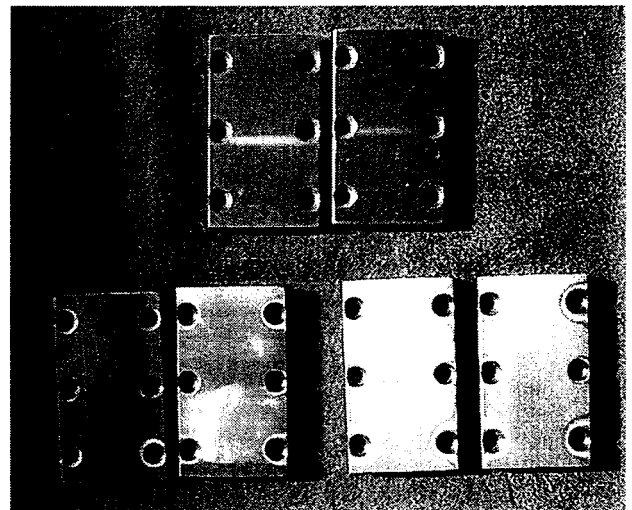
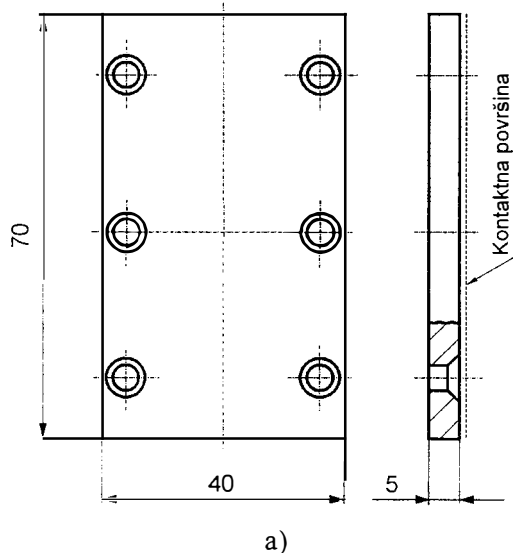


Сл. 11 Основна схема механичких и хидрауличних делова предложеног уређаја



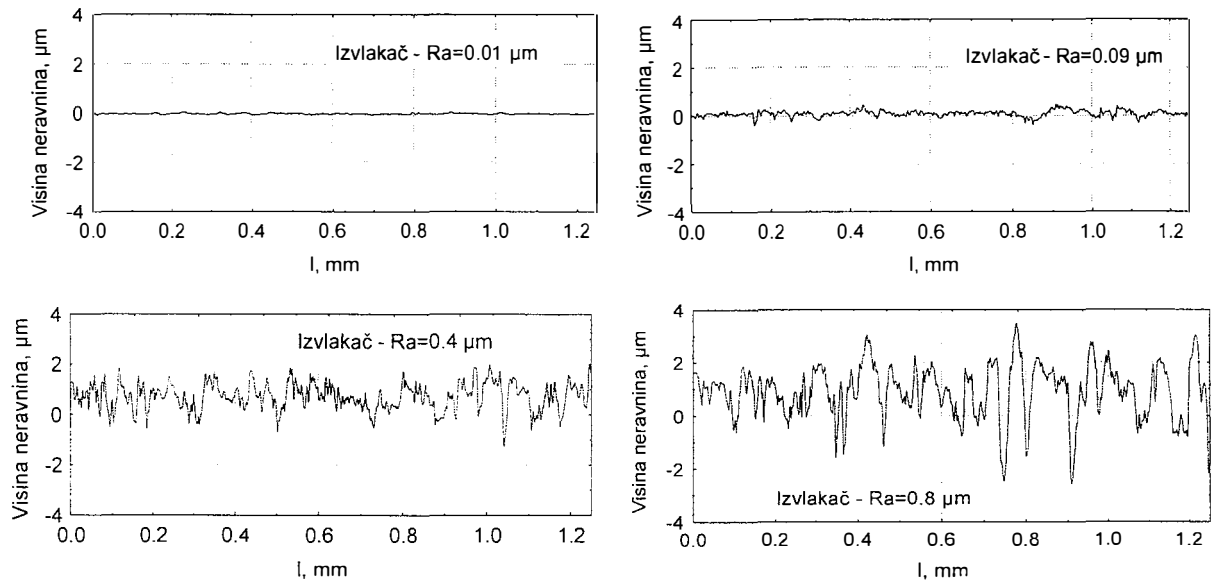
Сл. 12 Физички изглед склопа намонтираног уређаја

Пошто је основна идеја при реализацији овог уређаја била, као што је већ раније речено, да се омогући одређивање коефицијента трења, како на страни матрице, тако и на страни извлакача при различитим контактним условима, плочице 10 и матрице 6 су направљене од различитих материјала као и са различитом храпавошћу, а матрице и са различитим углом нагиба  $\alpha$ .



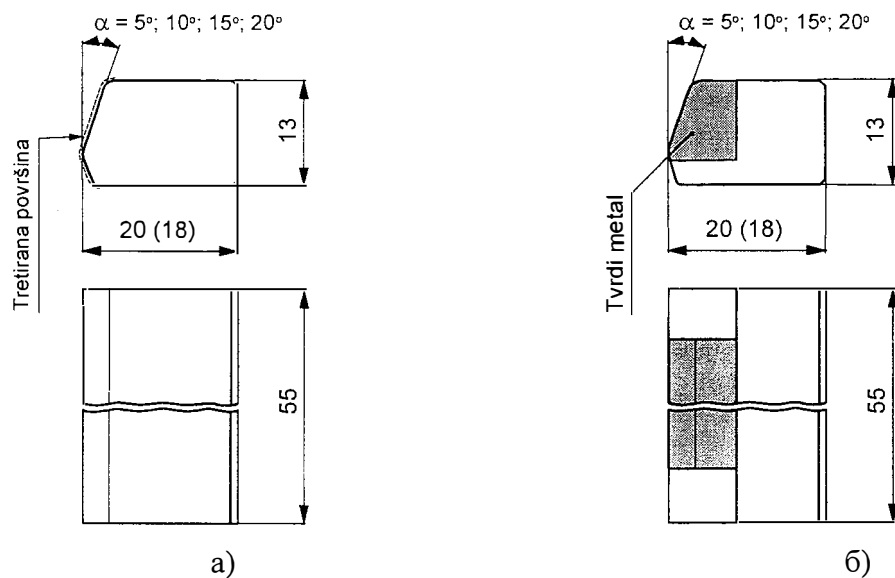
Сл. 13 Схема (а) и фотографије (б) плочица које симулирају површину извлакача

Плочице су направљене од легираног алатног челика, а њихов изглед је дат на слици 13. Направљена су укупно три комплекта плочица, при чему је на једном комплекту нанесена тврда превлака титан-нитрида ( $TiN$ ), други комплект је тврдо хромиран ( $Cr$ ), док трећи комплект није накнадно третиран ( $AC$ ). Сваки комплект се састоји од четири пара плочица, при чему сваки пар има различиту храпавост. Значи, изабрана су четири нивоа квалитета површина, односно нивоа храпавости ( $N1-R_a = 0.01 \mu m$ -полирно лепована површина;  $N3-R_a = 0.09 \mu m$ -полирана површина;  $N5-R_a = 0.4 \mu m$ -fino брушена површина и  $N6-R_a = 0.8 \mu m$ -брушена површина). На слици 14 приказани су 2D профили површина плочица.

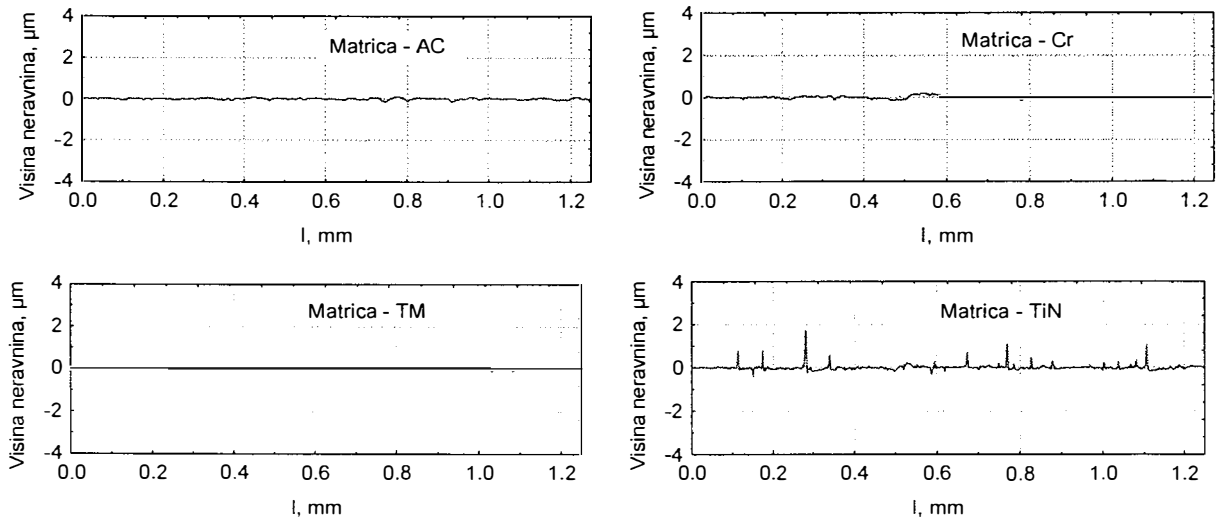


Сл. 14 Профил храпавости површине плочица - бочних страна извлакача

Матрице су израђене од легираног алатног челика (три комплет) и тврдог метала (један комплет). На једном комплету матрица од алатног челика извршено је наношење превлаке титан-нитрида (TiN), на другом комплету је изведено тврдо хромирање (Cr), а трећи комплет није накнадно третиран (AC). Превлака титан нитрида, односно хромирање је рађено само на контактним површинама (третирана површина, слика 15а). Носач матрице од тврдог метала је направљен од конструктивног челика, док је само уметак направљен од тврдог метала (слика 15б). Умечи од тврдог метала су причвршћивани за носач поступком тврдог лемљења. Сваки од комплета матрица се састоји од четири пара матрица, где сваки пар има различит угао нагиба  $\alpha$  ( $\alpha = 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ$  и  $20^\circ$ ). Контактне површине на свим матрицама су полиране и њихов 2D профил дат је на слици 16.



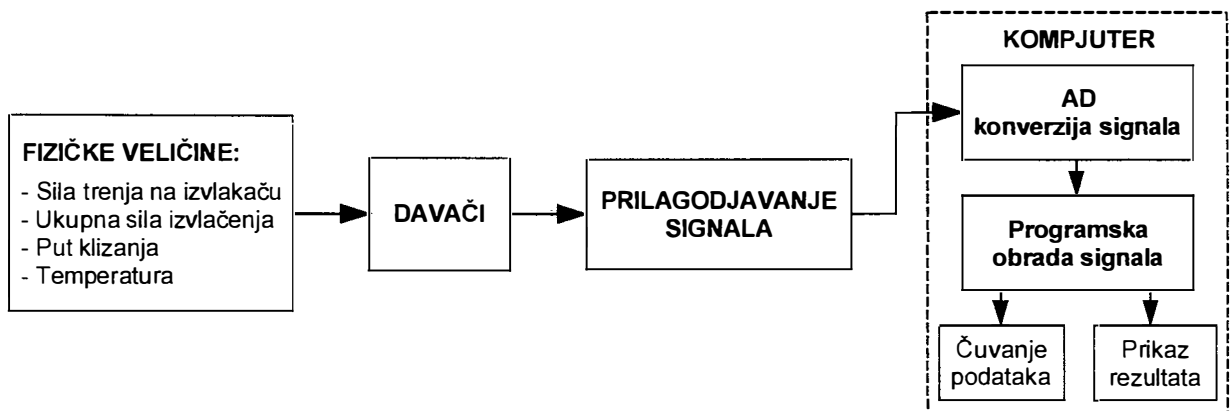
Сл. 15 Скица матрица од алатног челика (а) и тврдог метала (б)



Сл. 16 Профил хрпавости контактне површине матрице

#### 4.2 Компјутерска аквизиција података

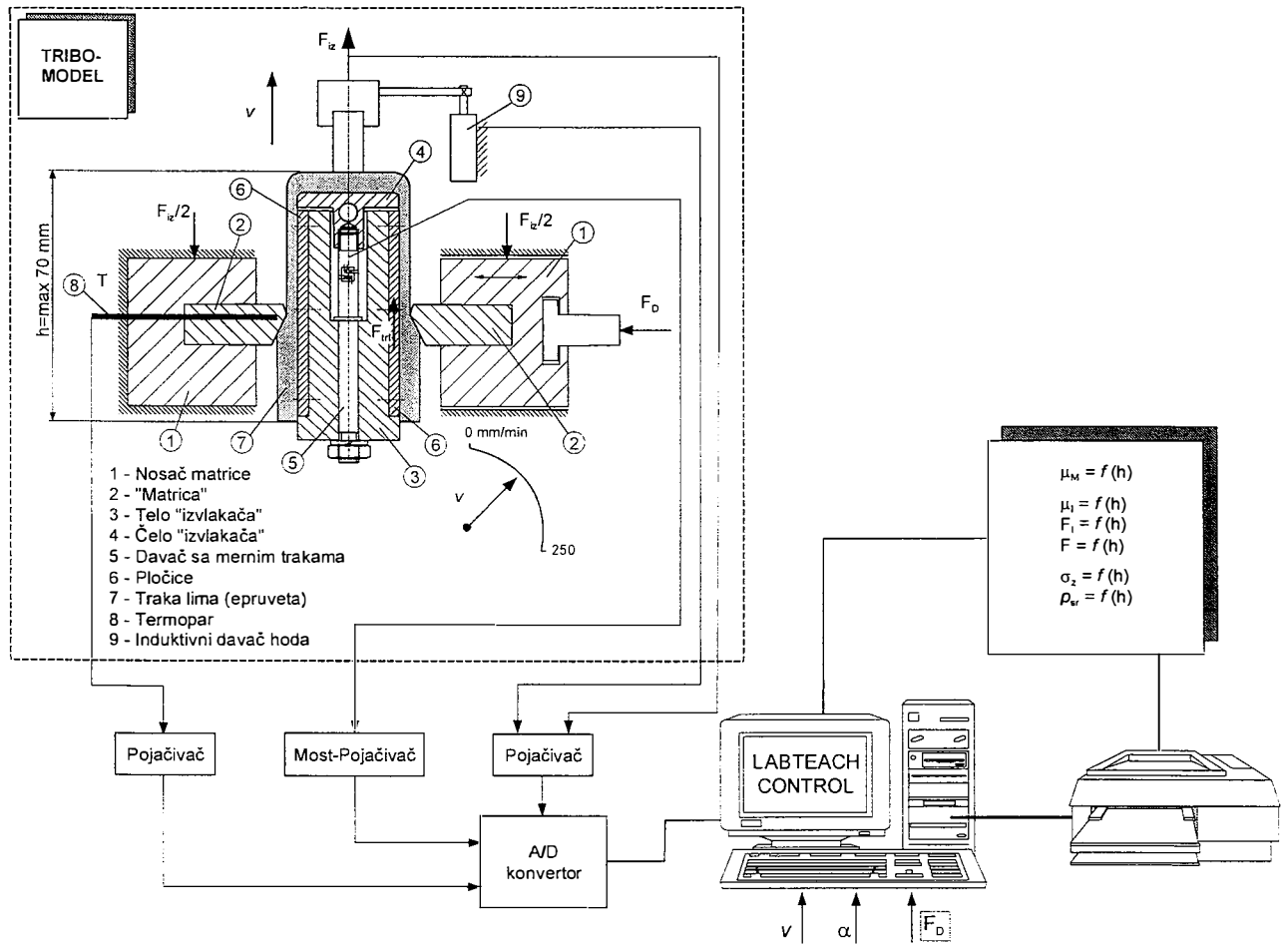
Блок дијаграм аквизиције података дат је на слици 17.



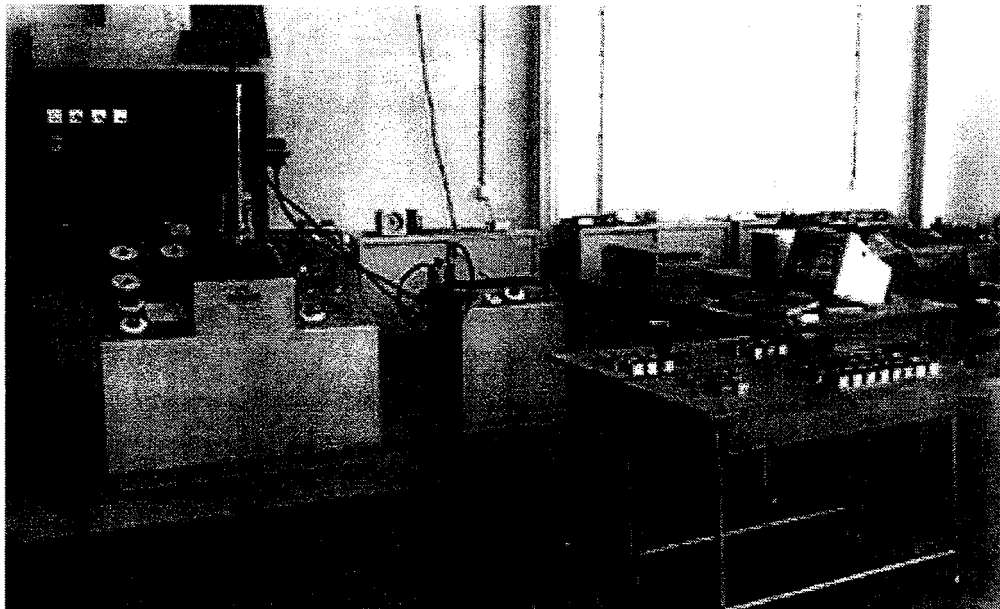
Сл. 17 Блок дијаграм аквизиције података

Изглед мерног ланца изведених испитивања, показан је на слици 18 схематски, а на слици 19 дата је фотографија тог мерног ланца. Помоћу уређаја са којим се врши симулирање процеса дубоког извлачења са стањењем дебљине зида потребно је мерити (регистровати) следеће физичке величине: силу трења на извлакачу ( $F_{tr}$ ), укупну силу извлачења ( $F_{iz}$ ) и температуру ( $T$ ), а све у функцији од пута клизања (хода извлакача -  $h$ ). Практично све те физичке величине треба претворити у аналогни сигнал (напон), затим извршити њихово прилагођавање (појачање и филтрирање), а онда тај сигнал претворити у дигитални, помоћу AD конвертора. Са тако добијеним дигиталним сигналом је могуће даље софтверски манипулисати на рачунару.

Дакле, за четири наведене физичке величине ( $F_{tr}$ ,  $F_{iz}$ ,  $h$  и  $T$ ), било је потребно обезбедити даваче који ће их претворити у аналогне, односно напонске величине.



Сл. 18 Шема мерног ланца уређаја за извлачење са стањењем лима

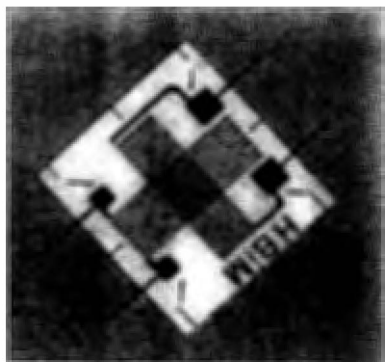


Сл. 19 Изглед комплетног уређаја са системом за аквизицију података

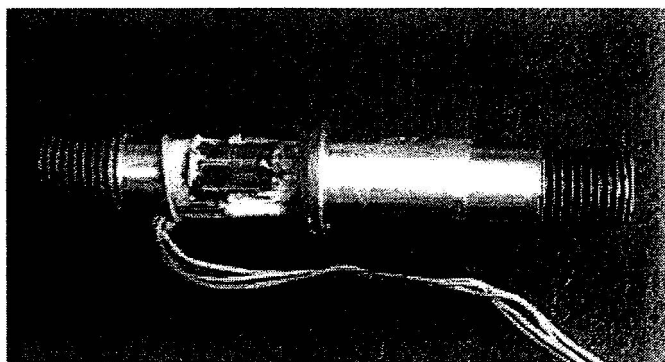
Сила трења на извлакачу региструје се помоћу давача са мерним тракама, направљеног за ово мерење. Он се састоји из једне осовинице на којој су налепљене две мерне розете, тако да је остварен пун мерни мост (слика 20б). Поменути осовиница прави везу између чела и тела извлакача као што је показано на слици 18. Укупна сила извлачења ( $F_{iz}$ ) представља збир силе која делује на дно епрувете ( $F_z$ ) и силе трења на извлакачу ( $F_{tr}$ ). Сила трења на извлакачу преко тела извлакача преноси се на осовиницу (давач) и затеже је. Услед силе затезања осовинице долази и до њеног издужења, при чему се деформишу и мерне траке налепљене на осовиницу. Резултат деформације мерних трака је промена вредности њихових електричних отпора што проузрокује и промену електричног напона на излазу мерног моста.

За испитивање су коришћене две мерне розете са по две траке (слика 20а), повезане у пун мост, а карактеристике мерних розета су:

- произвођач - НВМ (Hottinger Baldwin Messtechnik)
- ознака - VY 11



а)



б)

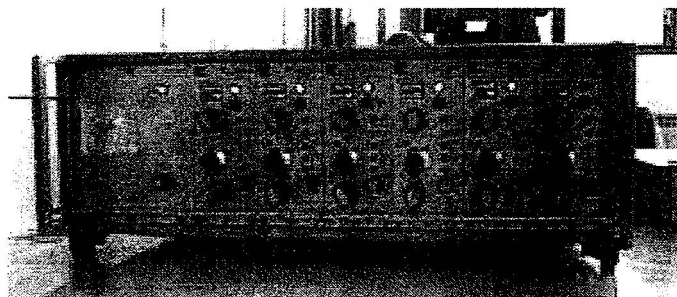
Сл. 20 Мерне траке (а) и давач силе са мерним тракама (б)

Код пасивних давача (отпорних, индуктивних, капацитивних) мерно појачивачки мост представља основни допунски уређај који има следећи задатак:

- напајање електричном струјом пасивног давача,
- подешавање излазног сигнала давача,
- појачање и филтрирање излазног сигнала давача и
- демодулирање излазног сигнала и његово мерење.

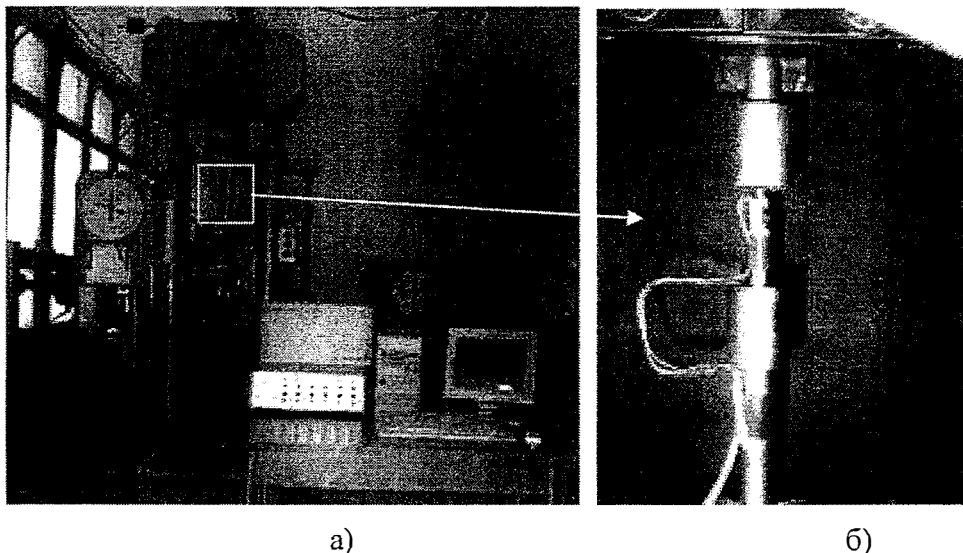
Давач се напаја наизменичном струјом високе фреквенце (5 kHz). Добијени сигнал на излазу давача се појачава у посебном појачивачу и демодулира у демодулатору. Демодулатор је повезан са филтром високе фреквенце, а задатак му је да излазни сигнал ослободи носеће фреквенце, односно да га претвори у једносмерни напон који може лако да се измери. Пре мерења, потребно је уравнотежити мерно појачивачки мост као и целу мерну инсталацију. Сигнал из мерно појачивачког моста се одводи до АД конвертора.

За испитивање је коришћен један канал шестоканалног мерно појачивачког моста НВМ KWS 673A2 (сл. 21).

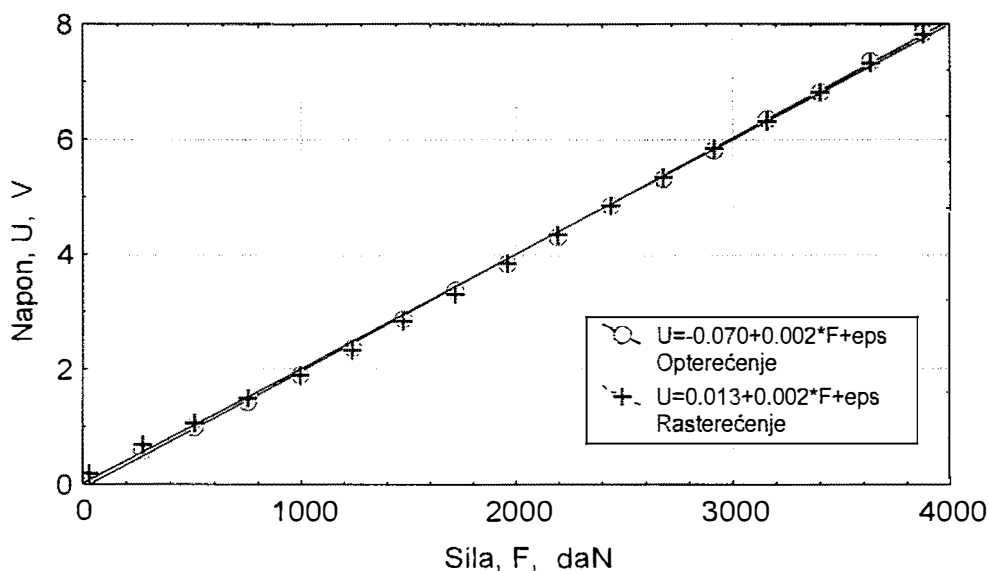


Сл. 21 Мерно појачивачки мост НВМ KWS 673A2

Пре испитивања је било потребно испитати (проверити) линеарност давача. То је изведено затезањем осовинице давача на универзалној механичкој кидалици WPM ZDM 10/91 (слика 22а). Дијаграм који показује везу између силе  $F$ , којом је оптерећен давач, и напона  $U$  који се добија на излазу из мерно појачивачког моста показан је на слици 23.



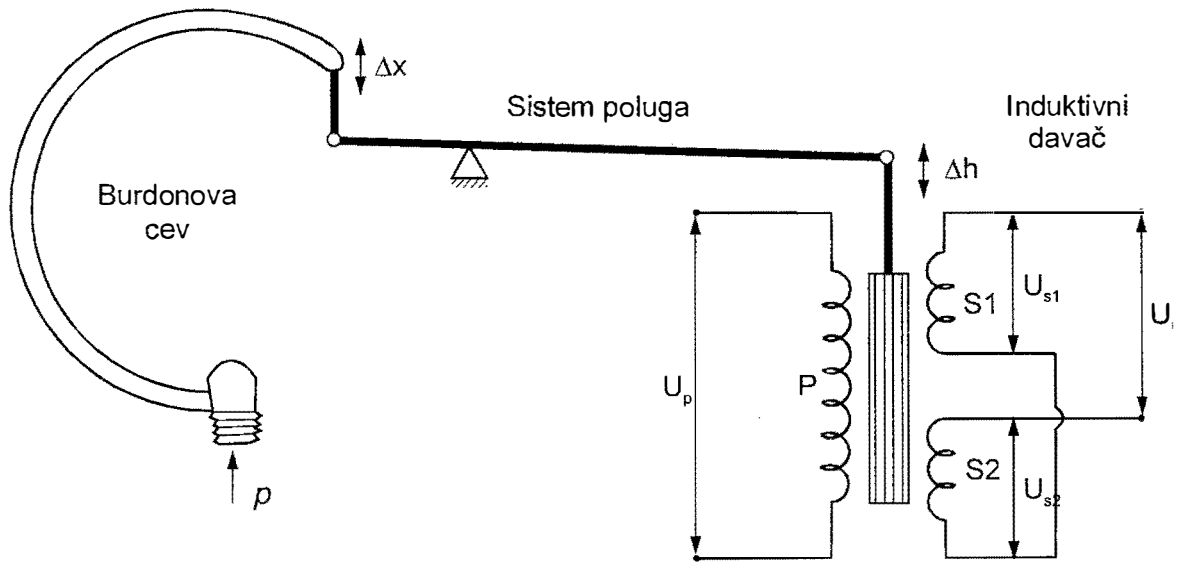
Сл. 22 Одређивање линеарности мерних трака (а) и давач у чељустима кидалице (б)



Сл 23 Дијаграм провере ленеарности давача са мерним тракама

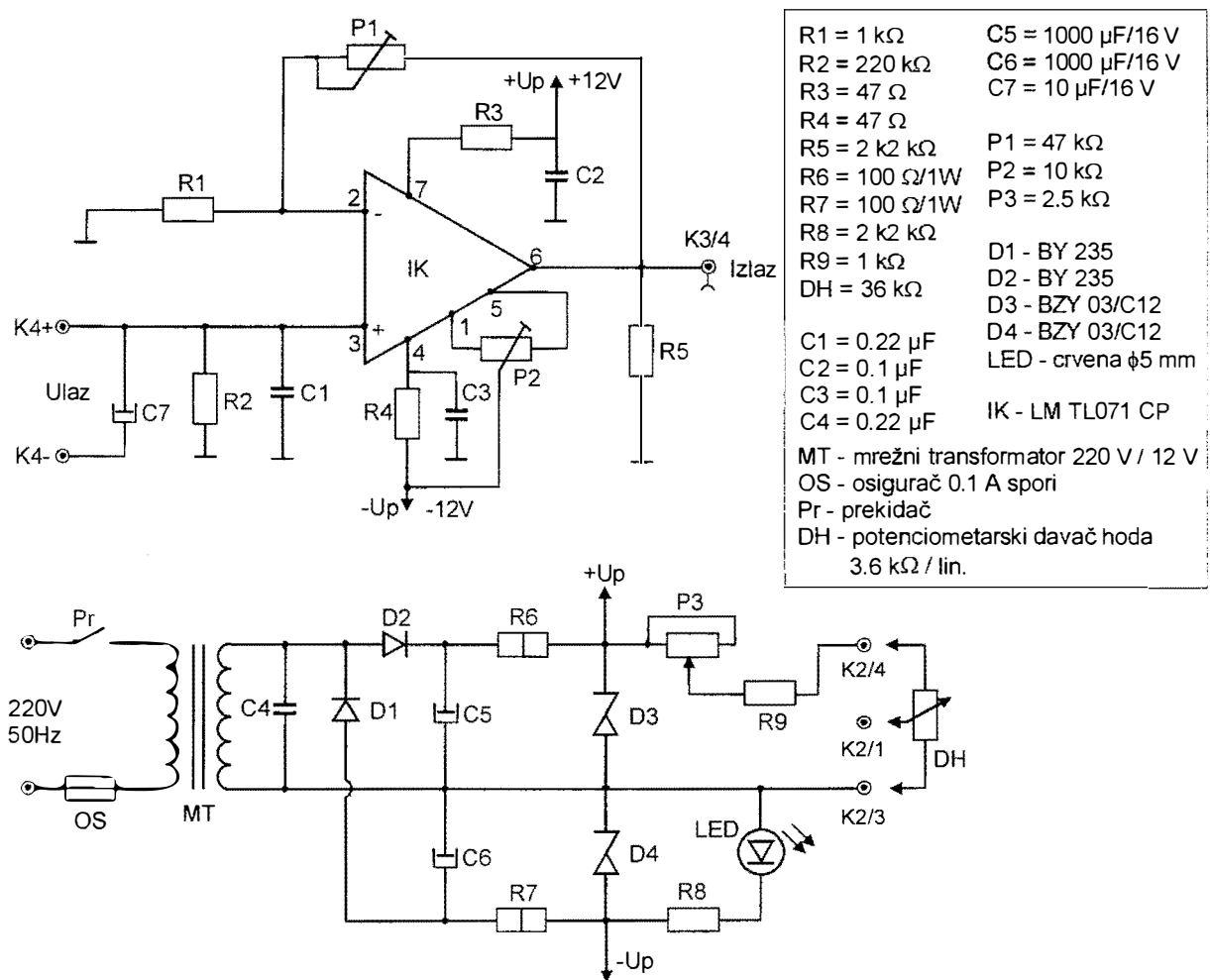
Друга важна величина, коју је било потребно мерити, је укупна сила извлачења,  $F_{iz}$ . Ова сила је мерена помоћу одговарајућег мерног склопа који је интегрисан у самој машини.

У хидрауличној инсталацији машине, на челу главног клипа, влада притисак који је пропорционалан укупној сили извлачења. Пошто је за рад индуктивног давача потребно померање, оно се остварује померањем врха (краја) Бурдон-ових цеви услед притиска у хидрауличној инсталацији. Крај Бурдон-ових цеви повезан је за један крак двокраке полуге, док је други крак полуге у вези са језгром индуктивног давача (слика 24). Дакле, померање краја Бурдон-ових цеви преноси се на језгро индуктивног давача. Услед тога мења се напон на излазу из индуктивног давача, који је директно пропорционалан оствареној укупној сили извлачења. Међутим, пошто је амплитуда тог напонског сигнала индуктивног давача релативно мала (720 mV за силу од приближно 2000 daN), било је потребно да се примени појачивач.



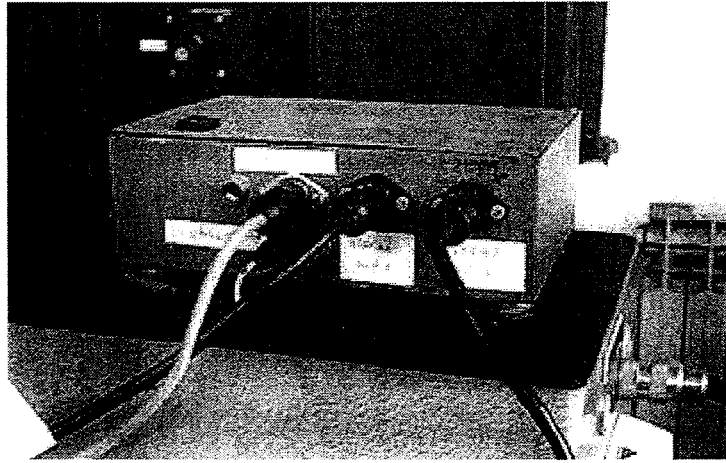
Сл. 24 Схема везе индуктивног давача за мерење силе извлачења

У ту сврху је направљен посебан појачивач, који првенствено треба да обезбеди кондиционирање улазног сигнала у АД конвертор, да би имао амплитуду већу од 5V. Електрична схема поменутог појачивача, са прегледом компонената приказана је на слици 25, а његов изглед на слици 26. Појачивач се напаја једносмерним стабилисаним напонем од  $\pm 12\text{ V}$  који се добија из исправљача, у склопу овог уређаја.



Сл. 25 Схема појачивача-исправљача





Сл. 26 Физички изглед појачивача-исправљача

Појачивач је направљен тако да се појачање може мењати помоћу тример-потенциометра P1. Фактор појачања се одређује према следећој формули:

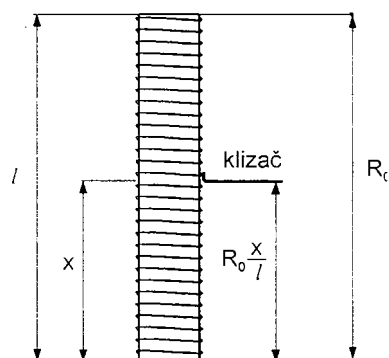
$$A_p = \frac{P_1}{R_1} + 1.$$

Појачање је изабрано тако да сили од 1000 daN (на мерном опсегу од 0-2000 daN) одговара напон на излазу из појачивача од 4 V.

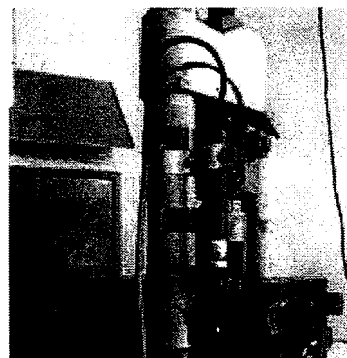
Поред тога што претходни уређај врши појачање амплитуде мерног сигнала, он врши и функцију нископропусног једнополног RC филтера. Овај филтер успешно отклања шуме настале услед рада погонског мотора (шум од 24 Hz при броју обртаја од 1440 o/min), као и вихорних струја и капацитивног ефекта код индуктивног давача, док су остали потенцијални извори шума превентивно релативно добро ублажени.

Следећи давач који је коришћен приликом испитивања је био потенциометарски давач хода. Помоћу њега се регистровао ход извлакача (пут клизања), јер је било интересантно пратити промену сила  $F_{tl}$  и  $F_{iz}$  на том путу. Карактеристике поменутог давача су следеће:

- произвођач - NOVOTECHNIK (West Germany),
- тип - B3003 а 343,
- ход- 0 до 100 mm,
- укупни отпор -  $R_0 = 3600 \Omega \pm 5\%$ ,
- снага -  $P = 3.5 \text{ W}$ ,
- линеаритет -  $\pm 0.2\%$ .



а)



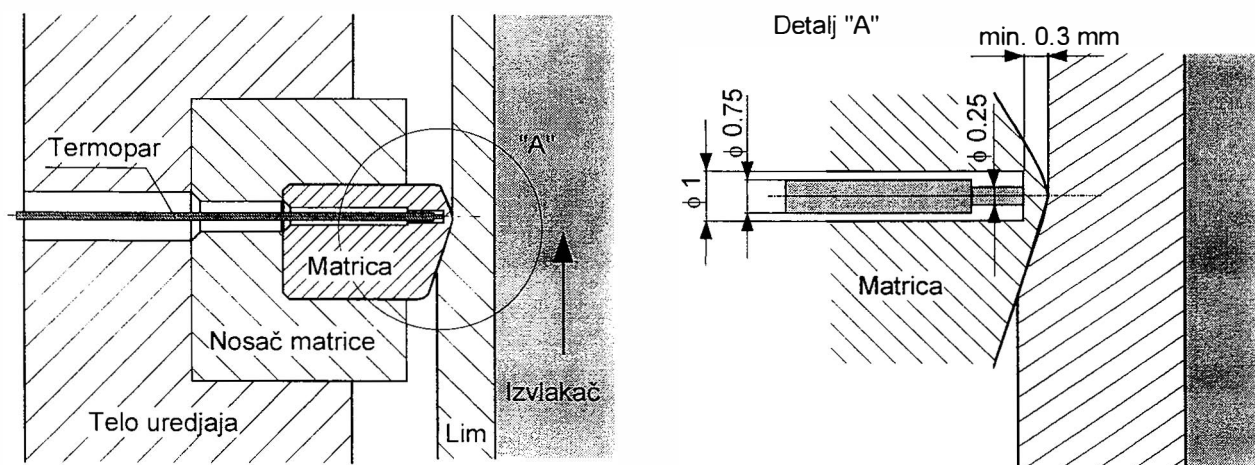
б)

Сл. 27 Схематски изглед (а) и фотографија потенциометарског давача хода (б)

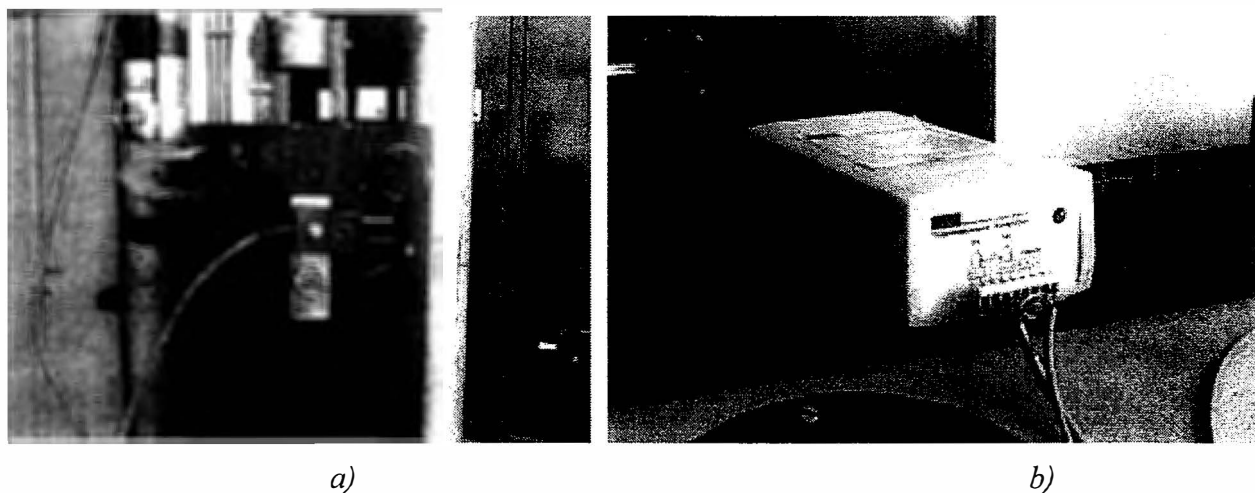
Овај давач спада у групу пасивних отпорних давача, па је стога потребно његово посебно напајање. Напајање се изводи преко већ поменутог исправљача једносмерним

напоном од  $\approx 3.5$  V. Размера давача хода је подешавана помоћу потенциометра P3 (слика 25), тако да је износила 1 V/1 cm. Схематски изглед потенциометарског давача приказан је на слици 27а, а изглед постављеног давача на уређај за испитивање на слици 27б.

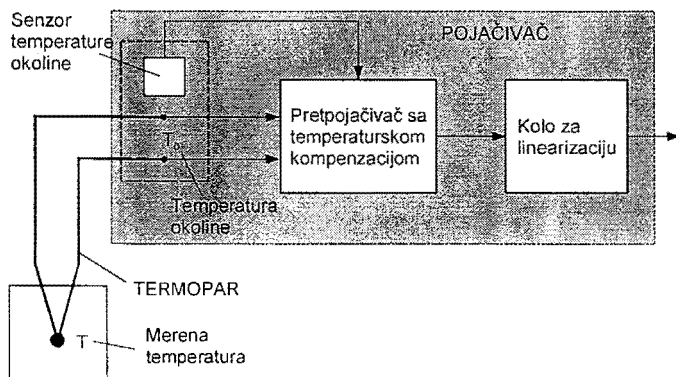
Четврта величина коју је било потребно мерити је температура. За мерење температуре је коришћен термопар, кога је требало поставити што ближе контактним клизним површинама. У ту сврху избушени су отвори кроз тело уређаја, носач матрице као и саму матрицу (слика 28). Отвор у самој матрици је требало да има равно дно, због доброг контакта врха термопара и матрице, што је постигнуто бушењем рупе  $\varnothing 1$  mm на ерозимату. Растојање између дна рупе и врха нагиба матрице износило је између 0.3 и 0.6 mm и мерено је за сваку матрицу. Пре постављања термопара увек је на његов врх наносила мала количина термопроводне силиконске масти. Сигнал који је добијан од термопара појачаван је појачивачем (слика 29б) а онда одвођен до АД конвертора. На слици 29а показано је постављање термопара у уређај за испитивање.



Сл. 28 Постављање термопара при мерењу температуре



Сл. 29 Изглед намонтираног термопара на уређају (а) и појачивач термопара (б)



Сл. 30 Блок схема мерења температуре

Карактеристике појачивача термопара су следеће:

- тип термопара: К (nikl-alumel),
- број канала: 2
- опсег мерења:  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $1250^{\circ}\text{C}$ ,
- преносна функција:  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ,
- калибрациона грешка:  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  (max),
- температурска стабилност:  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$  (max),
- грешка мерења:  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  (max),
- напајање:  $\sim 220\text{V}/50\text{Hz}$ .

На сл. 30 је приказана принципска блок схема термопара са појачивачем. На улазу појачивача, поред референтног споја налази се сензор промена температуре околине. Сензор утиче на излазни напон претпојачивача и компензује промене температуре околине. Излазни напон термопара је нелинеарна функција температуре. Сигнал из претпојачивача се води на коло за линеаризацију које на излазу даје напон линеарно сразмеран са температуром. Коло за линеаризацију има структуру нелинеарног појачивача чија карактеристика "исправља" нелинеарност термопара.

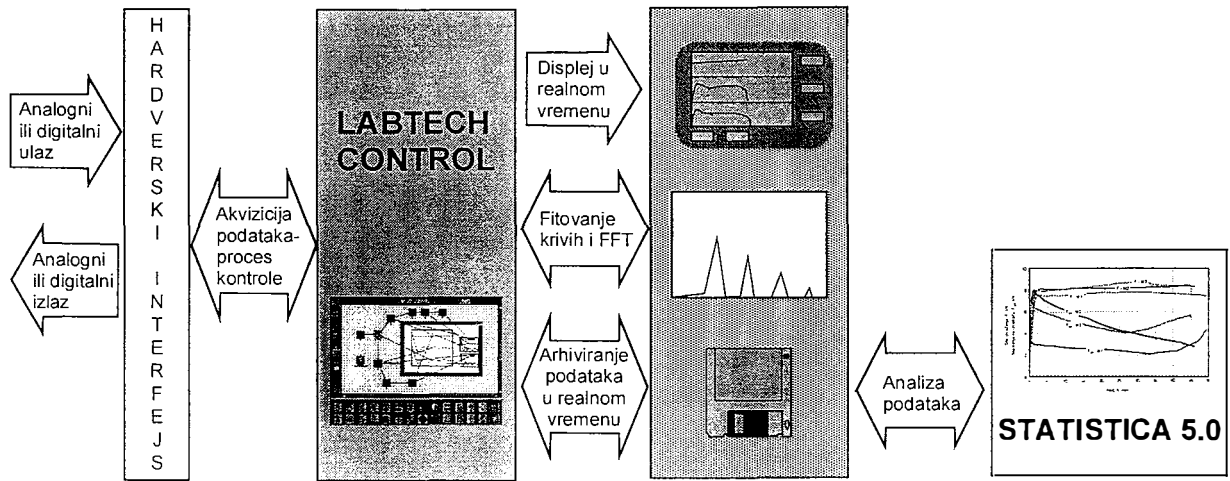
Сви прилагођени (појачани, филтрирани) аналогни сигнали даље су одвођени до АД конвертора, за шта су коришћени оклопљени коаксијални каблови, како би се сигнали заштитили од могућих шума (утицаја јаких струја у близини проводника, наизменичне струје из мреже, интерференције радио и ТВ сигнала итд.).

За претварање аналогних сигнала у дигиталне (АД конверзију) коришћен је АД конвертор "Вит Браун" систем PCI-20000 који се састоји од носеће плоче PCI-200010Т; АД конвертора PCI-20002М и генератора временске базе са бројачем PCI-20007М. Карактеристике поменутог АД претварача су следеће:

- Тип канала: АД (Normal i High-speed),
- Број канала: 16 појединачних или 8 диференцијалних,
- АД резолуција: 12 bita,
- АД напонски улаз:  $\pm 5\text{ V}$ ,  $\pm 10\text{ V}$ , 0-10 V, (opciono)
- Учестаност дискретизације (Normal mode):  
 Минимална Једном сваке 3 године,  
 РС max 300 Hz,  
 РС/АТ max 900 Hz.
- Учестаност дискретизације (High-speed mode):  
 Minimalna 20 Hz,  
 РС max 15 kHz,  
 РС/АТ max 25 kHz.

Дигитални сигнал са АД конвертора се даље уноси у рачунар помоћу развијене апликације за праћење процеса, урађене помоћу софтвера LABTECH CONTROL pro ver. 5.02.

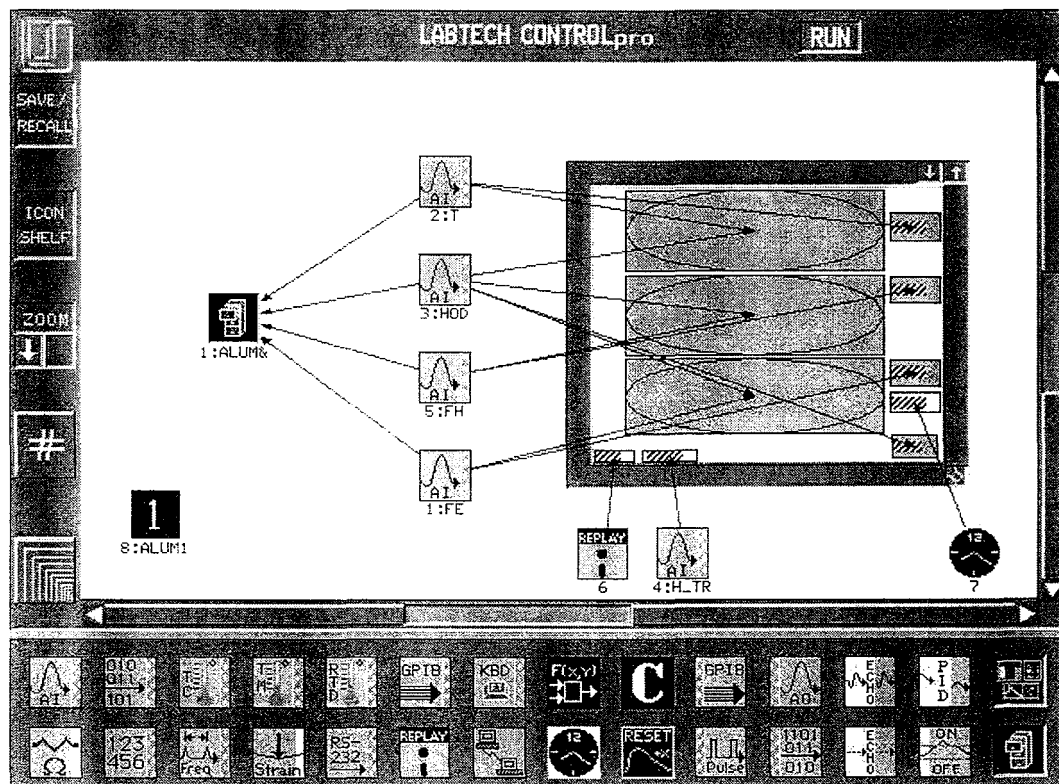
Када је дигитални сигнал уведен у рачунар за даљу његову обраду постојале су две могућности. Прва је била да се прави оригинални апликативни програм за праћење и снимање процеса, а друга да се користи одговарајући комерцијални софтвер који би то радио. Изабрана је друга могућност као нешто бржа и ефикаснија, тј. изабран је програмски пакет LABTECH CONTROL pro ver. 5.02 (у даљем тексту LT CONTROL).



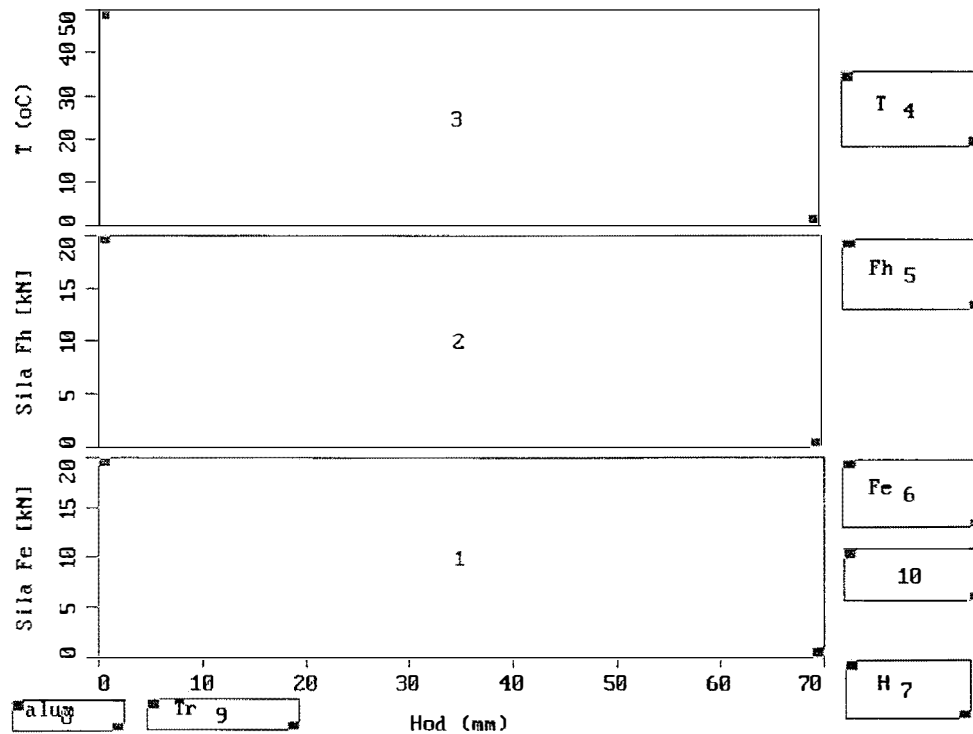
Сл. 31 Функционални дијаграм LABTECH CONTROL -а

Принципска схема рада поменутог програма приказана је на слици 31. Овај програм прима податке од хардверског интерфејса (АД конвертор), а затим те податке (дијаграмске међузависности појединих величина, тренутне вредности, средње вредности итд.) приказује на дисплеју у реалном времену. Такође, у реалном времену, је могуће извршити архивирање (снимање) жељених података на хард диск или локални драјв у жељеном формату (ASCII Real, ASCII Int и др.). LT CONTROL има могућност и екстраполирања добијених кривих као и обраду података брзом Фуријеовом трансформацијом (FFT). Снимљени подаци, даље могу да се користе за презентацију у неком одговарајућем софтверском пакету (СТАТИСТИКА, МАТЛАБ итд.).

За континуално праћење целокупног процеса формирана је корисничка апликација (слика 32). Као што се може видети, апликација се састоји од рутина представљених иконама које својим изгледом асоцирају на функцију коју обављају.



Сл. 32 Развијена апликација у LT CONTROL – у за праћење процеса



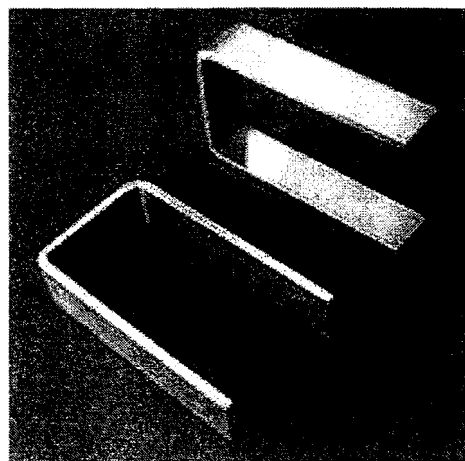
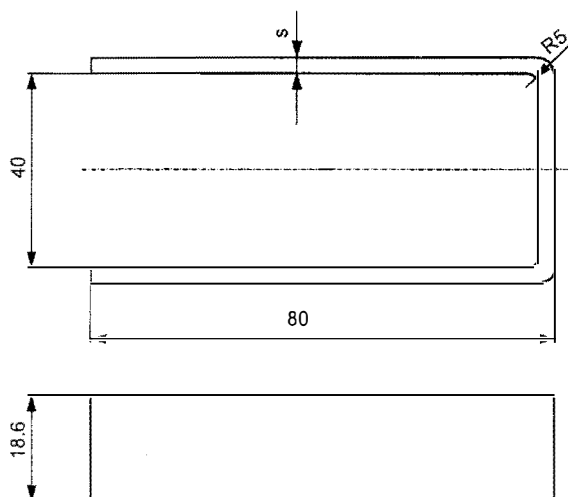
Сл. 33 Креирани прозори за праћење процеса

Апликацију је могуће прекинути и пре истека задатог времена њеног трајања (уколико се пре заврши физички процес испитивања).

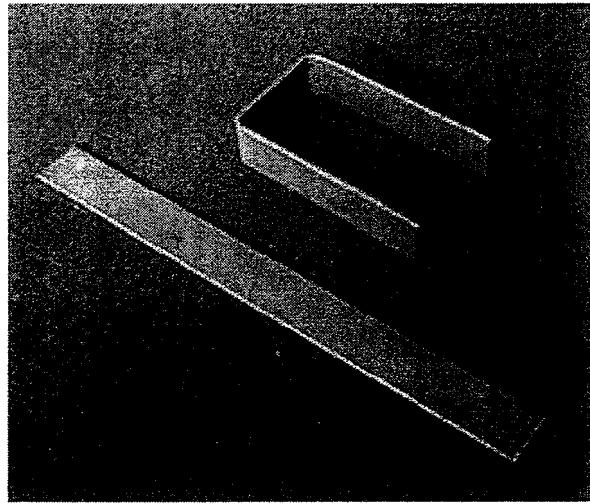
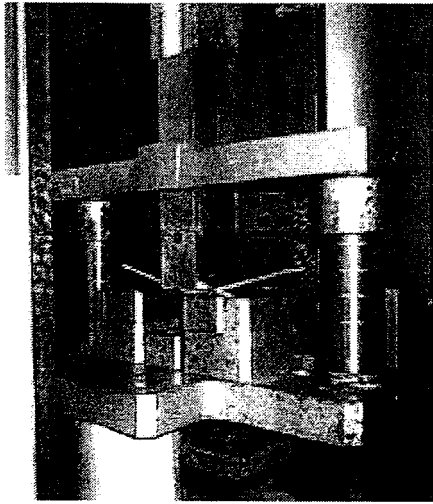
На самом уређају за испитивање постављен је микропрекидач који зауставља процес испитивања када извлакач дође у горњи задати положај. Такође је био постављен још један ручни прекидач којим је процес могао да се заустави у било ком тренутку испитивања (уколико дође до непредвиђених околности).

#### 4.3 Припрема епрувета за испитивање

Епрувете представљају траке лима, које се исецају из табле лима у правцу ваљања и савијају на посебном алату за савијање монтираном на универзалној механичкој кидалици WPM ZDM 10/91. Димензије и изглед епрувете приказани су на слици 34. Дебљина  $s$  (дебљина лима) челичних епрувета износила је 2 mm, а алуминијумских 3 mm. Изглед алата за савијање, као и епрувета пре и после савијања приказан је на слици 35.



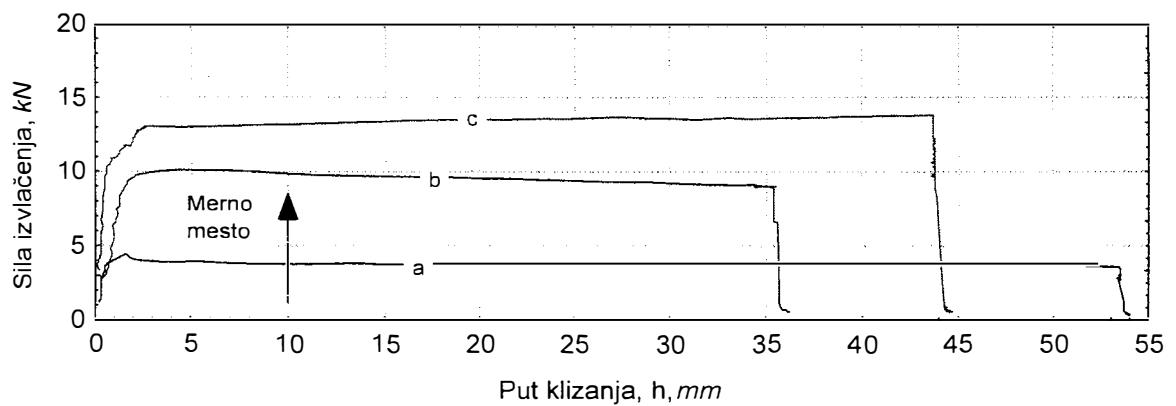
Сл. 34 Димензије (лево) и изглед епрувета



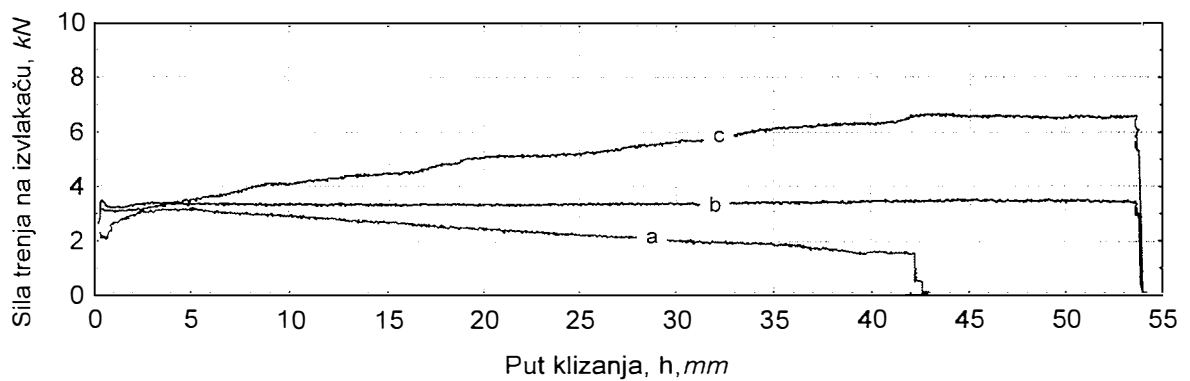
Сл. 35 Алат за претходно савијање епрувета (лево) и изглед епрувета пре и после савијања

Припрема епрувета за испитивање састоји се у њиховом чишћењу (одмашћивању) и обележавању. Чишћење (одмашћивање) епрувета се изводи прво бензином (грубо) а затим ацетоном (фино).

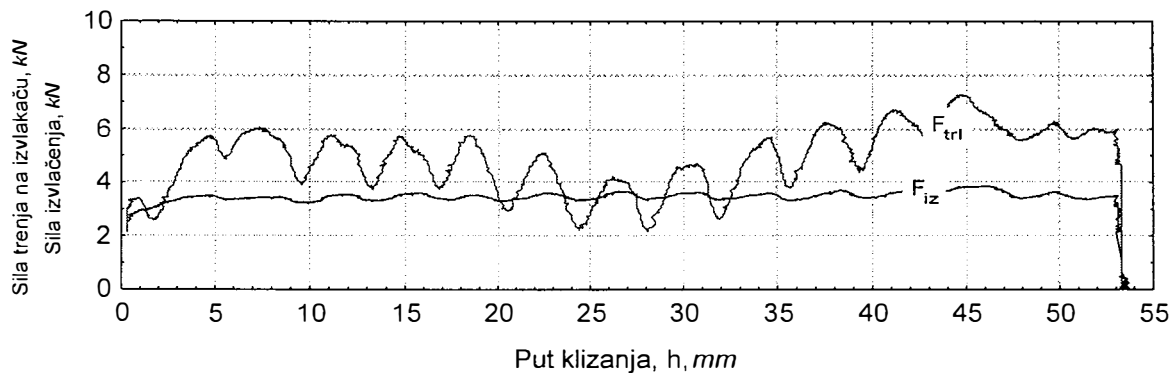
#### 4.3 Примери измерених сила извлачења и сила трења



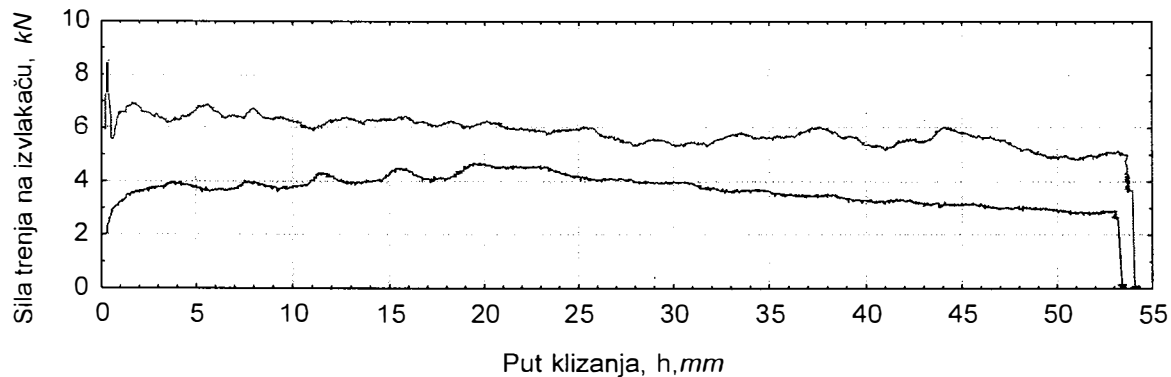
Сл. 36 Пример константне (а), опадајуће (б) и растуће (ц) силе извлачења



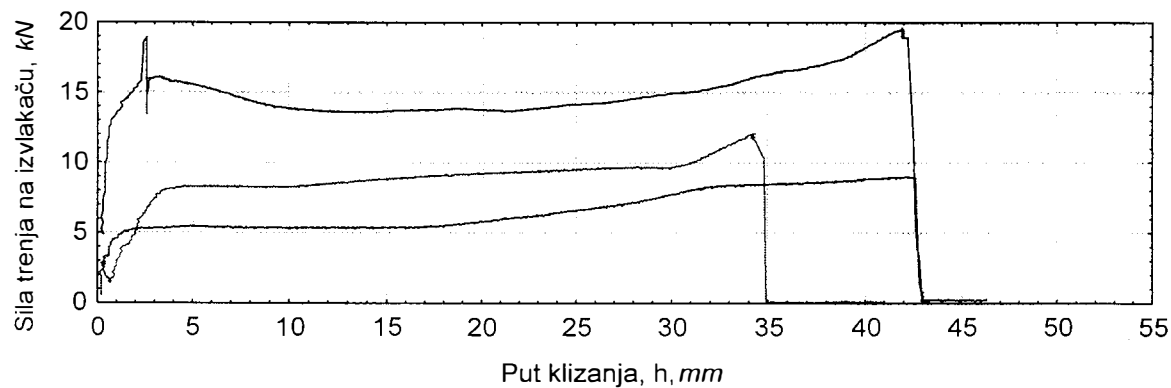
Сл. 37 Пример константне (а), опадајуће (б) и растуће (ц) силе трења на извлакачу



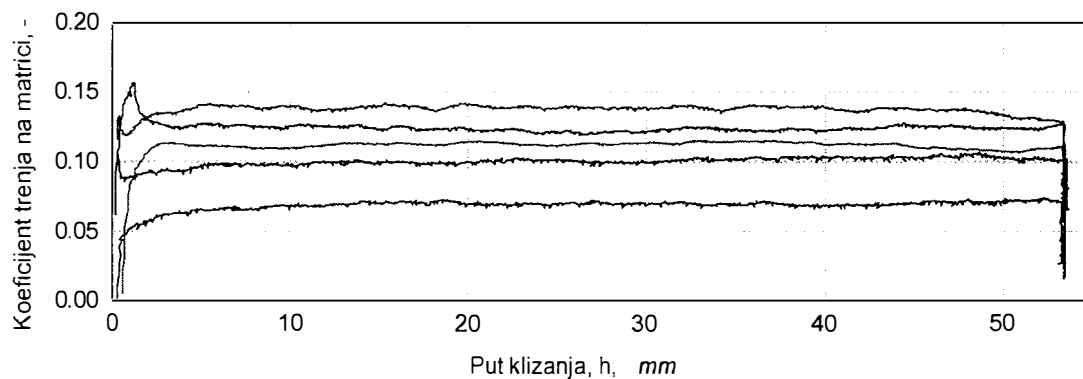
Сл. 38 Пример осцилујуће силе трења на извлакачу ( $F_{trl}$ ) и силе извлачења ( $F_{iz}$ )



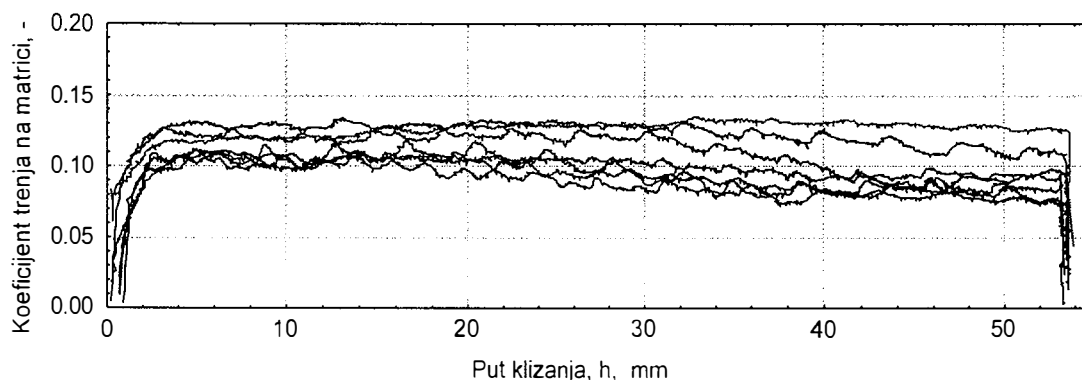
Сл. 39 Пример нестабилне силе трења на извлакачу ( $F_{trl}$ )



Сл. 40 Пример нестабилне силе трења на извлакачу ( $F_{trl}$ ) при коришћењу неадекватних мазива



Сл. 41 Примери константног коефицијента трења на страни матрице ( $\mu_M$ )



Сл. 42 Примери таласастог (нестабилног) коефицијента трења на страни матрице ( $\mu_M$ )

Техничко решење је инсталирано у Лабораторији за обраду деформисањем и машинске материјале на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу и до сада је испитано преко 2000 епрувета од челичног лима и лима од алуминијумских легура.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вейлер С. Я., Лихтман В. И.: *Действие смазок при обработке металов давлением*, Издательство АКАДЕМИИ НАУК СССР, Москва, 1960.
- [2] Schlosser D.: *Einfluß gesinterter Harstoffe auf das Auftreten von Werkstoffubertagungen beim Streifenziehen eines austenitischen Stahlblechs, Bänder Bleche Rohre*, No 9, 1975., 378-381.
- [3] Kawai N., Nakamura T., Seko S. : *Development of anti-weld ability test metal forming by means of strip ironing type friction testing machine*, Transactions of ASME, Journal of Eng. Ind., Vol. 104, 1982., 375-382.
- [4] Jonason D.: *The experimental and theoretical analysis of sheet metal ironing*, M-Eng. Thesis, McMaster University, Toronto, 1985.
- [5] Andreasen J. L., Bay N.: *A stripe reduction test for measurement of lubrication in ironing*, 19<sup>th</sup> IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996., 435-444.
- [6] H. C. E. van der Aa et al.: *An experimental and numerical study of the wall ironing process of polymer coated sheets metal*, Mechanics of Materials, 32, 2000., 423-443.
- [7] Bay N., Olsson D. D., Andreasen J. L.: *Lubricant test methods for sheet metal forming*, Tribology International, 41, 2008., 844-853.
- [8] Kim H., Altan T., Yan Q.: *Evaluation of stamping lubricants in forming advanced high strength steel (AHSS) using deep drawing and ironing tests*, Journ. of Mat. Processing Techn., 209, 2009., 4122-4133.
- [9] D. Adamović, M. Stefanović, M. Babić, S. Aleksandrović, Z. Golušija, S. Mitrović: *Tribological model of the ironing process in sheet metal forming for lubricants testing*, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 16 No 3, 2010: pp. 329-339, ISSN 1310-4772
- [10] Adamovic D., Mandic V., Jurkovic Z., Grizelj B., Stefanovic M., Marinkovic T., Aleksandrovic S.: *An experimental modelling and numerical fe analysis of steel-strip*



- ironing process, Tehnički vjesnik / Technical Gazette, Vol.17, No.4, 2010. pp 435-444  
ISSN: 1330-3651
- [11] V. Mandić, D. Adamović, Z. Jurković, M. Stefanović, M. Živković, S. Randelović, T. Marinković: Numerical FE Modelling of the Ironing Process of Aluminium Alloy and its Experimental Verification, FAMENA issue 4, volume 34, Zagreb 2010, 59-69, ISSN 1333-1124
- [12] D. Adamović, M., Stefanović, V., Lazić: *Investigation of the influence of tool material and lubricant onto the process parameters and quality of work piece surface at ironing*, Journal for Technology of Plasticity, Novi Sad, Vol. 28 (2003), Number 1-2, pp. 41-55.
- [13] D. Adamović, M. Stefanović, V. Lazić, M. Živković: *Estimation of Lubricants for Ironing of Steel Pieces*, Tribology in industry, Volume 26, N<sup>o</sup>. 1&2, Kragujevac, September 2004., p. 12-21.
- [14] D., Adamović, M., Stefanovic, V., Lazic, M., Živkovic: *Estimation of lubricants for ironing of aluminium pieces*, TRIBOLOGIA – TEORIA I PRAKTIKA, Warszawa, ISSN 0208-7774, ROK XXXVI, NR 5/2005 (203), pp. 9-30.
- [15] D., Adamović, M., Stefanovic, V., Lazic, M., Živkovic: *Influence of tribological conditions on the sheet metal surface roughness at multiphase ironing*, Journal of Balkan tribological association, Sofia, Vol. 11, No 4, 499-509 (2005).
- [16] D., Adamović, M., Stefanović, M., Živković, F., Živić: *Investigation of Influence of Tribological Conditions on Friction Coefficient During Multiphase Ironing for Steel and Aluminium Sheet Metal*, Tribology in industry, Volume 28, N<sup>o</sup>. 3&4, YU ISSN 0354-8996, Kragujevac, December 2006., p. 29-34.
- [17] D., Adamović, M., Stefanović, M., Živković, F., Živić: *Estimation of Lubricants for Ironing of Steel Pieces*, Tribology in industry, Volume 29, No. 3&4, YU ISSN 0354-8996, Kragujevac, December 2007., p. 21-27.
- [18] D. Adamović, M. Stefanović, M. Plančak, S. Aleksandrović: *Analysis of Change of Total Ironing Force and Friction Force on Punch at Ironing*, Journal for Technology of Plasticity, Vol.33(2008), Nr.1-2, Novi Sad, 2008. pp. 23-37.
- [19] D. Adamović, M. Stefanovic, S. Aleksandrovic, Z. Gulišija, M. Živkovic, F. Živic: *Analysis of the surface State of Tools influence of the Ironing Process*, Journal for Technology of Plasticity, Vol. 36,(2011/2), page 111-120, ISSN 0354-3870,
- [20] Д., Адамовић, М., Стефановић, В., Лазих: *Истраживање утицајних параметара на процес дубоког извлачења са стањењем дебљине зида*, ДЕМИ 2002, Бања Лука, стр. 166-171.
- [21] Д., Адамовић, М. Стефановић, В., Лазих, Б., Недић: *Утицај триболошких услова на хрпавост површине лима при обради дубоким извлачењем са стањењем дебљине зида*, Осма интернационална конференција о трибологији, Београд, 8- 10 Октобар 2003, стр. 351–359.
- [22] D., Adamović, M. Stefanović, V., Lazić, M., Živković: *Influence of tribological conditions onto the sheet metal surface roughness at multiphase ironing*, BALKANTRIB '05, Kragujevac, 2005., pp. 70-77.
- [23] Д., Адамовић, М. Стефановић, В., Лазих, М., Живковић, Н., Марјановић: *Истраживање утицаја материјала алата и мазива на силу дубог извлачења са стањењем зида*, 30. Јубиларно саветовање производног машинства СЦГ са међународним учешћем, Врњачка Бања, 01-03. септембар 2005., стр. 303-308.
- [24] D., Adamović, M. Stefanović, V., Lazić, M., Živković, N. Marjanović: *Influence of tribological conditions onto the friction coefficient at multiphase ironing*, 5th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2005, 04-07. Septembar 2005., Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro, pp. 305-310.

- [25] Д., Адамовић, М., Стефановић, М., Живковић, В., Лазих: *Утицај различитих параметара на силу извлачења при дубоком извлачењу са стањењем дебљине зида*, 31. Саветовање производног машинства, Крагујевац, 19.-21. септембар 2006. стр. 171-180.
- [26] Д., Адамовић, М., Стефановић, М., Живковић: *Експерименталне методе одређивања коефицијента трења при дубоком извлачењу са стањењем дебљине зида*, ДЕМИ 2007, VII Међународни научно-стручни скуп о достигнућима електротехнике, машинства и информатике, Бања Лука, 25.-26. 2007. стр. 199-206.
- [27] D. Adamovic, M. Stefanovic, M. Plancak, S. Aleksandrovic: *Analysis of Change of Total Drawing Force and Friction Force on Punch at Ironing*, 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN), 1-3 October 2008, Chalkidiki, Greece, pp. 245-254.
- [28] D. Adamović, M. Stefanović, A. Davinić, B. Nedić: *Promena temperature u zoni kontakta pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida*, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Novi Sad, 18.-20.09.2008.
- [29] Д., Адамовић, М., Стефановић, С., Александровић: *Modeliranje triboloskih procesa pri obradi dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida*, DEMI 2009, Banja Luka, 2009
- [30] D. Adamović, M. Stefanović, M. Živković, S. Rakić: *Uticaј brzine dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida na promenu koeficijenata trenja*, 11. Internacionalna Konferencija o Tribologiji SERBIATRIB '09 Beograd, 13 - 15 Maj 2009, str. 338-342.
- [31] Adamović, D., Stefanović, M., Živković, M., Devedžić, G.: *Uticaј parametara dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine na napon zatezanja zida izvlačenog čeličnog dela*, XXXIII Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije 2009 sa međunarodnim učešćem, Beograd, 16-17.06.2009., 109-112.
- [32] Mandić V., Adamović D., Jurković Z., Stefanović M., Živković M., Randelović S., Marinković T.: *CAE analysis of ironing process with experimental verification*, International Scientific Conference, Menagement of Technology Step to Sustaniable Production, CD Conference Proceedings, 2-4. June 2010, Rovinj, Croatia, pp. , ISBN 978-953-7738-09-9
- [33] D. Adamović, M. Stefanović, S. Aleksandrovic, M. Živković, Z. Gulišija: *The influence of various process parameters on coefficient of friction on die at ironing of AlMg3 sheet metals*, Proceedings of the 12th International Conference on Tribology, SERBIATRIB '11, Kragujevac, Serbia, 11 – 13 May 2011. 342-348. ISBN: 978-86-86663-74-0
- [34] D. Adamović, M. Stefanović, S.v Aleksandrovic, M. Živković, Z. Gulišija, S. Đaćić: *The influence of tool surface condition on ironing process execution*, 34th International conference on production engineering, 28. - 30. September 2011, Niš, Serbia, pp. 289-292, ISBN 978-86-6055-019-6
- [35] D. Adamovic, V. Mandic, M. Stefanovic, S. Aleksandrovic, M. Živkovic, Z. Golušija, S. Randjelovic: *Experimental and numerical determination of the tensile stresses in the wall during steel sheet ironing*, ICMEN 4th International Conference on Manufacturing Engineering, Proceedings, 3-5 October 2011.Thessaloniki, Greece, pp. 621-630., ISBN 978-960-98780-4-3
- [36] Д. Адамовић, М. Стефановић: *Трибо моделирање дубоког извлачења са стањењем зида*, Зборник, YUTRIB 97, Копаоник, 1997., 177-181
- [37] Д. Адамовић, М. Стефановић, В. Лазих: *Моделирање триболошких процеса код дубоког извлачења са стањењем дебљине зида*, Саветовање Производног машинства Југославије, Краљево, 2000., стр. 2.7-2.12.
- [38] Д., Адамовић, М. Стефановић, В., Лазих, М., Живковић: *Истраживање типова промене коефицијента трења на путу клизања при дубоком извлачењу са стањењем дебљине зида*, YUTRIB '05, Крагујевац, 2005., стр. 738-744.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу бр. 01- 1/1002-13 од 20.04.2012. год. именовани смо за рецензенте техничког решења „**УРЕЂАЈ ЗА ИСПИТИВАЊЕ ТРИБОЛОШКИХ УТИЦАЈА У ПРОЦЕСУ ДУБОКОГ ИЗВЛАЧЕЊА СА СТАЊЕЊЕМ ДЕБЉИНЕ ЛИМА**“ аутора др Драгана Адамовића, ванр. проф., др Милентија Стефановића, ред. проф. и др Србислава Александровића, ред. проф. На основу документованог предлога овог техничког решења подносимо следећи:

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

|                      |           |        |          |
|----------------------|-----------|--------|----------|
| ПРИМАЉЕНО 22.04.2012 |           |        |          |
| Ори. ред.            | Број      | Прилог | Вредност |
|                      | 01-1/1331 |        |          |

## ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „**УРЕЂАЈ ЗА ИСПИТИВАЊЕ ТРИБОЛОШКИХ УТИЦАЈА У ПРОЦЕСУ ДУБОКОГ ИЗВЛАЧЕЊА СА СТАЊЕЊЕМ ДЕБЉИНЕ ЛИМА**“ аутора др Драгана Адамовића, ванр. проф., др Милентија Стефановића, ред. проф. и др Србислава Александровића, ред. проф., приказано је на 26 страница формата А4. Садржи 42 графичких приказа од којих су 12 фотографије. Предлог техничког решења састављен је, поред уводних података, из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем.
2. Тренутно стање решавања сличних проблема на међународном нивоу,
3. Суштина техничког решења,
4. Детаљан опис техничког решења,
5. Литература.

Техничко решење припада области Производног машинства, ужим областима Технологије пластичног обликовања лима и Трибологије.

У оквиру описа проблема који се решава детаљно су дате информације потребне за разумевање значаја процеса обликовања са стањењем дебљине лима у савременој индустрији производње, на првом месту амбалажних лименки за паковање хране и пића. Назначено је да суштинску улогу у процесу овог обликовања имају триболошке појаве. Предложеним техничким решењем омогућавају се одговарајућа мерења и реална процена утицаја многих фактора на процес обликовања (нпр. утицај врсте материјала припремка и алата, стања контактних површина припремка и алата, геометријских величина код алата, брзина деформације, сила држања, температуре, врста мазива и начина подмазивања итд). Предложени уређај омогућује поред научних истраживања и дефинисање конкретних технолошких параметара и оптимизацију избора средства за подмазивање у тешким и захтевним условима пластичног обликовања дубоким извлачењем са стањењем дебљине лима.

У другом поглављу при разматрању тренутног стања решавања сличних проблема на веома детаљан и систематичан начин описују велики број уређаја различитих аутора за испитивање процеса дубоког извлачења са стањењем у лабораторијским условима, дат је приказ принципијелних шема уређаја и опис начина њиховог функционисања, као и величина које се при томе мере. Приказани су уређаји: 1. Вејлера и Лихтмана, 2. Schlossera, 3. Kawai-a, 4. Jonassona, 5. Andreasen - Bay, 6. Van der Aa. Ови уређаји немају универзалну примену већ су намењени за испитивање карактеристичних утицаја у одговарајућим условима.

У трећем поглављу описана је суштина техничког решења. Користећи одговарајућу шему аутори техничког решења дају детаљно објашњење процеса стањења лима које се одвија у условима блиском раванском деформационом стању. Сагледавајући добре и лоше стране описаних уређаја и захтева за испитивања, аутори техничког решења су предложили нови трибо модел уређаја за испитивање дубоког извлачења лима са стањењем. Овај модел омогућује остваривање високих контактних притисака а узима у обзир физичке и геометријске услове реалног процеса. Користећи одговарајућу шему детаљно је описан принцип рада уређаја. Уређај омогућује одређивање коефицијента трења, како на страни матрице, тако и на страни извлакача при различитим контактним условима.

У оквиру четвртог поглавља детаљно је дат опис техничког решења које је реализовано у Лабораторији за обраду деформисањем и машинске материјале Факултета инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу. Реализовани уређај као погонску машину користи универзалну лабораторијску хидрауличну машину за испитивање лимова ERICHSEN 142/12 која има три независна хидраулична дејства: главно дејство које врши извлачење; дејство држача лима које врши одговарајући притисак на епрувету и дејство избаивача. Уређај је реализован са компактном конструкцијом повишене крутости, са могућношћу лаке измене контактних - притисних елемената (матрице и плочице), лаким чишћењем контактних зона и погодним постављањем епрувета. Током испитивања епрувета клиза између матрица са спољашње стране где се врши стањење и плочица са унутрашње стране. У оквиру овог поглавља дате су скице матрица и плочица са свим геометријским величинама.

Посебан део овог поглавља представља опис мерења и аквизиције сигнала. Дат је блок дијаграм, шема мерног ланца и фотографије комплетног реализованог уређаја и појединих делова. За мерење силе трења на извлакачу конструисан је и направљен специјални давач са мерним тракама. Описано је баждарење овог давача. За мерење укупне силе извлачења коришћен је мерни систем са индуктивним давачем уграђен у машину, с тим да је у циљу праћења процеса и аквизиције сигнала са овог давача направљен посебан појачивач који омогућује појачање сигнала веће од 5V. За мерење хода извлакача, односно пута клизања коришћен је потенциометарски давач хода. У оквиру мерног ланца посебан део заузима мерење температуре помоћу вештачког термопара који је постављен у отвор на материци и мери температуру у непосредној близини места клизања.

За претварање аналогних сигнала у дигиталне (AD конверзију) коришћен је AD конвертор "Burr Brown" систем PCI-20000 и програмски пакет LABTECH CONTROL pro ver. 5.02. Детаљно је описана развијена апликација развијене у LT CONTROL.

На крају овог поглавља описан је поступак припреме епрувета за испитивање и дати су примери измерених сила извлачења и сила трења.

На крају пријаве техничког решења дат је приказ коришћене литературе и списак радова који садрже резултате истраживања применом предложеног техничког решења. Треба нагласити да овај списак садржи 30 радова од којих су 3 рада публикована у међународним часописима са SCI листе, 8 радова су објављена у националним часописима, 16 радова је саопштено и штампано у зборницима радова на међународним конференцијама, а 3 рада на домаћим конференцијама. Овако велики број публикованих радова сведочи о актуелности проблема истраживања и значају примене и могућности предложеног техничког решења. У оквиру овог извештаја сматрамо значајним навести радове објављене у часописима (на SCI листи и националним часописима):

1. D. Adamović, M. Stefanović, M. Babić, S. Aleksandrović, Z. Golušija, S. Mitrović: Tribological model of the ironing process in sheet metal forming for lubricants testing, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 16 No 3, 2010: pp. 329-339, ISSN 1310-4772
2. Adamovic D., Mandic V., Jurkovic Z., Grizelj B., Stefanovic M., Marinkovic T., Aleksandrovic S.: An experimental modelling and numerical fe analysis of steel-strip ironing process, Tehnički vjesnik / Technical Gazette, Vol.17, No.4, 2010. pp 435-444 ISSN: 1330-3651
3. V. Mandić, D. Adamović, Z. Jurković, M. Stefanović, M. Živković, S. Randelović, T. Marinković: Numerical FE Modelling of the Ironing Process of Aluminium Alloy and its Experimental Verification, FAMENA issue 4, volume 34, Zagreb 2010, 59-69, ISSN 1333-1124
4. D. Adamović, M., Stefanović, V., Lazić: *Investigation of the influence of tool material and lubricant onto the process parameters and quality of work piece surface at ironing*, Journal for Technology of Plasticity, Novi Sad, Vol. 28 (2003), Number 1-2, pp. 41-55.
5. D. Adamović, M. Stefanović, V. Lazić, M. Živković: *Estimation of Lubricants for Ironing of Steel Pieces*, Tribology in industry, Volume 26, N<sup>o</sup>. 1&2, Kragujevac, September 2004., p. 12-21.
6. D., Adamović, M., Stefanovic, V., Lazić, M., Živkovic: *Estimation of lubricants for ironing of aluminium pieces*, TRIBOLOGIA – TEORIA I PRAKTIKA, Warszawa, ISSN 0208-7774, ROK XXXVI, NR 5/2005 (203), pp. 9-30.
7. D., Adamović, M., Stefanovic, V., Lazić, M., Živkovic: *Influence of tribological conditions on the sheet metal surface roughness at multiphase ironing*, Journal of Balkan tribological association, Sofia, Vol. 11, No 4, 499-509 (2005).
8. D., Adamović, M., Stefanović, M., Živković, F., Živić: *Investigation of Influence og Tribological Conditions on Friction Coefficient During Multiphase Ironing for Steel and Aluminium Sheet*

- Metal*, Tribology in industry, Volume 28, N<sup>o</sup>. 3&4, YU ISSN 0354-8996, Kragujevac, December 2006., p. 29-34.
9. D., Adamović, M., Stefanović, M., Zivković, F., Živić: *Estimation of Lubricants for Ironing of Steel Pieces*, Tribology in industry, Volume 29, No. 3&4, YU ISSN 0354-8996, Kragujevac, December 2007., p. 21-27.
  10. D. Adamović, M. Stefanović, M. Plančak, S. Aleksandrović: *Analysis of Change of Total Ironing Force and Friction Force on Punch at Ironing*, Journal for Technology of Plasticity, Vol.33(2008), Nr.1-2, Novi Sad, 2008. pp. 23-37.
  11. D. Adamović, M.Stefanovic, S.Aleksandrovic, Z.Gulišija, M.Živkovic, F.Živic: *Analysis of the surface State of Tools influence of the Ironing Process*, Journal for Technology of Plasticity, Vol. 36,(2011/2), page 111-120, ISSN 0354-3870,

Техничко решење је инсталирано у Лабораторији за обраду деформисањем и машинске материјале на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу и до сада је испитано преко 2000 епрувета од челичног лима и лима од алуминијумских легура.

## МИШЉЕЊЕ

*Техничко решење „УРЕЂАЈ ЗА ИСПИТИВАЊЕ ТРИБОЛОШКИХ УТИЦАЈА У ПРОЦЕСУ ДУБОКОГ ИЗВЛАЧЕЊА СА СТАЊЕЊЕМ ДЕБЉИНЕ ЛИМА“ аутора др Драгана Адамовића, ванр. проф., др Миленгија Стефановића, ред. проф. и др Србислава Александровића, ред. проф., документовано је јасно и прегледно. Детаљно је описан целокупан склоп и функција свих делова.*

*Предложено техничко решење представља оригиналан лабораторијско-експериментални уређај за истраживање сложених триболошких утицаја на процес дубоког извлачења са стањењем дебљине зида. Оно омогућава реалну процену утицаја многих фактора на процес обликовања: врсте материјала припремка и алата, стања контактних површина припремка и алата, геометријских параметара алата (нпр. угао нагиба матрице), параметара процеса (нпр.: сила држања, брзина деформације итд.), врсте и карактера оствареног трења, температуре, итд. Са практичног аспеката, је најважније поменути могућност да се на предложеном уређају веома ефикасно врши анализа подмазивања и оцена различитих мазива намењених за примену у веома тешким условима процеса дубоког извлачења са стањењем.*

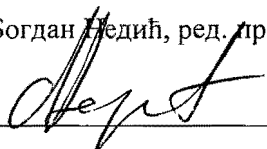
*На основу претходно изнетог произилази да се предложеним уређајем, поред научних истраживања, могу непосредно одредити конкретни технолошки параметри и извршити избор оптималног средства за подмазивање у тешким и захтевним условима пластичног обликовања дубоким извлачењем са стањењем лима.*

*Техничко решење „УРЕЂАЈ ЗА ИСПИТИВАЊЕ ТРИБОЛОШКИХ УТИЦАЈА У ПРОЦЕСУ ДУБОКОГ ИЗВЛАЧЕЊА СА СТАЊЕЊЕМ ДЕБЉИНЕ ЛИМА“ аутора др Драгана Адамовића, ванр. проф., др Миленгија Стефановића, ред. проф. и др Србислава Александровића, ред. проф., је оригинално и успешно изведено од идеје до конкретне реализације. Показало је поуздан рад и валидну серију резултата, па стога предлажемо да се прихвати као ново лабораторијско постројење, односно ново експериментално постројење, М83 према класификацији Министарства за просвету и науку Републике Србије.*

17. мај 2012. год.

Рецензенти:

Др Богдан Неђић, ред. проф.



---

Др Слободан Митровић, доцент



---



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
Факултет инжењерских наука  
Број: ТР-64/2012  
24. 05. 2012. године  
Крагујевац

Наставно-научно веће Факултета инжењерских наука у Крагујевцу на својој седници од 24. 05. 2012. године на основу члана 200. Статута Факултета инжењерских наука, донело је

## ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Уређај за испитивање триболошких утицаја у процесу дубоког извлачења са стањењем дебљине лима“, аутора: др Драгана Адамовића, ванр. проф., др Милентија Стефановића, ред. проф. и др Србислава Александровића, ред. проф.

Решење припада класи М83, према класификацији из Правилника о поступку, начину вредновању, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. Гласник РС“ - бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Богдан Недић**, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Крагујевац,
2. **Др Слободан Митровић**, доцент, Факултет инжењерских наука, Крагујевац.

Достављено:

- Ауторима
- Архиви



Др Мирослав Бабић, редовни професор

*Handwritten signature/initials*