

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милош М. Димић

**Одређивање механичких карактеристика
панцирног челика на сервохидрауличном
мерном уређају *Shimadzu***

завршни рад

Крагујевац, 2014.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Коначни елементи 1

Број индекса: 714/2013

Милош М. Димић

Одређивање механичких карактеристика панцирног челика на сервохидрауличном мерном уређају *Shimadzu*

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Мирослав Живковић-ментор

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише

- Саставне делове сервохидрауличне кидалице произвођача *Shimadzu*
- Примену сервохидрауличне кидалице
- Основни рад у контролеру
- Одређивање механичких карактеристика панцирног челика

Препоручена литература:

1. **Милорад Јовановић, Драган Адамовић, Вукић Лазаревић, Нада Ратковић.** *Машински материјали*. Крагујевац, 2003.
2. **Милорад Милованчевић, Нина Анђелић.** *Отпорност материјала*. Београд, 2010.
3. **Терзић, Петар.** *Испитивање метала*. Београд, 1972.
4. Shimadzu Literature. *Shimadzu*. <http://www.shimadzu.com/>.

Крагујевац, датум

ментор:

Проф.др Мирослав Живковић

Резиме

У овом раду је дат опис одређивања механичких карактеристика материјала затезањем и описана је сервохидраулична кидалица *Shimadzu*, као опрема за вршење тог испитивања. Прво су објашњени саставни делови ове сервохидрауличне кидалице а затим је објашњен рад у софтверу који повезује контролер са рачунаром. На крају рада је приказано испитивање панцирног челика, као и резултати тог испитивања.

Кључне речи: испитивање затезањем, кидалица, *Shimadzu*, испитивање карактеристика материјала

Abstract

This paper gives description of determining the mechanical properties of material tensile and describe a servo hydraulic testing machine Shimadzu, as equipment for carrying out the tests. The first explains the components of servo hydraulic testing machine, then explained the work in the software that connects the controller to the computer. At the end of the indicated test of reinforced steel, as well and the results of this test

Key words: tensile test, testing machine, *Shimadzu* , testing properties of materials

Садржај:

1. Увод.....	5
2. Испитивање метала затезањем	6
2.1. Дијаграм зависности издужења од напона	6
2.2. Подаци добијени из испитивања затезањем	7
3. Shimadzu сервохидраулична кидалица	10
3.1. Карактеристике рада	10
3.2. Основне компоненте.....	10
3.2.1. Основни рам	11
3.2.2. Актуатор	13
3.2.3. Хидраулично напајање	14
3.2.4. Серво вентил	17
3.2.5. Контролер	17
3.2.6. Давач силе (Давач оптерећења)	18
3.2.7. Стезна глава	20
3.2.8. Узорак.....	20
3.2.9. Рачунар	20
3.2.10. Акумулатор	21
3.3. Примена <i>Shimadzu</i> серво хидрауличне кидалице	22
4. Софтвер за испитивање статичких карактеристика материјала.....	25
4.1. Подешавање контролера	25
4.2. Подешавање тест методе	27
5. Пример испитивања	39
6. Закључак	49
7. Литература.....	50

1. Увод

Физичко-хемијска и механичка својства метала одређена су природом атома и њиховим међусобним распоредом у простору. Приликом деловања спољне силе на метално тело у њему настају напони који се супростављају промени облика. Деформација настаје ако сила промени облик металног тела. Ако се тело по растерећењу врати у првобитан облик деформација је еластична (опружна), а ако се то не деси деформација је пластична (трајна) и она се јавља када сила пређе одређену границу. У случају довољне велике спољне силе долази до разарања металног тела.

Како би се испитало како ће се метал „понашати“ приликом различитих спољних утицаја неопходно је то испитати у условима прилагођеним реалним. То се врши лабораторијским испитивањима. Према начину дејства силе разликују се статичка и динамичка испитивања. Под статичким се подразумева постепен раст силе, обично не брже од 10 MPa у секунди а под динамичким ударни раст силе или учестало мењање силе. У зависности од врсте напрезања постоје испитивања затезањем, притиском, савијањем, увијањем итд.

Механичке особине материјала обухватају својства отпорности и својства деформације. Приликом испитивања механичких особина материјала добијају се подаци потребни за пројектовање и конструкцију делова машина као и карактеристике материјала које пружају информације о могућности даље прераде материјала у финалне производе. Најчешће се користи испитивање затезањем које се заснива на равномерном преношењу силе на узорак (епрувету), која је стандардног облика и димензија, на машини која се назива кидалица. Кидалица је опремљена динамометром за мерење силе и писачем који у сваком моменту записује зависност издужења од силе.

Shimadzu сервохидраулична кидалица омогућава испитивање материјала као што су папир, пластика, влакна, композитни материјали и многи други, па тако има велику примену у индустрији. Карактеришу је велика прилагодљивост потребама корисника и поузданост резултата. Њене компоненте ће бити детаљно објашњене у овом раду, као и софтвер помоћу ког се врше испитивања статичких карактеристика материјала. Такође ће бити приказани и резултати испитивања епрувета панцирног челика.

2. Испитивање метала затезањем

Испитивање метала затезањем је статичко испитивање које пружа најпотпунију слику о механичким својствима материјала. Циљ овог испитивања на деловима конструкције је да се установи сила која је потребна да дође до појаве лома. Испитивање се најчешће врши на епруветама које се израђују од метала чије се особине желе испитати.

2.1. Дијаграм зависности издужења од напона

Кидалица врши споро затезање узорка стандарног облика и димензија до његовог пуцања. Зависност издужења од силе која делује на метал се приказује на дијаграму на чијој је ординати сила којом се делује на узорак, а на апсциси издужење. Кидалица је снабдевена уређајем који непрестано исцрпљује силу и тренутно издужење. Добијена крива у почетном делу углавном има праволинијски ток, односно промена силе на материјал утиче врло малом променом издужења. Од дела престанка линеарне зависности прираштаји издужења за једнаке прираштаје силе постају све већи, па се крива савија ка апсциси, слика 1. Уколико напон пређе граничну вредност, епрувета се неће вратити у првобитан облик. Код крутих материјала пуцање ће се десити брзо након повећања напона изнад тачке еластичности. Код меких челика након границе еластичности крива ће се све више повијати ка апсциси.



Слика 1. Дијаграм зависности издужења од силе

Епрувета се равномерно издужује и сужава све док се не достигне максимална сила затезања епрувете. Када се достигне критична вредност напона долази до лома епрувете. Изглед површи лома зависи од врсте материјала,

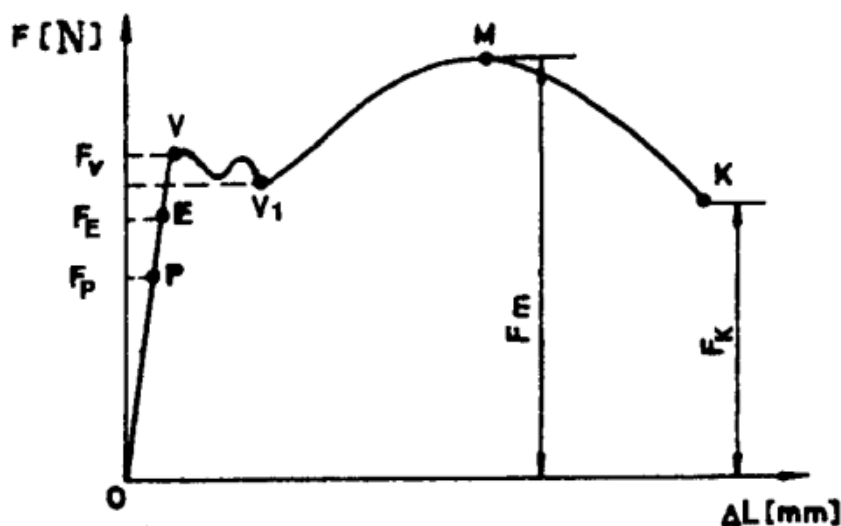
његовог састава а на њега могу утицати грешке у материјалу и оштећења површине епрувете настале при обради.

2.2. Подаци добијени из испитивања затезањем

Из добијених података у току испитивања и измерених на прекинутом узорку могу се одредити:

- Јачина на кидање, (R_m , МПа, Затезна чврстоћа), је показатељ квалитета материјала. При прелазу напона изнад границе течења настаје јако пластично деформисање материјала.
- Напон течења, ($R_{0,2}$, МПа, Горња граница течења, R_{eH}). У односу на њега се дефинише степен сигурности. Највећи ниво напона којим се део сме оптеретити мора бити нижи од овог напона. За њу је карактеристично да при малим прираштајима силе настају знатно веће вредности издужења у односу на предходна. У случају да дозвољено издужење није истакнуто или га није могуће једноставно прочитати са дијаграма (у случају да није у питању мек челик) као опште прихваћено за тврди челик се користи граница од 0.2%, односно напон који трајно издужује челик за 0.2 % првобитне дужине. Она се може одредити графички са дијаграма, повлачењем паралелене линије са праволинијским делом криве, на одстојању од 0.2% мерне дужине епрувете. Тачка у којој се секу та права и крива, прецртана на ординату представља $R_{0,2}$.
- Оно представља разлику између првобитне дужине епрувете и нове дужине настале под утицајем силе. Издужење драстично опада у случају порозности или неметалних укључака.
- Сужење, (Z , %, Контракција), је показатељ обрадивости метала пластичним деформисањем.
- Модул еластичности, (E , МПа), је однос напона и јединичног издужења, чија је вредност константна у еластичном подручју. Он одређује крутост неког машинског дела. Због практичности је усвојено да је E челика 207000 МПа на собној температури. Ова граница се не мења са променом јачине челика али линеарно опада са порастом температуре.
- Модул клизања G и запремински модул K .

На слици 2 је приказан изглед дијаграма кидања за меки нискоугљенични челик.



Слика 2. Дијаграм кидања за меки нискоугљенични челик

P – сила на граници пропорционалности, $F_p(N)$ (пропорционално мењање издужења и силе)

E – сила на граници еластичности, $F_E(N)$

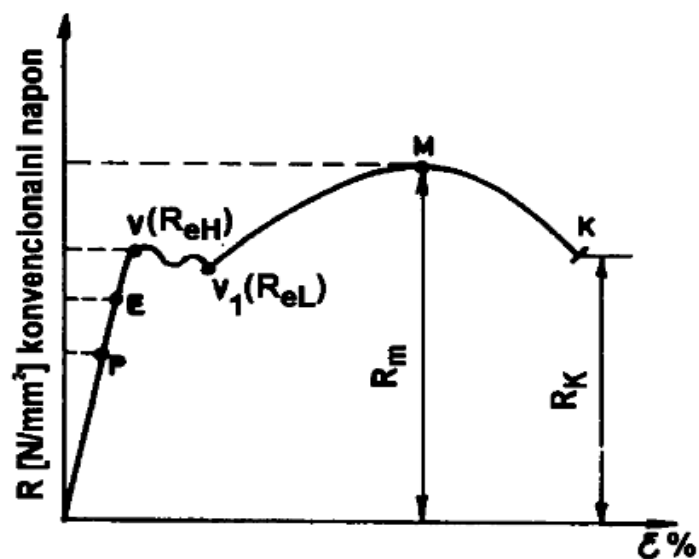
V - сила на горњој граници течења, (Горња граница течења), $F_{eH}(N)$

V_1 - сила на доњој граници течења, (Доња граница течења), $F_{eL}(N)$

M – максимална сила затезања, $F_m(N)$

K – сила кидања, $F_k(N)$

Дијаграм зависности истезања од напона који је независан од димензија епрувете има много већи практични значај од претходно приказаног дијаграма. Они имају доста сличности а разлика је то што се свака карактеристична тачка претхоног дијаграма дели са првобитним пресеком епрувете(S_0), слика 3.



Слика 3. Дијаграм зависности издужења од напона

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} [\text{MPa}] \text{ – Јачина на кидање (Затезна чврстоћа)}$$

$$R_p = \frac{F_p}{S_0} [\text{MPa}] \text{ – Граница пропорционалности}$$

$$R_E = \frac{FE}{S_0} [\text{MPa}] \text{ – Граница еластичности (E – Модул еластичности)}$$

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} [\text{MPa}] \text{ – Напон течења (} R_{eH} \text{ – Горња граница течења)}$$

$$R_k = \frac{F_k}{S_0} [\text{MPa}] \text{ – Прекидна чврстоћа}$$

3. Shimadzu сервохидраулична кидалица

Shimadzu сервохидраулична кидалица се осим за испитивање динамичких и статичких тестова материјала може користити и за испитивање на повишеним температурама, испитивање параметара лома (СТ - епрувете), испитивање статичких карактеристика материјала на притисак и испитивање савијања у три или четири тачке. Главне карактеристике *Shimadzu* сервохидрауличне кидалице су велика снага и способност да одговори на широк распон фреквенција. Потражња за оваквим инструментима за испитивање расте заједно са развојем модерних технологија.

3.1. Карактеристике рада

Једна од особина *Shimadzu* сервохидрауличне кидалице је њена флексибилност, односно могућност прилагођавања циљевима тестирања. На њој се могу испитати узорци различитих величина са великим распоном силе која ће деловати на њих. За потребе испитивања реакције метала на утицај напона, на *Shimadzu* кидалици, може се користити сила од $10N$ до $100kN$. Распон микро амплитуде се може кретати од $1\mu m$ до $100cm$.

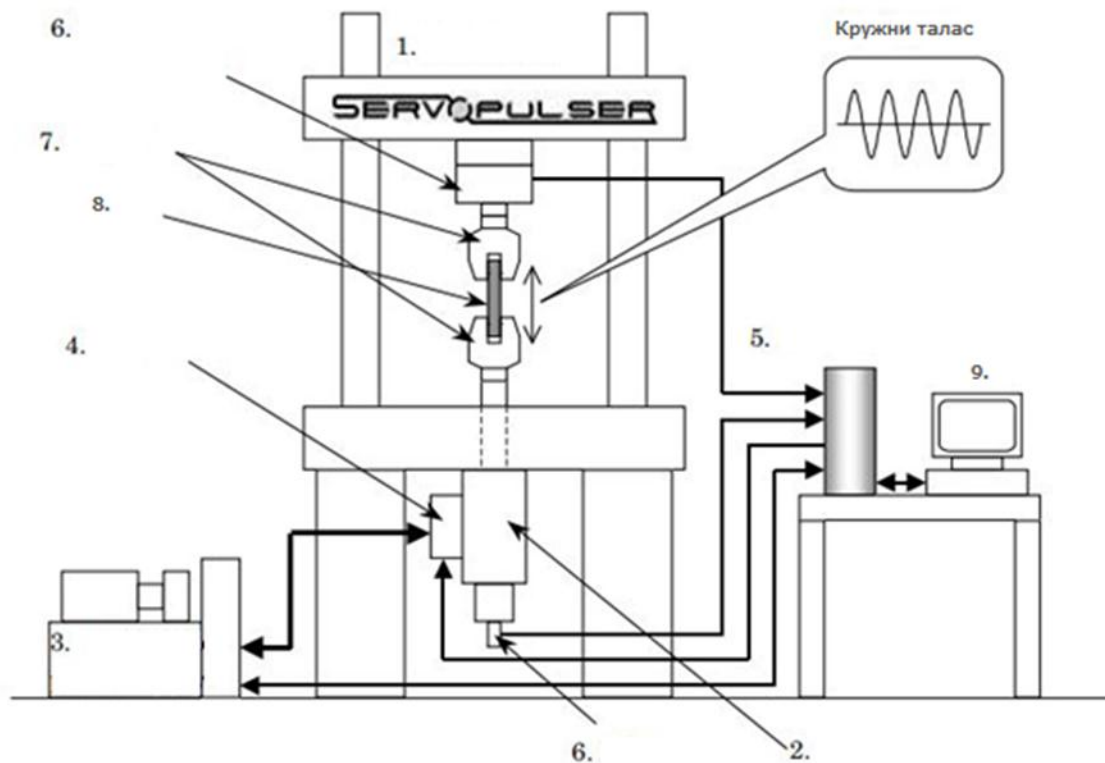
Поред тога, она омогућава велики број контрола као што су сила, ход клипа, микро померања, унутрашњи притисак, брзина итд. У избор таласних облика улазе правоугаони, троугласти, трапезоидни, рамп, програмски, случајни, произвољни таласи а фреквенције понављања могу бити од $0.0001Hz$ до $300Hz$. Брзина се креће од $DC \sim 0.5\mu m/min \sim 20m/sec$.

3.2. Основне компоненте

Главни делови серво хидрауличне кидалице су:

- (1) Основни рам
- (2) Акутатор
- (3) Хидраулично напајање
- (4) Серво вентил
- (5) Контролер
- (6) Давач силе (Давач оптерећења)
- (7) Стезна глава
- (8) Узорак
- (9) Рачунар

Основне компоненте су приказане на слици 4.



Слика 4. Главни делови серво хидрауличне кидалице

3.2.1. Основни рам

Како би се испунили циљеви испитивања могу се изабрати различите врсте основних рамова. Њихова класификација је извршена на основу максималног капацитета.

Све врсте рамова и њихове карактеристике су приказане у табели 1.

Основни Рам	Максимална тест снага, Ход (мм)	Број спецификације
Е-тип 	50 <i>kN</i>, 100<i>kN</i>, 200<i>kN</i> ±25, ±50	S225-2297 Ово је највећи тип стандардног облика и он захтева мали инсталациони простор. Погодан је за тестирање малих и формираних делова.
У-тип 	50 <i>kN</i>, 100<i>kN</i>, 200<i>kN</i> ±25, ±50	S225-2298 Велика табла за испитивање и актуатор изнад ње чине велики простор за тестирање грађевинских материјала и великих узорака.
Л-тип 	5<i>kN</i>, 10<i>kN</i>, 20<i>kN</i> ±25, ±50	5 <i>kN</i>S225-2206 10<i>kN</i>S225-2207 20<i>kN</i>S225-2208 Стона машина за тестирање са актуатором постављеним изнад површине. Упркос његовом ниском капацитету, актуатор који је постављен изнад омогућава тестирање стварних делова и релативно великих узорака.

Микросервер(ММТ) 	10N, 100N, 250N, 500kN ±25, ±50	S225-2209 Лаган и компактан за инсталацију. Није потребно снабдевање водом или ваздухом. Тиши је од хидрауличких машина. Једноставан је и лак за употребу.
---	--	--

Табела 1. Врсте основних рамова

У примеру на крају рада за испитивање је коришћен рам Е-типа.

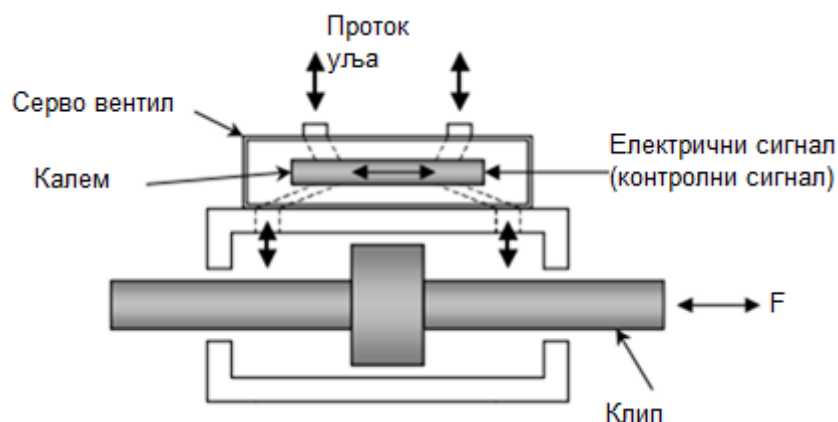
3.2.2. Актуатор

Класификација актуатора се врши на основу капацитета, хода клипа и монтажних метода. Линеарни тип акутатора омогућава тестове на замор, статичке тестове и тестове на вибрације а ротациони тип тестове увијања.

У овом раду ће бити објашњени принципи рада хидрауличног актуатора и електромагнетног актуатора.

3.2.2.1 Принципи рада хидрауличног актуатора

Серво вентил се налази у актуатору где добија електричне сигнале из контролера и контролише количину уља која је убачена у цилиндар. Хидраулични акуатор служи да преведе енергију притиска течности у механичку снагу која генерише кретање. Контролни сигнал се односи на брзину клипа, слика 5.

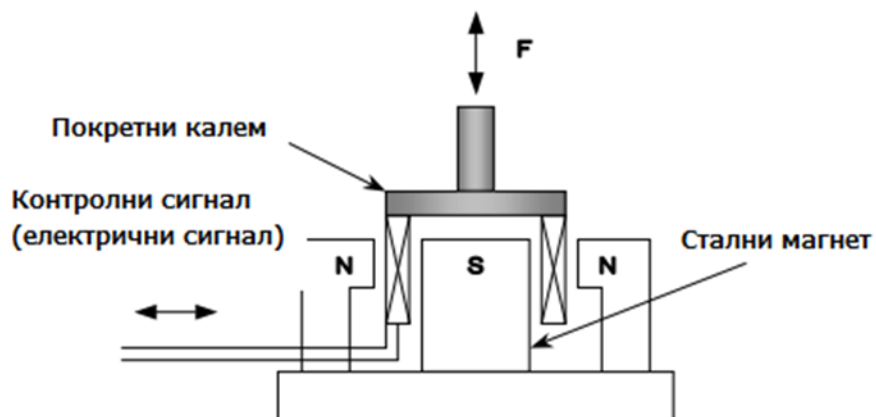


Слика 5. Шематски приказ хидрауличног агрегата

3.2.2.2 Принципи рада електромагнетног актуатора

Електромагнетни принцип заснован је на принципу привлачења меког гвожђа у магнетном пољу. Електромагнетни актуатори израђују се само са једним намотајем који ствара оба поља и енергију од које добијамо рад. Актуатори који раде на овом принципу морају бити опремљени елементом који ће их враћати у почетни положај.

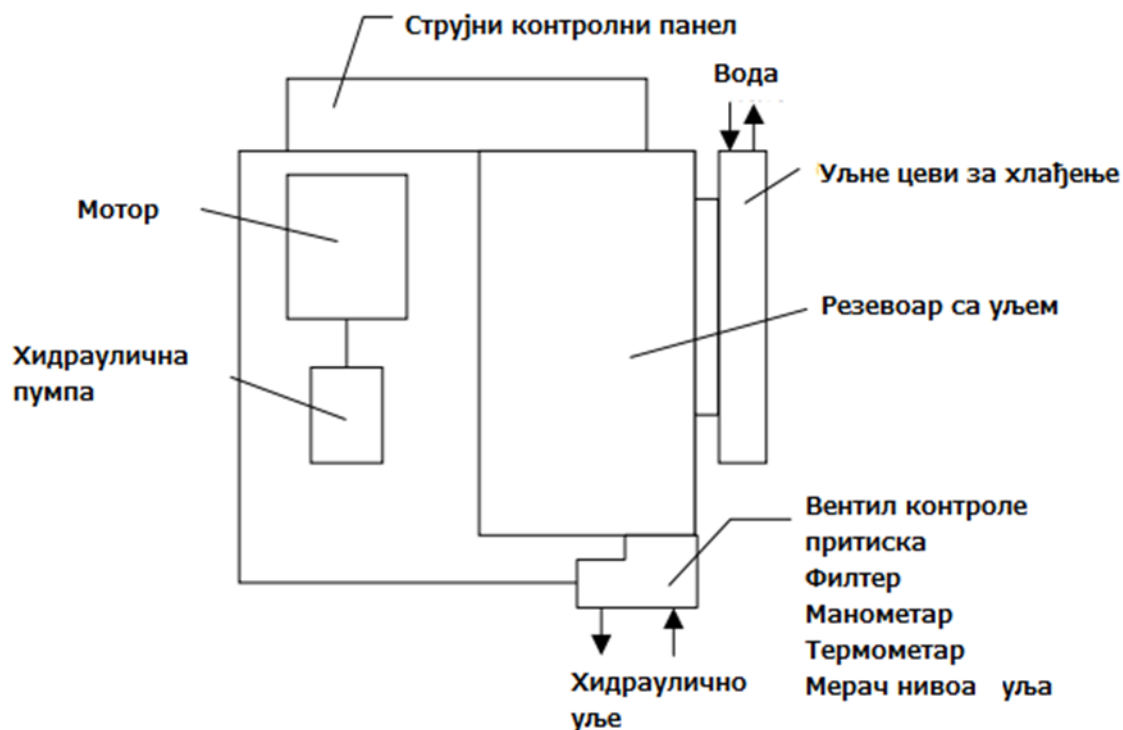
Покретни калем, обмотан трајним магнетом, производи снагу струје дату као контролни сигнал. Контролни сигнал (електрични сигнал) се односи на моћ покретног калема (убрзање), слика 6.



Слика 6. Шематски приказ електромагнетног актуатора

3.2.3. Хидраулично напајање

Хидраулично напајање је извор снаге који шаље уље у актуатор како би се остварило кретање. Хидраулично напајање се бира у зависности од капацитета погона и брзине понављања. На слици 7 је дат шематски приказ хидрауличног напајања.



Слика 7. Шематски приказ хидрауличног напајања

Постоји неколико типова хидрауличног напајања класификованих по обиму пражњења. У табелама 2 и 3 су приказане вредности протока напајања за QF серије хидрауличног погона (хлађење водом) и AF серије хидрауличног погона (ваздушно хлађење).

Модел		QF-10B	QF-20B	QF-40B	QF-70B	QF-100	QF-140
Приближна брзина протока	50Hz (L/min.)	9	19	42	69	108	134
	60Hz (L/min.)	11	24	51	81	104	162
Спецификациони број		S225- 2218	S225- 2219	S225- 2222	S225- 2223	S225- 2217	S225- 2214

Табела 2. Вредности протока напајања хидрауличног погона QF серије (хлађење водом)

Модел		AF-4	AF-10B	AF-20B
Приближна брзина протока	50Hz (L/min.)	3.7	9	19
	60Hz (L/min.)	4.5	11	24
Спецификациони број			S225- 2224	S225- 2216

*Табела 3. Вредности протока напајања хидрауличног погона AF серије
(ваздушно хлађење)*

Проток потребан машини за тестирање је одређен максималном тестираном амплитудом, максимумом броја понављања и пресеком актуатора.

$$Q_p = \frac{\pi}{2} Q_m \quad (1)$$

$$V_p = \frac{\frac{\pi}{2} Q_m}{A} \quad (2)$$

$$V_p = 2f \cdot X_p \quad (3)$$

Q_p - проток акумулатора (cm^3/s)

Q_m - проток пумпе (cm^3/s)

A - Ефективан пресек клипа (cm^2)

f - Фреквенција (Hz)

X_p - половина амплитудног клипа

За формуле (2) и (3),

$$Q_m = 4 \cdot f \cdot X_p \cdot A$$

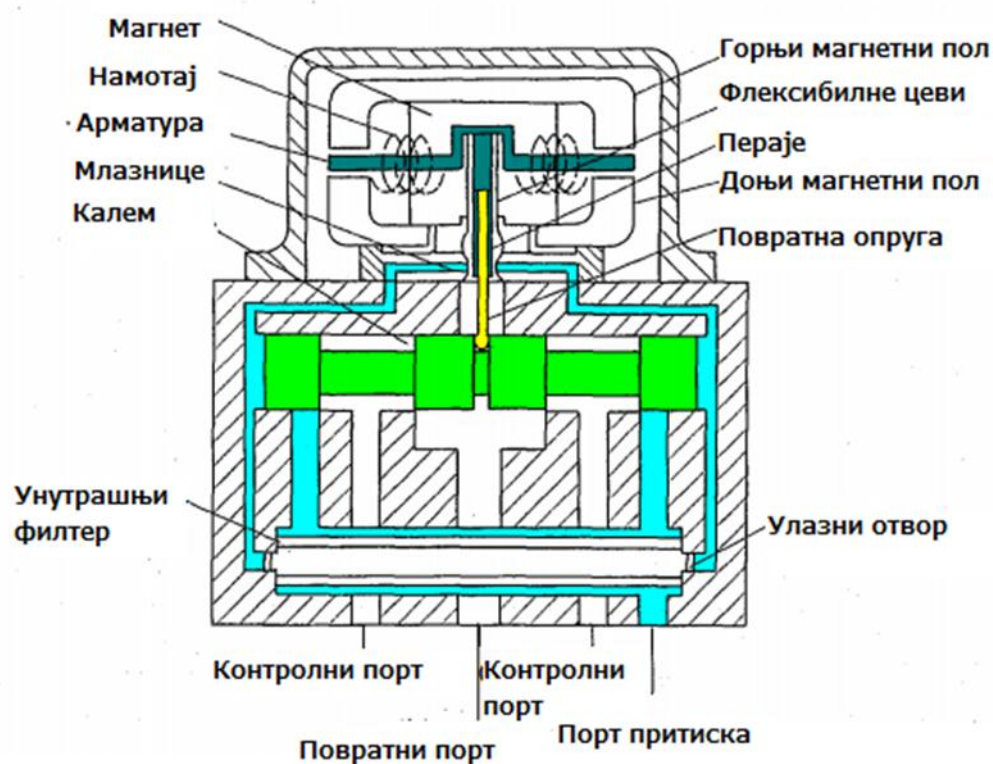
$$A = \frac{F}{P}$$

F - Излаз акутатора (kg)

P – Хидраулични покретни притисак актуатора (kg/cm^2), (Стандардна вредност $140 kg/cm^2$)

3.2.4. Серво вентил

Овај вентил, у складу са командом контролне јединице, контролише проток хидрауличног уља од извора до програма. Серво вентил омогућава малим електронским сигналимa да контролишу хидрауличну течност под великим притиском. Шема серво вентила је приказана на слици 8.



Слика 8. Шема серво вентила

Постоји неколико типова вентила класификованих по протоку. Серво вентил треба да буде одабран тако да проток буде $\pi/2$ пута већи од стопе пражњења Q_m (проток пумпе) хидрауличног извора ($=Q_p$).

3.2.5. Контролер

Једна од ствари које карактеришу *Shimadzu* серво хидрауличну кидалицу је могућност великог броја контролера. Контролер је део који је задужен за контролу

и премеравање целог система. Он контролише режим рада актуатора, услове тестирања и приказује тренутне вредности. Приликом тестирања на располагању је велики број контролних јединица са различитим спецификацијама али је неопходно контролисати силу, обртни момент, одступање, дисторзију, убрзање, унутрашњи притисак итд.

Контролер 4890 (тип *M*)+*GluonS225-2241* је високо функционалан, омогућава тестирање, прикупљање и обраду података а за његово коришћење је неопходан рачунар и софтвер.

Контролер 4830 (тип *V*)*S225-1530* се користи за тест издржљивости и за његову употребу рачунар није неопходан. За повезивање са рачунаром користи се софтвер за контролер 4830 и њихово повезивање је једноставно преко *USB* кабла. У примеру, који је приказан на крају рада, за испитивање панцирног челика је коришћен контролер 4830, слика 9.



Слика 9. Контролер 4830

3.2.6. Давач силе (Давач оптерећења)

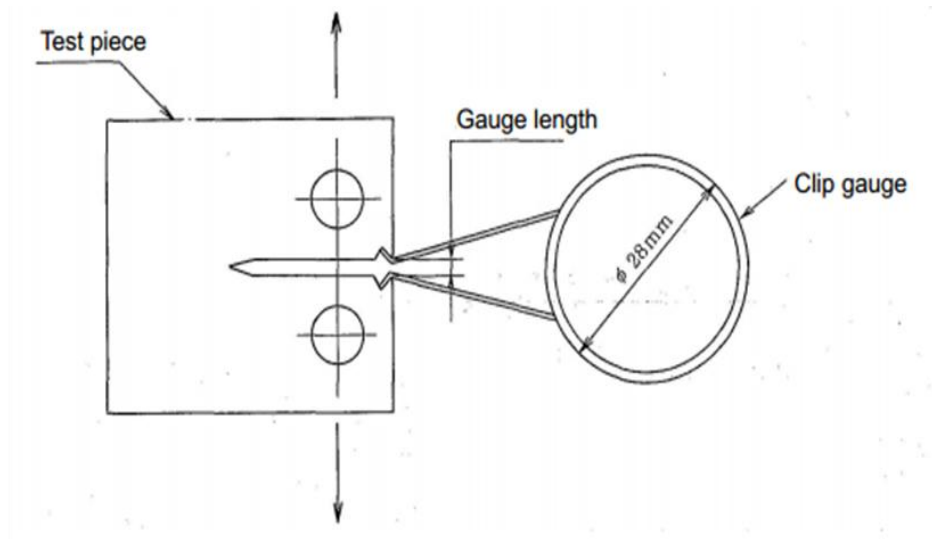
За серво хидрауличне кидалице давач силе има улогу сензора који служи да измере силу, померања и дисторзију. Њихова одлика је прецизност, осетљивост и трајност. Помоћу сензора померања се детектује ход клипа актуатора. Они су идеални за испитивање на замор због издржљивости на замор, компресију и савојна оптерећења. Имају ниску деформацију под оптерећењем и високу природну фреквенцију. Све врсте тестирања дозвољавају стабилна тестирања до 10^9 циклуса.

Изглед сензора (C225-2220) је приказан на слици 10.



Слика 10. Сензор C225-2220

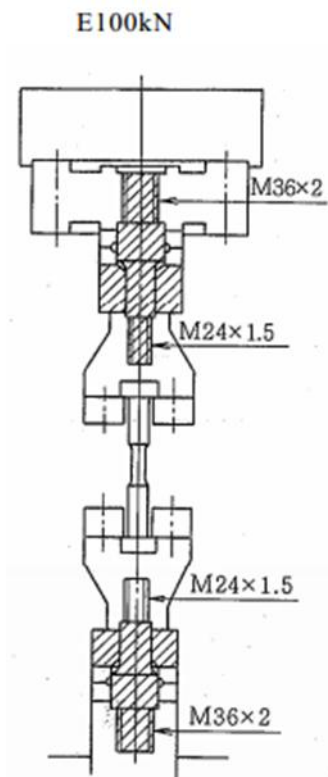
Када се мери напрезање у отворима или прслинама онда се користи *Clip Gauge*, слика 11.



Слика 11. *Clip Gauge*

3.2.7. Стезна глава

Улога стезне главе је да држи чврсто узорак материјала (епрувету) приликом тестирања. На слици 12 је приказана шема стезне главе.



Слика 12. Стезна глава

3.2.8. Узорак

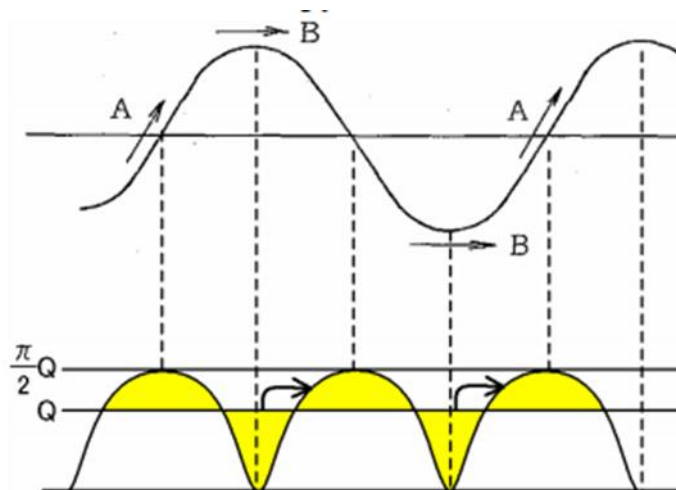
Узорак представља одабрани комад материјала за испитивање. Он мора бити одговарајућих димензија да би могао да стане у захват серво хидрауличне кидалице, тако да величина узорка зависи од врсте кидалице. Неке серво хидрауличне кидалице могу да тестирају и стварне комаде, а не само узорке одређене величине.

3.2.9. Рачунар

Преко рачунара се подешава све везано за тестирње и прати ток тестирања.

3.2.10. Акумулатор

Када је брзина клипа мала, уље се акумулира у акумулатору, а када је брзина клипа велика таде се пуни из акумулатора, слика 13.

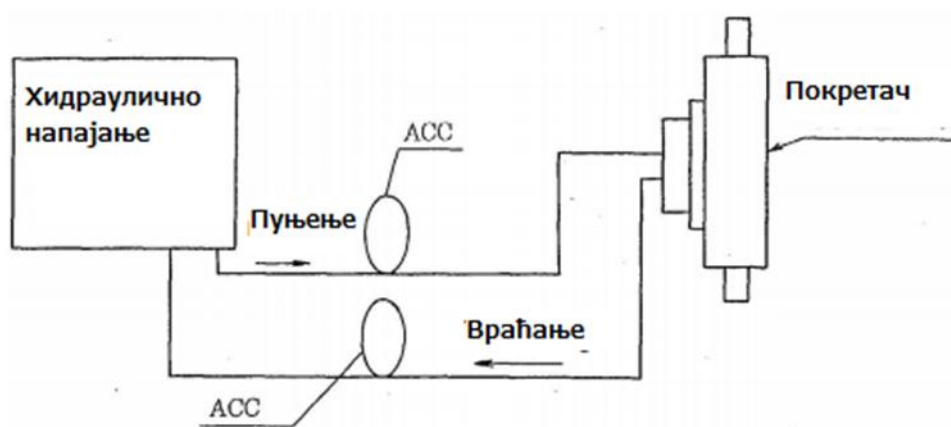


A: Велика брзина клипа

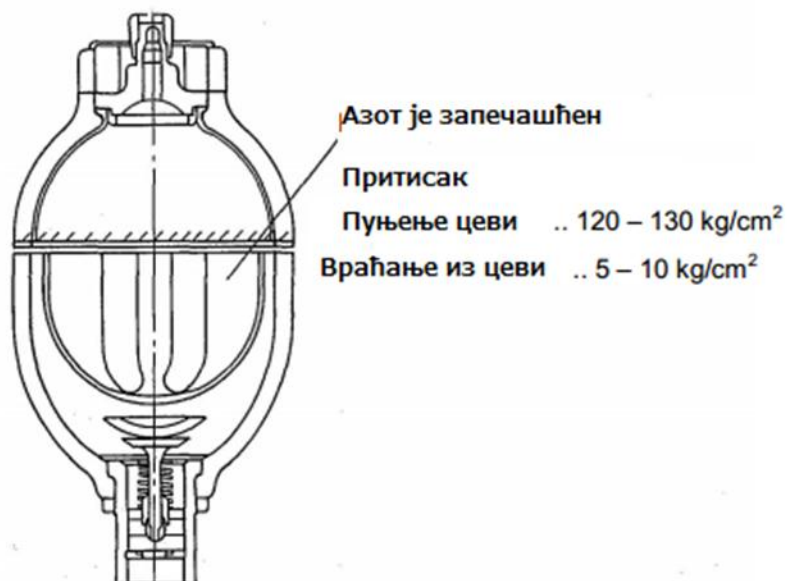
B: Мала брзина клипа

Слика 13. Пуњење и пражњење акумулатора

На слици 14 је приказана позиција инсталирања акумулатора, а на слици 15 структура акумулатора.



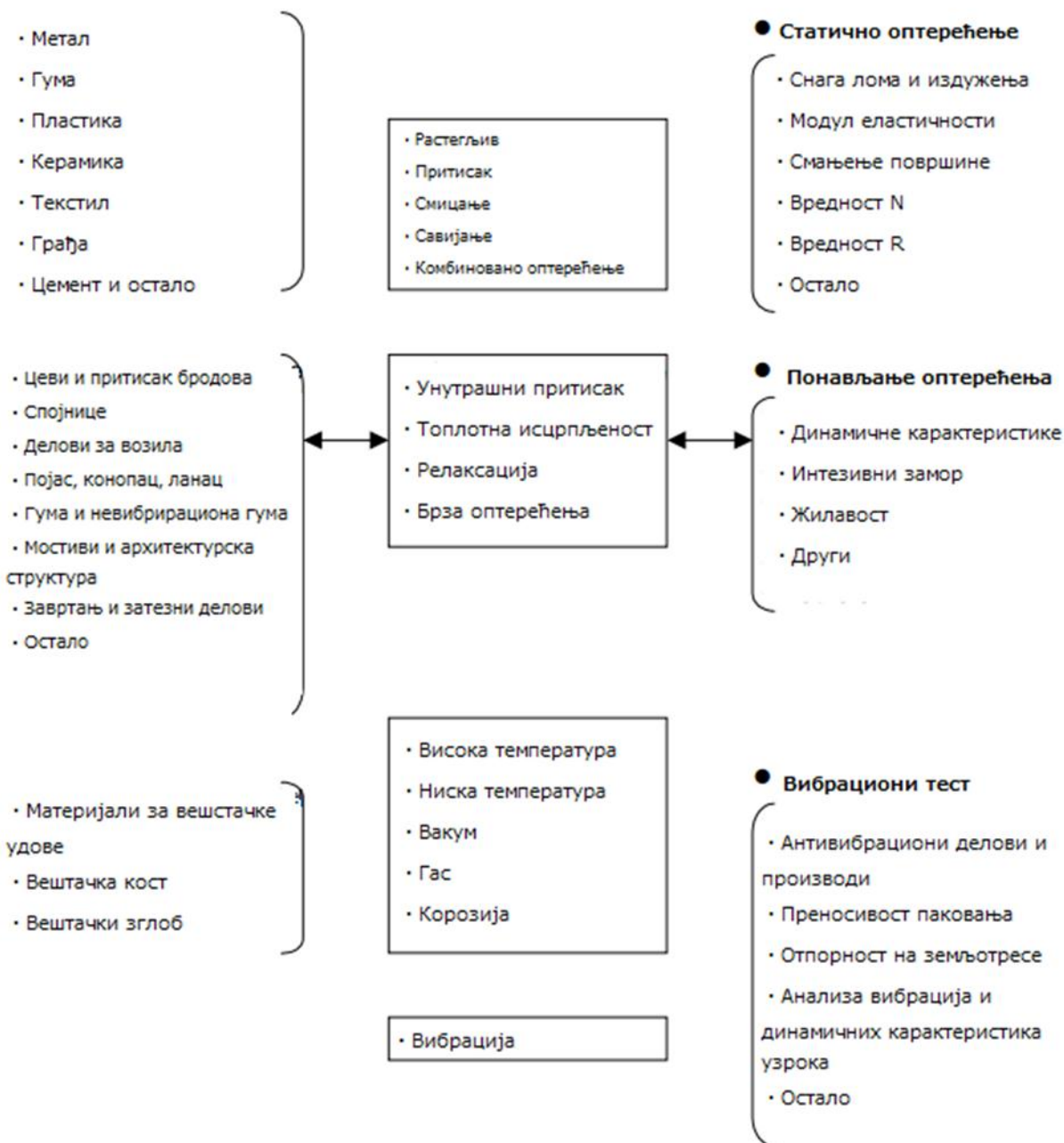
Слика 14. Позиција инсталирања акумулатора



Слика 15. Структура акумулатора

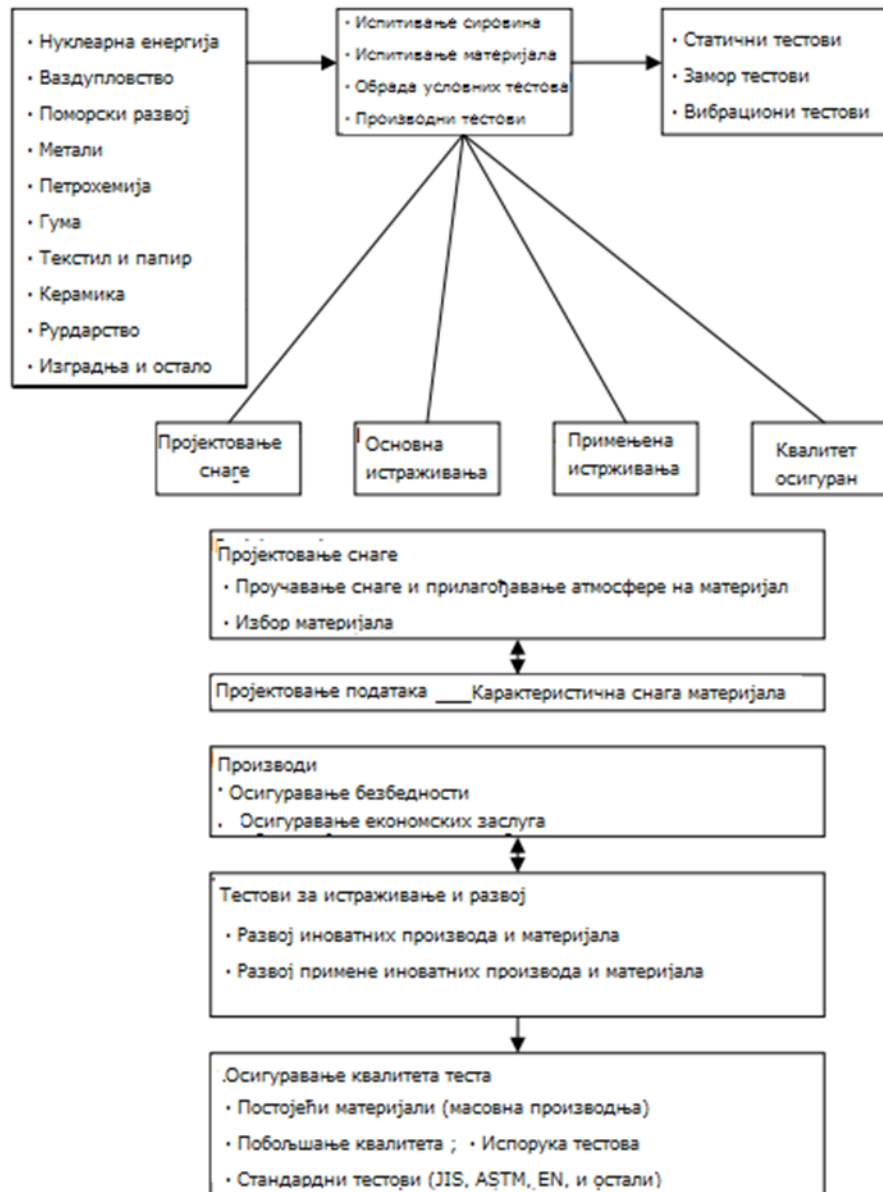
3.3. Примена *Shimadzu* серво хидрауличне кидалице

Shimadzu серво хидраулична кидалица омогућава испитивање различитих материјала и композитних материјала на притисак, комбиновано оптерећење, високе температуре, унутрашњи притисак итд. Из ових тестова је могуће добити различите податке који служе за оцену карактеристика ових материјала, слика 16.



Слика 16. Примена серво хидрауличне кидалице за испитивање разних врста материјала

Због применљивости више тестова на различите материјале она може имати примену у више индустрија у виду испитивања сировина, материјала, вршења условних тестова и производних тестова, слика 17.



Слика 17. Примена серво хидрауличне кидалице за испитивање у индустрији

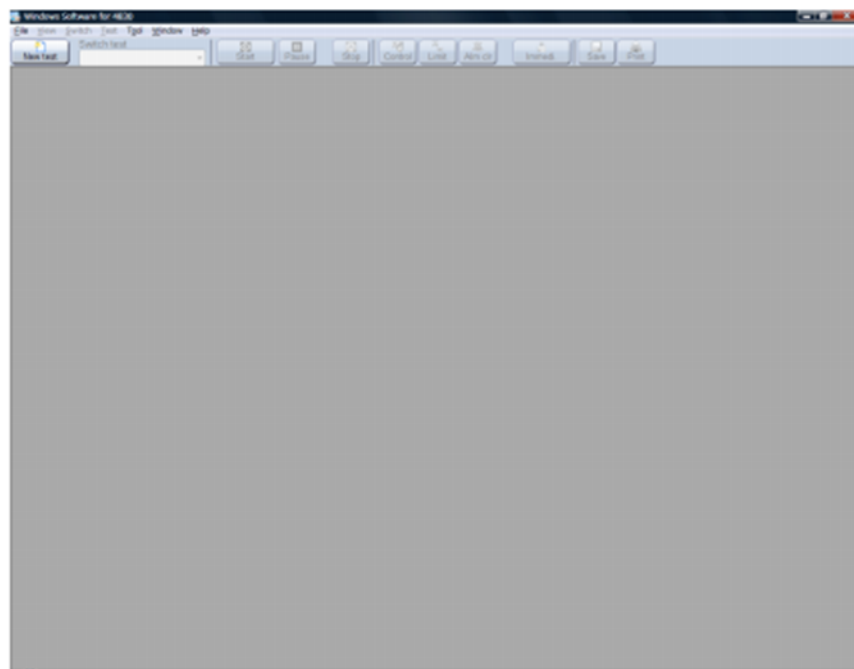
4. Софтвер за испитивање статичких карактеристика материјала

Како је већ речено, део који има улогу контроле целог система је контролер. За потребе испитивања панцирног челика чији су резултати приказани у овом раду коришћен је контролер 4830. Његово повезивање на рачунар је једноставно и врши се повезивањем путем *USB* кабла. Контролер захтева коришћење софтвера за испитивање статичких карактеристика материјала, који као резултат даје криву течења. Приликом обраде података, софтвер приказује графикон зависности издужења од силе, врши прорачун модула еластичности, 0.2% границе еластичности ($R_{0,2}$) као и тест максималне силе.

4.1. Подешавање контролера

Да би се омогућио нормалан рад контролера потребно је прво проверити да ли је контролер повезан на рачунар преко *USB* кабла. После провере потребно је

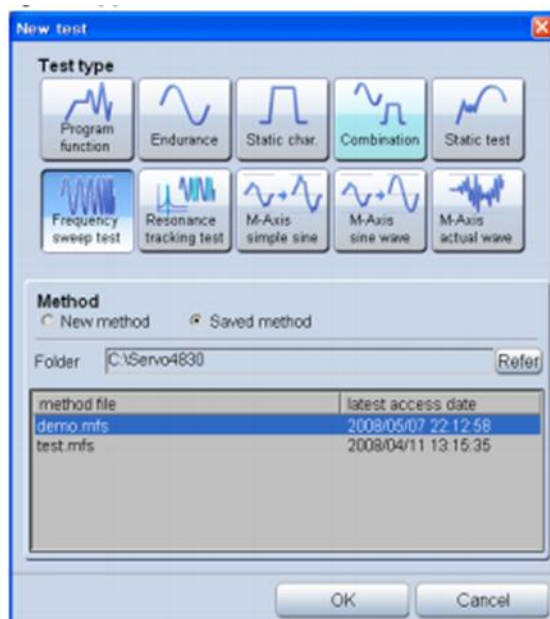
на радној површини рачунара пронаћи иконицу *Servo4830*  и двапут кликнути на њу. Софтвер се стартује и појављује се почетни прозор, слика 18. Ако је недавно рађено неко тестирање биће понуђено отварање резултата тог тестирања.



Слика 18. Почетни прозор контролера

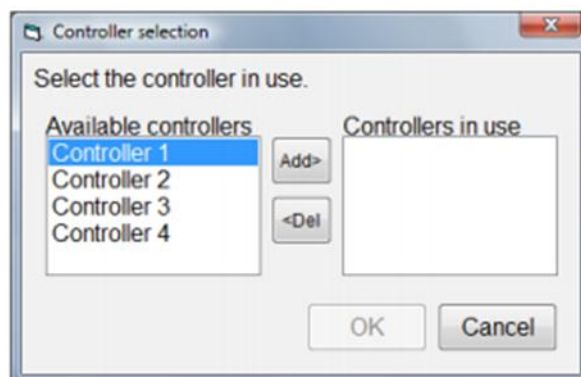
У случају да није могуће повезивање контролера и рачунара предузимају се следећи кораци: изађе се из софтвера, извуче и опет врати *USB* кабл и рестартује софтвер.

После стартовања софтвера потребно је кликнути на „Нови тест“ како би се појавио прозор са понуђеним методама, слика 19. Након клика на „Статички тест“ и бирања нове методе („Newmethod“), кликом на „ОК“ завршава се рад у овом прозору.



Слика 19. Бирање теста у софтверу

Након избора врсте теста и нове методе, следи подешавање контролера. Приликом одабира се може изабрати само један контролер из „*Available controllers*“ и кликом на „Add“ дугме изабрани контролер ће бити додат у „*Controllers in use*“ листу, слика 20.

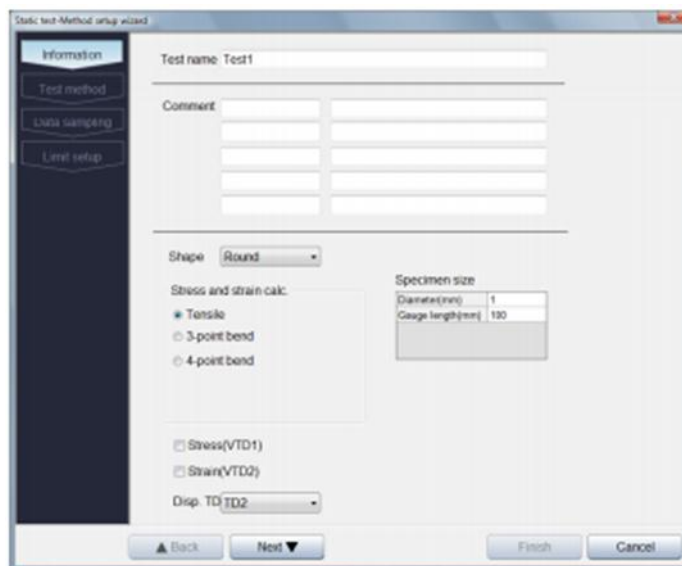


Слика 20. Додавање контролера

4.2. Подешавање тест методе

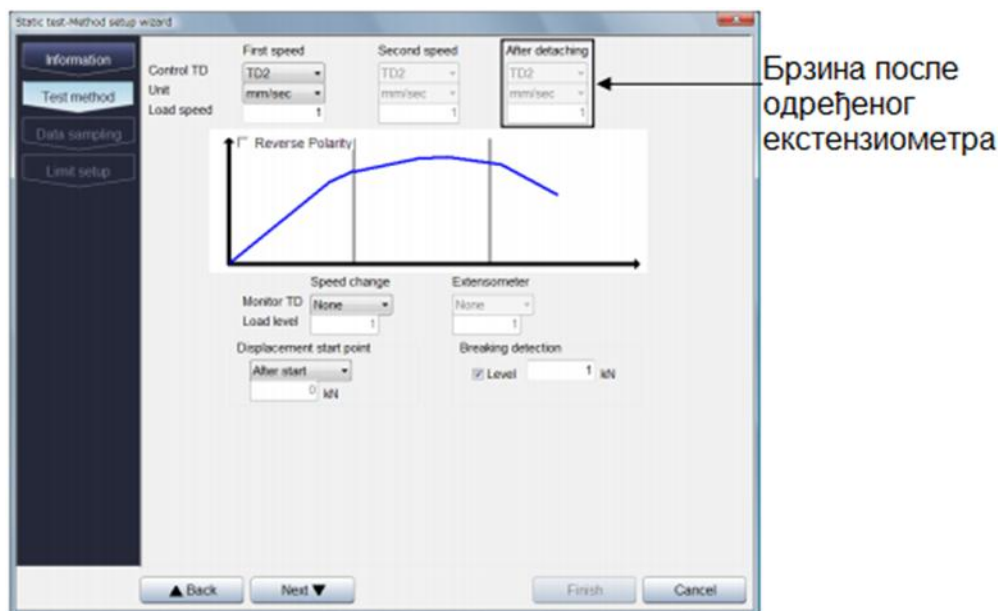
Тест метода се формира помоћу „чаробњака“ за подешавање метода, који олакшава подешавање теста.

Прво се користи информациони прозор у који се уносе име теста и остали коментари као што су датум и тип теста. Могуће је уписати до 5 коментара, слика 21.



Слика 21. Информациони прозор

Након информационог прозора се подешава тест метода. Овај прозор се користи да се подеси брзина оптерећења и друге релеванте информације, слика 22. Без екстензиометра није могуће одредити модул еластичности.

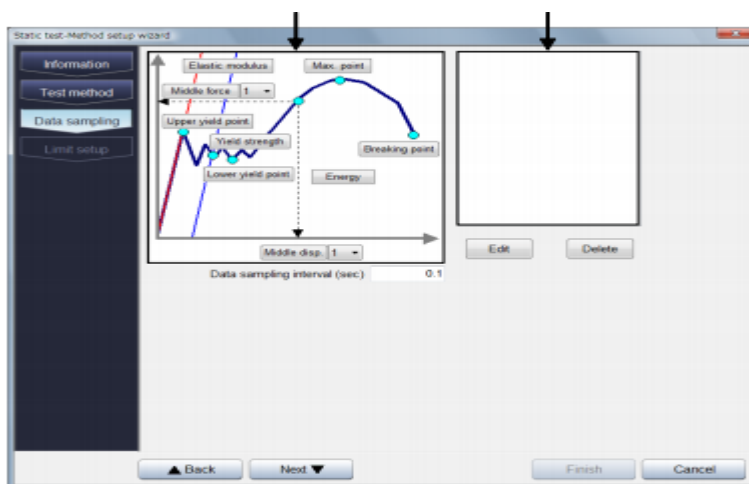


Слика 22. Метод тест прозор

Следеће подешавање се односи на подешавање излазних података. У овом прозору је могуће прецизирати обраду података. На графикону су означене тачке које се могу мењати. Кликом на неку од њих, нпр. горњу границу течења, отвара се нови прозор за њено подешавање. Графикон се налази у делу „Подаци за бирање“. Подаци са графикона који су изабрани и подешени се налазе у делу „Обрађени подаци“. Кликом на „Edit“ или „Delete“ могуће је мењање и брисање подешавања. Овде се подешава и интервал података од 0.001 до 1000, слика 23.

Подаци за бирање

Обрађени подаци

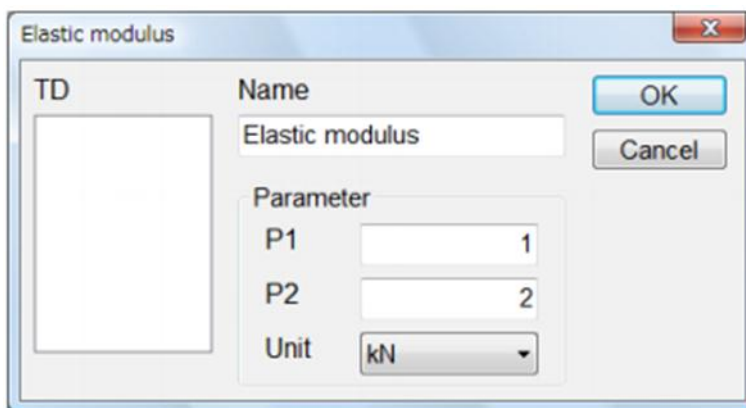


Слика 23. Пример одабира података

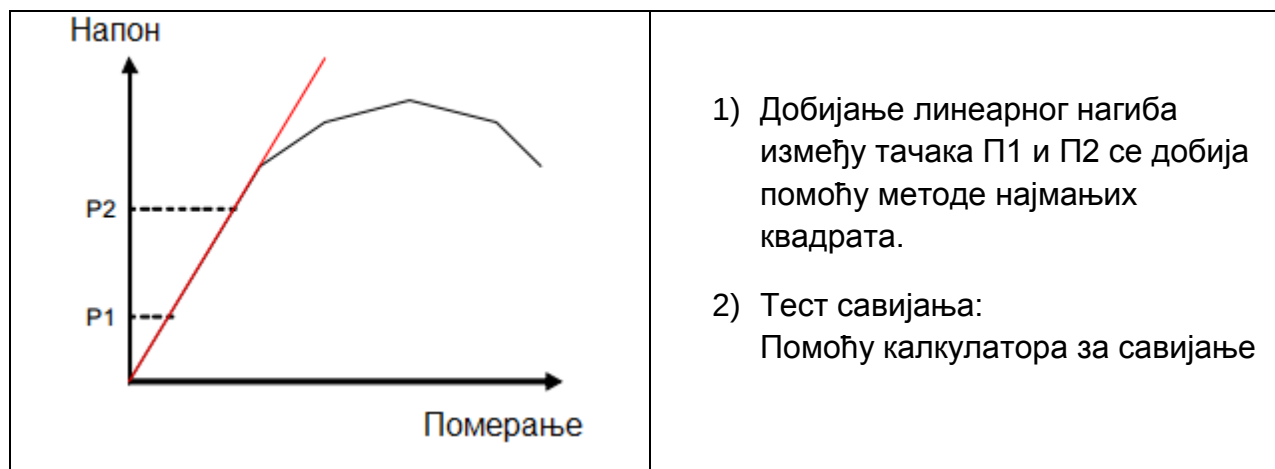
У наставку су описане све тачке које су дате на графикону, слика 23.

- Модул еластичности

На слици 24 је приказан прозор који се отвори након одабира модула еластичности на графикону, а на слици 25 је приказан графикон модула еластичности.



Слика 24. Модул еластичности

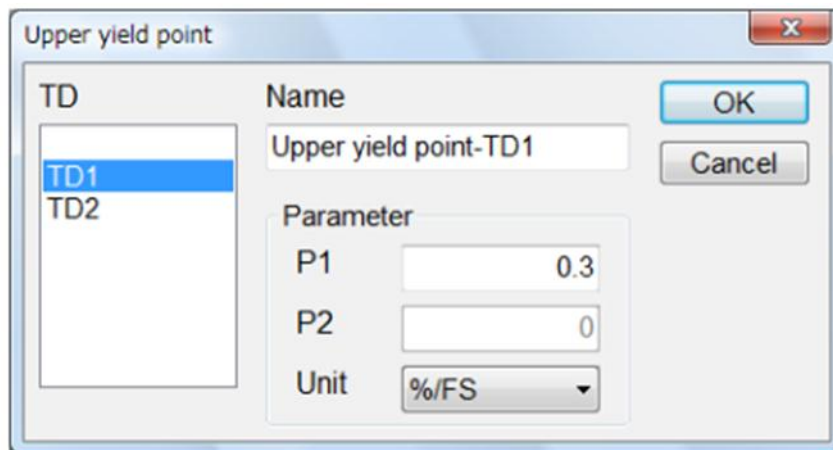


- 1) Добијање линеарног нагиба између тачака П1 и П2 се добија помоћу методе најмањих квадрата.
- 2) Тест савијања:
Помоћу калкулатора за савијање

Слика 25. Графикон модула еластичности

- Горња граница течења

На слици 26 је приказан прозор који се добија бирањем ове тачке на графикону, а на слици 27 је приказан графикон горње тачке течења.



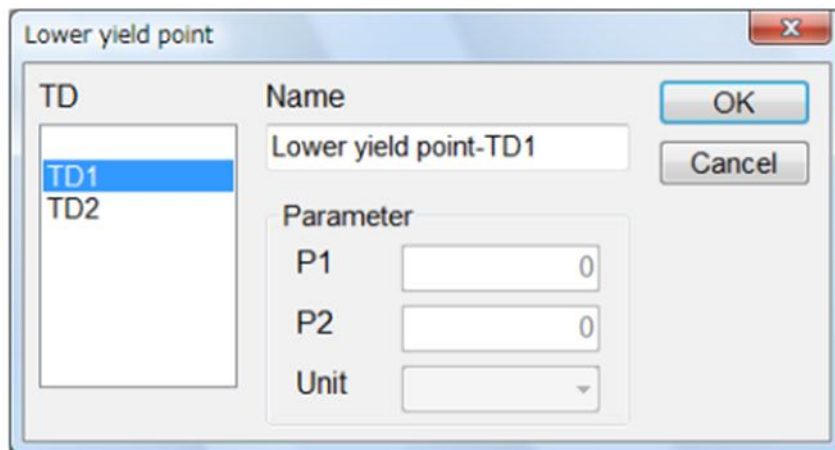
Слика 26. Горња тачка течења



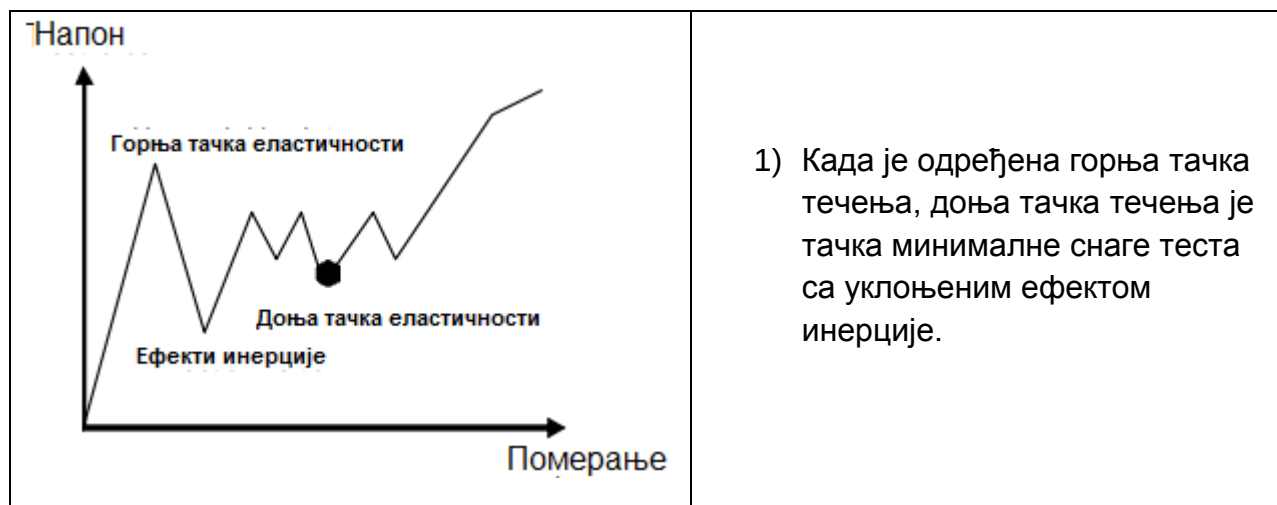
Слика 27. Графикон горње тачке течења

- Доња граница течења

На слици 28. је приказан прозор који се добија након одабира доње тачке течења на графикону, а слици 29 је приказан графикон доње границе течења.



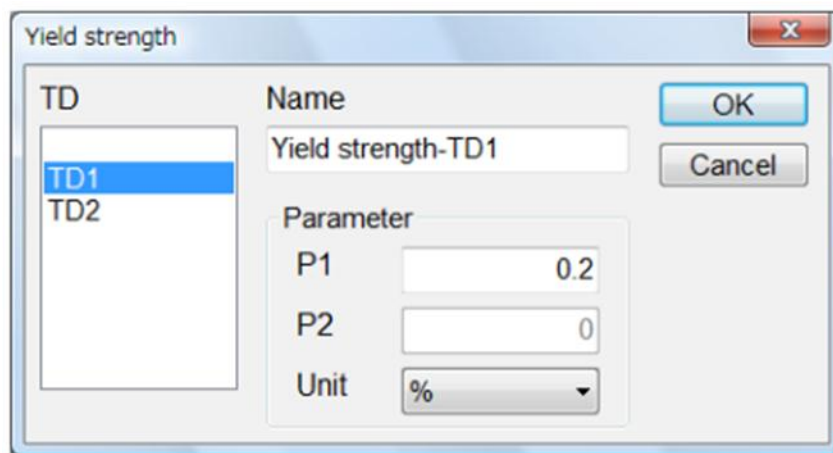
Слика28.Доња тачка течења



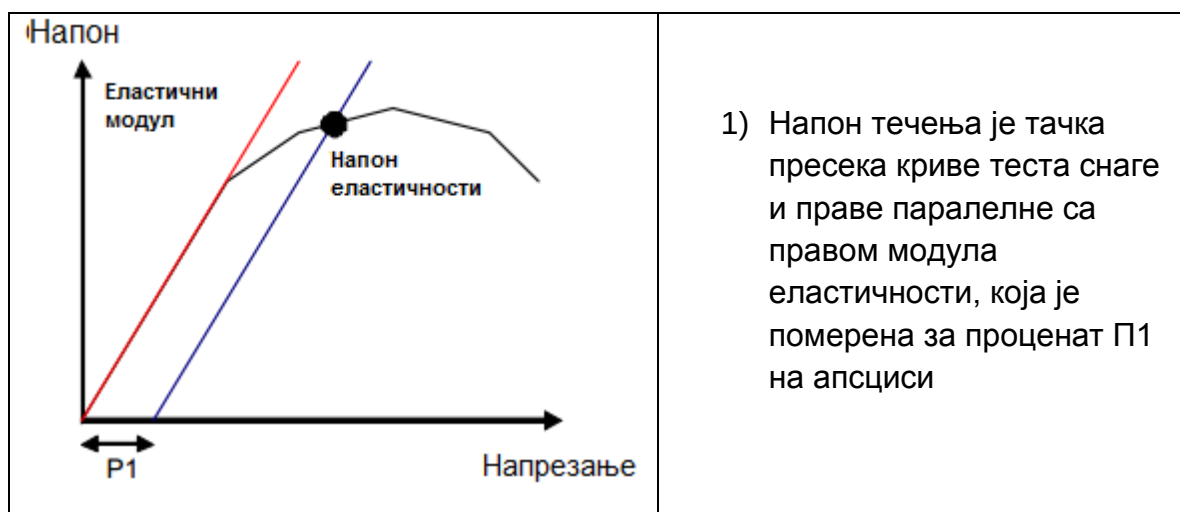
Слика 29. Графикон доње тачке течења

- Модул еластичности

Модул еластичности мора бити постављен пре постављања границе еластичности, слика 30, а на слици 31 је приказан графикон модула еластичности.



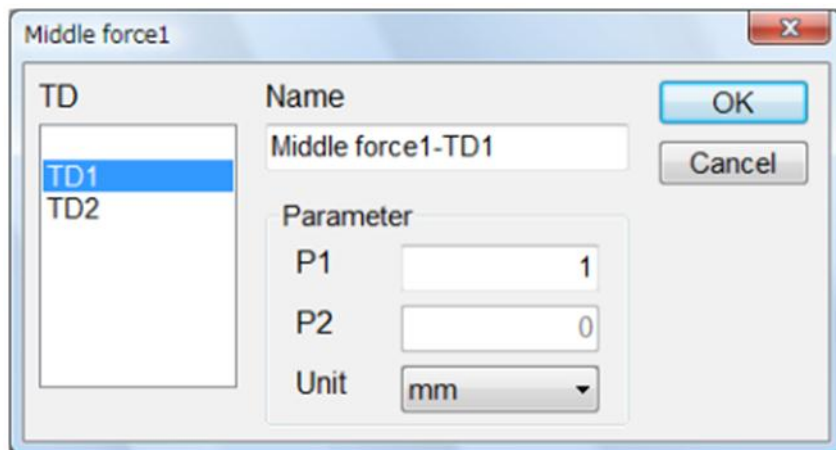
Слика 30. Модул еластичности



Слика 31. Графикон модула еластичности

- Средња сила

На слици 32 је приказан прозор који се отвори након одабира средње силе на графикону, а на слици 33 приказан графикон средње силе.



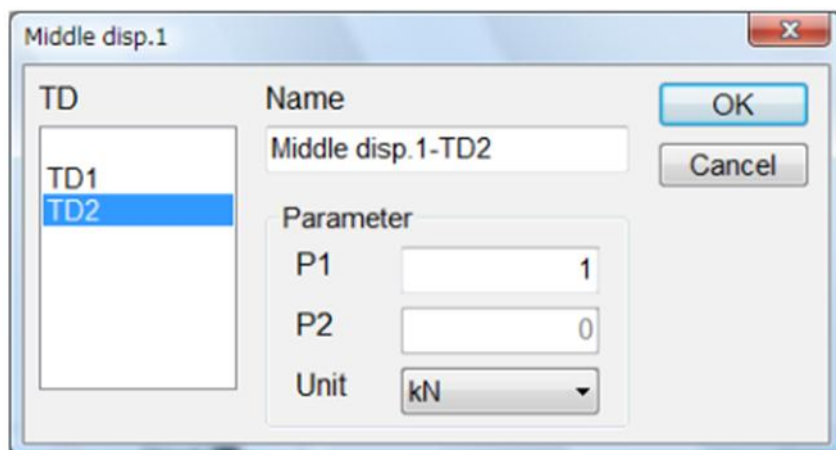
Слика 32. Средња сила



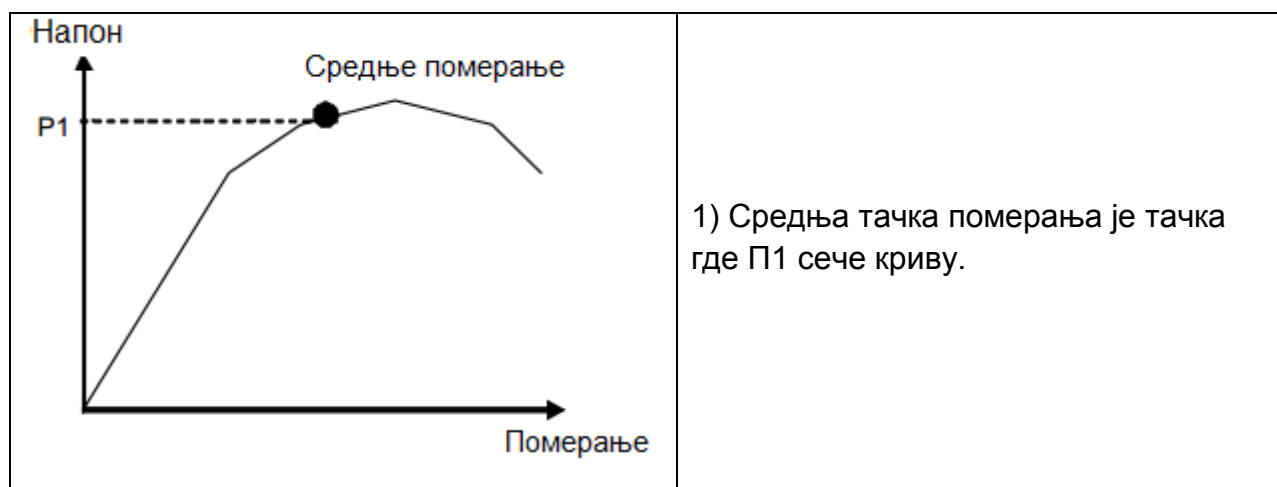
Слика 33. Графикон средње силе

- Средње померање

На слици 34 је приказан прозор за подешавање који се отвори након одабира средњег померања на графикону, а на слици 35 је приказан графикон средњег померања.



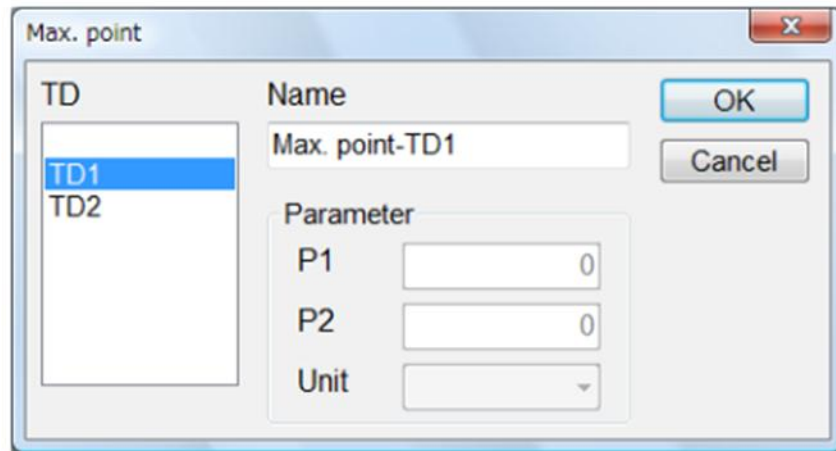
Слика 34. Средње померање



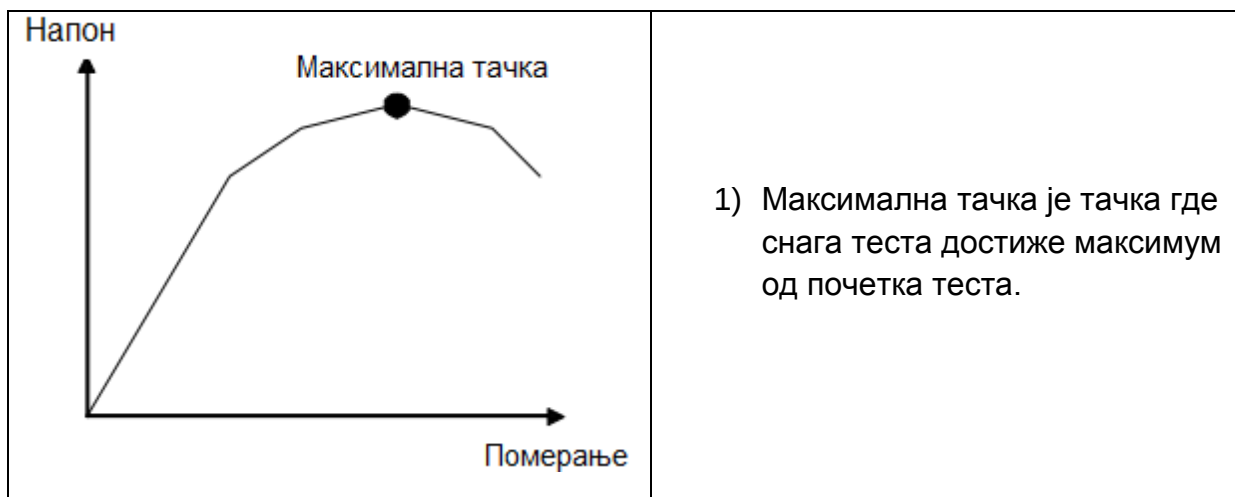
Слика 35. Графикон средњег померања

- Максимална тачка

На слици 36 је приказан прозор који се отвори када се изабере максимална тачка на графикону, а на слици 37 је приказан графикон максималне тачке.



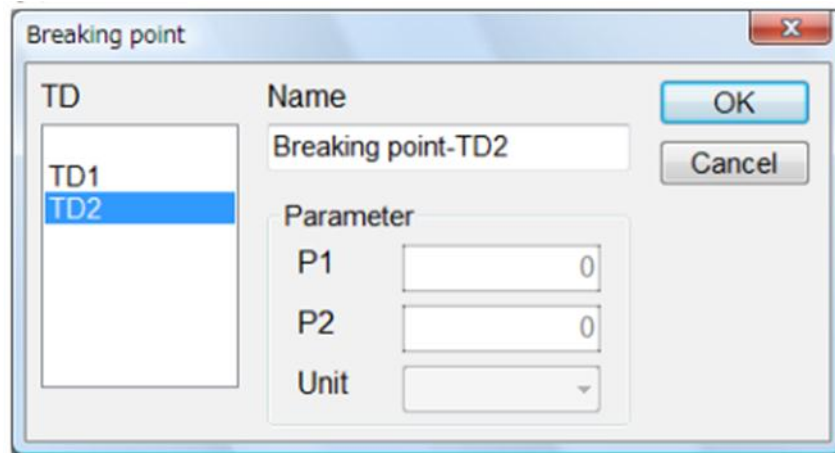
Слика 36. Максимална тачка



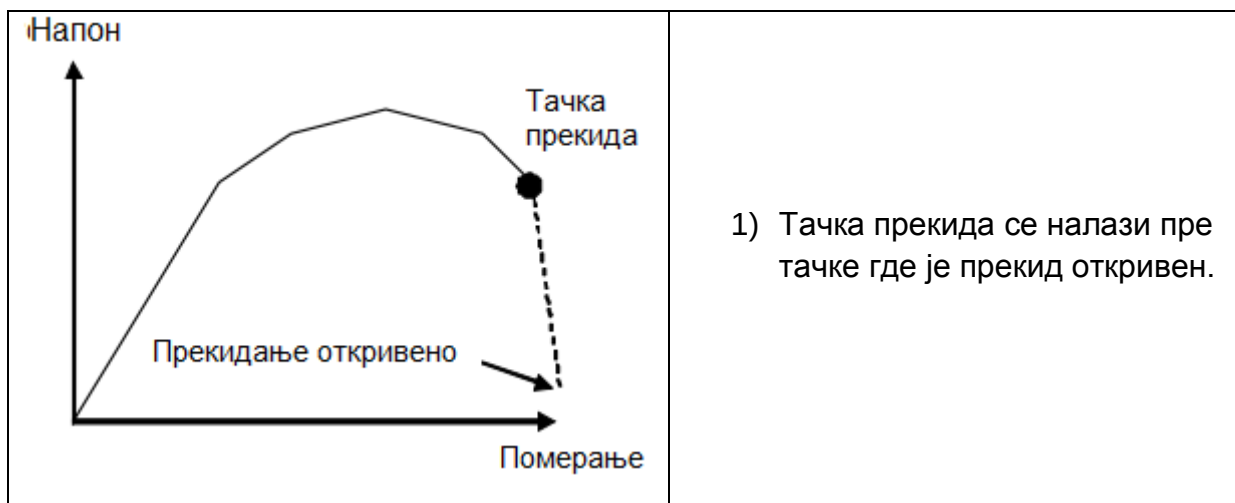
Слика 37. Графикон максималне тачке

- Тачка прекида

На слици 38 приказан је прозор који се отвори када се на графикону изабере тачка прекида, а на слици 39 је приказан графикон тачке прекида.



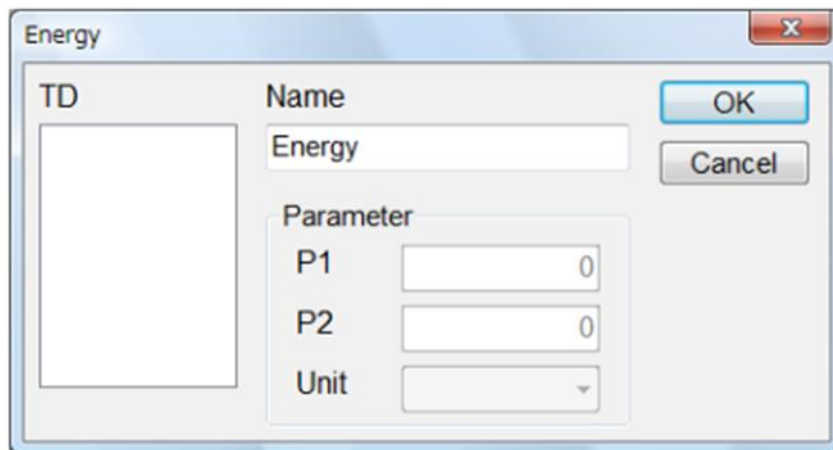
Слика 38. Тачка прекида



Слика 39. Графикон тачке прекида

- Енергија

На слици 40 је приказан прозор за подешавање који се отвори када се на графикону изабере енергија, а на слици 41 је приказан графикон енергије.



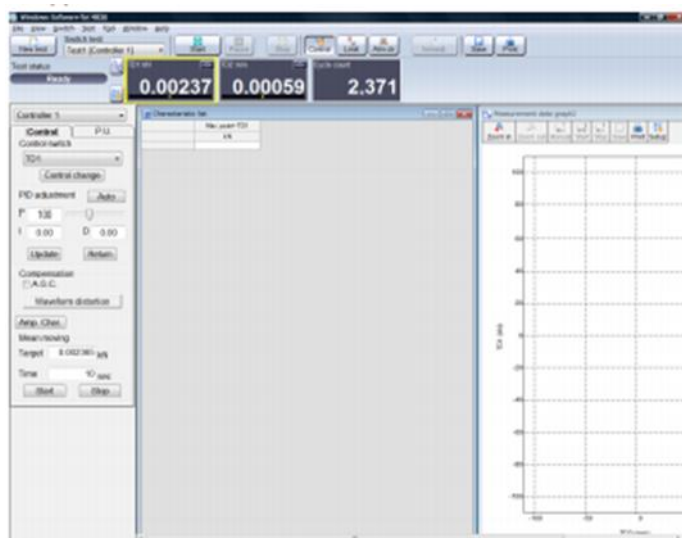
Слика 40. Енергија



- 1) Енергија је укупна површина између криве теста и осе померања од почетка теста до краја теста.

Слика 41. Графикон енергије

Након свих подешавања могуће је почети са испитивањем. Графикон ће се појавити у реалном времену током теста. Након завршетка теста појавиће се резултати, слика 42, и њих је потребно снимити. У „DataViewer“-у је могуће проверити резултате теста, сачувати их у CSV формату и штампати их.



Слика 42. Графикон у реалном времену

5. Пример испитивања

На сервихидрауличној кидалици Shimadzu је извршено испитивање истезањем осам епрувета. Кидалица коришћена за испитивање је максималне статичке силе $\pm 120\text{kN}$ и максималног хода актуатора $\pm 100\text{mm}$. Кидалица поседује хидрауличну стезну главу и екстензометар опсега 25mm , до 100% издужења. Са плоче добијене за тестирање четири епрувете су сечене хоризонтално а четири вертикално, и помоћу њих је извршено испитивање панцирног челика.

Коришћен је контролер V4830 и софтвер QLUON за повезивање са рачунаром. Испитивање је вршено на собној температури и у складу са стандардом *ENISO 6892-1:2009 Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature*.

Механичке карактеристике узорка панцирног челика добијене овим тестирањем су приказане у табели 4:

R.Br.	Naziv	$R_{0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	E [MPa]
1.	Uzorak_H1	1515,44	1898,63	205069
2.	Uzorak_H2	1527,32	1906,12	205866
3.	Uzorak_H3	1520,57	1908,88	199663
4.	Uzorak_H4	1442,85	1905,03	210884
5.	Uzorak_V1	1497,6	1888,67	211479
6.	Uzorak_V2	1464,73	1882,35	207544
7.	Uzorak_V3	1493,39	1877,47	207295
8.	Uzorak_V4	1462,76	1905,07	202662

Табела 4. Механичке карактеристике узорка панцирног челика

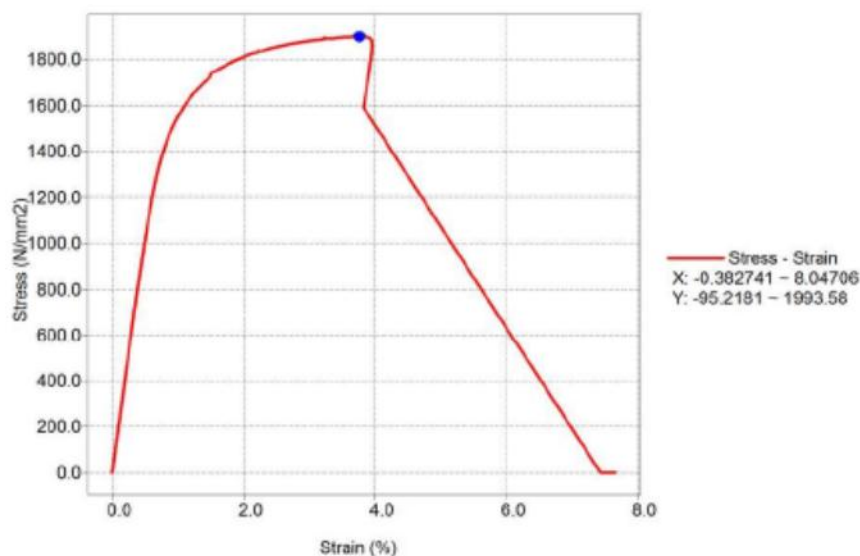
Епрувете означене са V су сечене вертикално, а епрувете означене са H хоризонтално. За одређивање напона течења челика користи се напон потребан за усвојену дозвољену трајну деформацију од 0.2%. Ово је граница пластичног издужења која се највише може толерисати а да се не угрози рад конструкције. Како је код свих осам епрувета добијена приближна, али различита, вредност напона, може се донети закључак да се изворна конструкција епрувете не сме оптеретити више од најмањег добијеног резултата $R_{0,2}$, који за испитане епрувете износи 1442, 85 MPa.

Највећа вредност напона којим је оптерећен материјал током испитивања се за свих осам епрувета креће око 1900 MPa. Код челика лом настаје брзо након достизања овог напона.

Модул еластичности за челик је 207000 MPa на собној температури. Добијени резултати свих осам епрувета варирају око 200000 MPa . За колико је његова вредност већа за толико је потребна већа сила да би се дошло до трајне деформације.

У наставку су приказани појединачни дијаграми течења и резултати сваке епрувете.

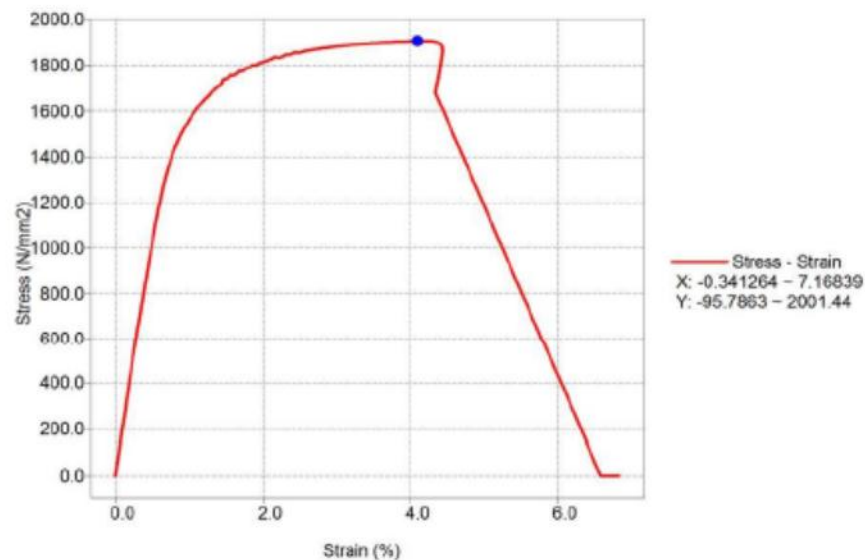
Test name	Uzorak_H1		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm ²	205069
Max. point-Stress	N/mm ²	1898.63
Yield strength-Stress	N/mm ²	1515.44

Слика 43. Резултати испитивања H1 епрувете

Test name	Uzorak_H2		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm ²	205866
Max. point-Stress	N/mm ²	1906.12
Yield strength-Stress	N/mm ²	1527.32

Слика 44. Резултати испитивања H2 епрувете

Test name	pancirI_01
-----------	------------

Test method

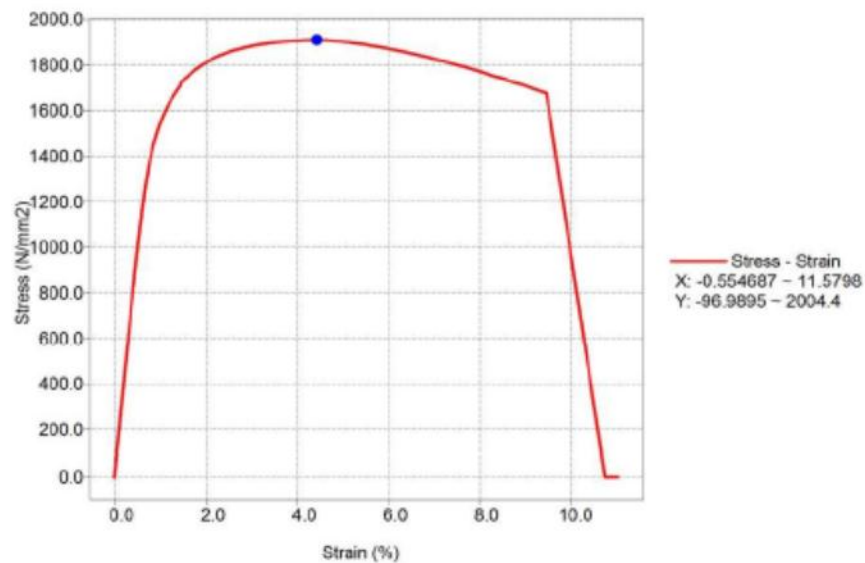
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-

	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	

Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
--------------------------	-------------	--------------------	------

Data sampling

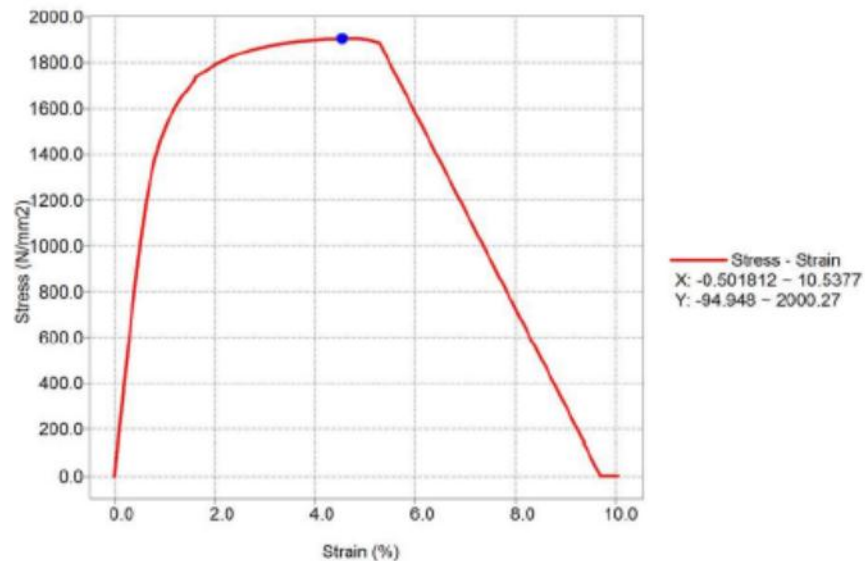
Data sampling interval (sec)	0.1		
------------------------------	-----	--	--



Elastic modulus	N/mm2	199663
Max. point-Stress	N/mm2	1908.88
Yield strength-Stress	N/mm2	1520.57

Слика 45. Резултати испитивања НЗ епрувете

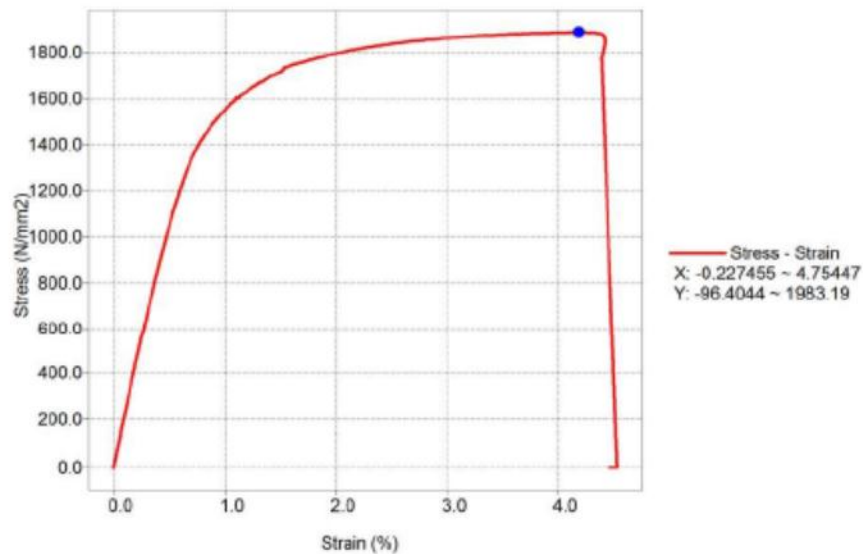
Test name	pancirII_01		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm ²	210884
Max. point-Stress	N/mm ²	1905.03
Yield strength-Stress	N/mm ²	1442.85

Слика 46. Резултати испитивања H4 епрувете

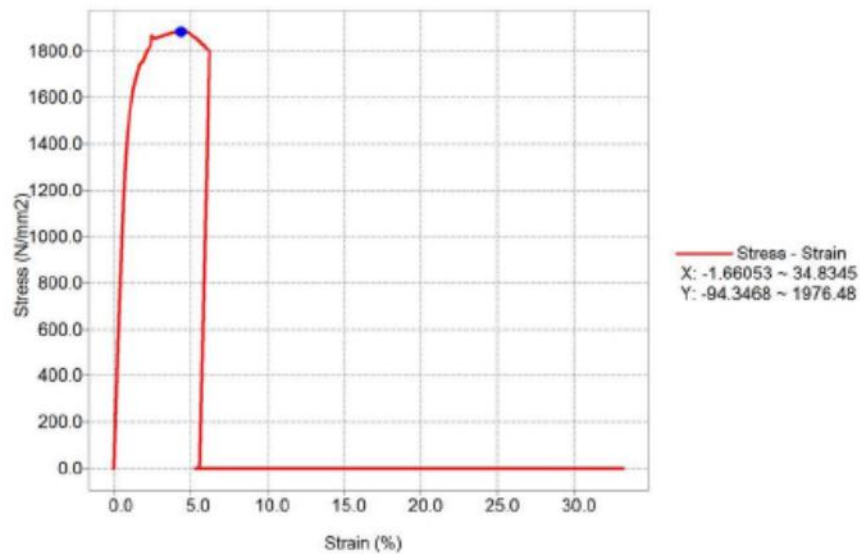
Test name	Uzorak_V1		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm2	211479
Max. point-Stress	N/mm2	1888.67
Yield strength-Stress	N/mm2	1497.60

Слика 47. Резултати испитивања V1 епрувете

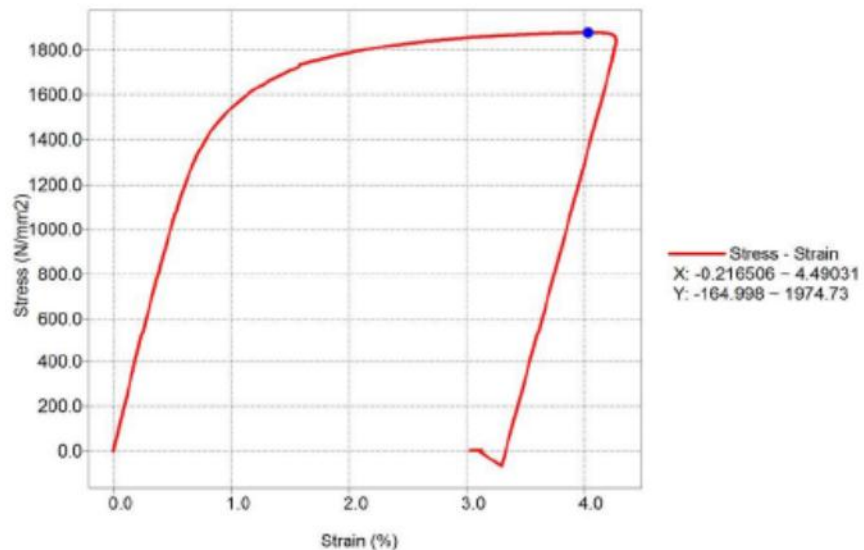
Test name	Uzorak_V2		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm ²	207544
Max. point-Stress	N/mm ²	1882.35
Yield strength-Stress	N/mm ²	1464.73

Слика 48. Резултати испитивања V2 епрувете

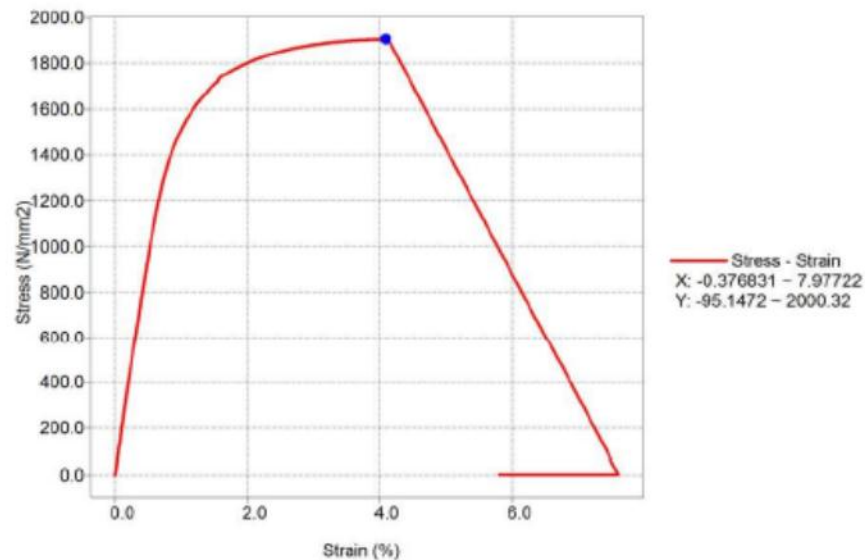
Test name	pancirII_01		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm2	207295
Max. point-Stress	N/mm2	1877.47
Yield strength-Stress	N/mm2	1493.39

Слика 49. Резултати испитивања V3 епрувете

Test name	pancirll_01		
Test method			
	First speed	Second speed	After detaching the extensometer
Control TD	Stroke	Stroke	-
Unit	mm/min	mm/min	-
Load speed	1	3	-
	Speed change point	Extensometer detaching point	
Monitor TD	Force	None	
Load level	62 kN	-	
Displacement start point	After start	Breaking detection	1 kN
Data sampling			
Data sampling interval (sec)	0.1		



Elastic modulus	N/mm ²	202662
Max. point-Stress	N/mm ²	1905.07
Yield strength-Stress	N/mm ²	1462.76

Слика 50. Резултати испитивања V4 епрувете

На слици 41 је приказан изглед епрувета након извршеног испитивања, на којима се може уочити где је прекид настао.



Слика 51. Епрувете након извршеног статичког испитивања

6. Закључак

Испитивање затезањем пружа слику о механичким својствима материјала, па се стога најчешће примењује. При испитивању метала статичким дејством сила њихове механичке особине знатно зависе од низа параметара, као што су: температура околине, брзина деловања силе, време трајања оптерећења итд.

У овом раду је коришћен сервохидраулички мерни уређај *Shimadzu* који је коришћен за испитивање панцирног челика од кога је изрезано осам епрувета и тестирано на собној температури. Објашњени су најважнији параметри добијени оваквим испитивањем преко којих се оцењују механичке карактеристике материјала, рад у софтверу и графички је приказан дијаграм течења сваке епрувете.

У примеру који је урађен на *Shimadzu* кидалици приказана су три параметра на основу којих је оцењиван панцирни челик, а поред њих се преко дијаграма могу добити остали параметри. Објашњен је начин њиховог добијања у софтверу који повезује коришћени контролер за рачунар, као и могућности вршења овог испитивања. Битно је поменути да је сврха испитивања механичких особина материјала оцена њиховог „понашања„ у пракси, односно њихова безбедност и функционалност.

7. Литература

1. **Милорад Јовановић, Драган Адамовић, Вукић Лазаревић, Нада Ратковић.** *Машински материјали*. Крагујевац, 2003.
2. **Милорад Милованчевић, Нина Анђелић.** *Отпорност материјала*. Београд, 2010.
3. **Терзић, Петар.** *Испитивање метала*. Београд, 1972.
4. Shimadzu Literature. *Shimadzu*. <http://www.shimadzu.com/>.