

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Павле Д. Живковић

Конструкција тестере за сечење цеви

Завршни рад

Крагујевац, 2017.



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Основи конструисања

Број индекса: 77/2014

Павле Д. Живковић

Конструкција тестере за сечење цеви

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Ненад Марјановић - ментор

2. Проф. др _____

3. Проф. др _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2017.

У оквиру овог завршног рада представљена је конструкција тестере за сечење цеви у линији за производњу цеви. Такође извршена је и интеграција тестере у аутоматски рад линије. Веза је успостављена преко PLC.а. Главни задатак је отклањање недостатака, уочених на постојећој тестери.

Препоручена литература:

- [13] Јовичић С., Марјановић Н., **Основи конструисања**, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, САД Лабораторија, Крагујевца, 2012.
- [14] Вера Николић, **Машински елементи**, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, САД Лабораторија, Крагујевца, 2004.

Крагујевац, 2017.

Ментор:
Проф. др Ненад Марјановић

Садржај:

1. Увод.....	1
2. Производња цеви.....	3
3. Пројектни задатак.....	8
4. Опис рада тестере.....	9
5. Прорачуни.....	13
5.1 Главни линеарни систем.....	13
5.2 Бочни линеарни систем	19
6. Конструкција тестере.....	25
6.1 Подсклоп главног носећег рама.....	27
6.1.1 Главни носећи рам	27
6.1.2 Главно навојно вретено	30
6.1.3 Главна носећа колица	34
6.2 Подсклоп пнеуматске стеге.....	36
6.3 Подсклоп сечења	37
6.3.1 Кућиште – носач малог линеарног система	38
6.3.2 Мало навојно вретено	40
6.3.3 Мала носећа колица.....	42
6.3.4 Погон малог навојног вретена	43
6.3.5 Погон тестере	45
6.3.6 Тестера	47
7. Одржавање, руковање и заштита на раду	49
7.1 Одржавање тестере.....	49
7.2 Руковање тестером	50
7.3 Заштита на раду	51
8. Закључак.....	53
9. Литература.....	55

Abstract: The paper presents the construction of an automatic saw for the tube cutting in the tube production line, a detailed analysis of its operation, as well as the method of selecting the elements necessary for its operation. Also, here it is presented the method of pipe production in which the tube starts as a straight tape, and then, with the rollers, it is profiled into the tube, followed by welding, annealing, final calibration and cutting, as the final part of the tube production.

The purpose of constructing this saw was the automation of the second tube production line, in addition to the existing ones. These lines are in operation at Elit Inox, where I was practicing. In addition, it was necessary to remove the shortcomings present on the existing saw, which was the main task.

The analysis of the work of the saw is done through a whole cycle which the saw performs when cutting the pipe. The cycle consists of several stages in which the saw has the task of achieving the speed of the pipe, tightening the pipe, making the cutting, releasing the tube and returning to the initial position.

The saw consists of several sub-assemblies. The selection of the elements of each sub-assembly has been carried out by calculations, and most elements have been selected by renowned manufacturers such as "Rexroth", "Schneider", "Wittenstein", "FESTO", etc.

At the end of the paper is described the method of maintenance and handling of the saw, as well as the way of protection at work, which is necessary for the proper functioning of the saw and the entire line.

Key words: Automatic saw, pipe cutting, linear system, circular saw (cutting tool), pneumatic clamp, servo motor.

Резиме: У раду је дат приказ конструкције аутоматске тестере за сечење цеви у линији за производњу цеви, детаљна анализа њеног рада, као и начин избора елемената потребних за њен рад. Такође, представљен је и начин производње цеви у којој цев започиње као равна трака, а затим се, помоћу ваљака профилише у цев, након чега следи заваривање, жарење, завршна калибража и сечење, као завршни део производње цеви.

Сам циљ конструисања ове тестере је био аутоматизација друге линије за производњу цеви, поред већ постојеће. Ове линије се налазе у погону фирме Elit Inox, где сам био на пракси. Поред овога било је потребно отклонити недостатке присутне на већ постојећој тестери, што је био и главни задатак.

Анализа рада тестере је извршена кроз један цео циклус који тестера изврши приликом сечења цеви. Циклус се састоји од неколико фаза у којима тестера има задатак да достигне брзину цеви, стегне цев, изврши сечење, отпусти цев и врати се у почетни положај.

Тестера се састоји од неколико подсклопова. За избор елемената сваког подсклопа су извршени прорачуни, а већина елемената је изабрана од реномираних светских произвођача као што су „Rexroth“, „Schneider“, „Wittenstein“, „FESTO“, итд.

На крају рада је описан начин одржавања и руковања тестером, као и начин заштите на раду, што је неопходно за правилно функционисање тестере и целокупне линије.

Кључне речи: аутоматска тестера, сечење цеви, линеарни систем, циркуларна тестера (алат за сечење), пнеуматска стега, серво мотор.

1.Увод

Индустрија производње и обраде цеви представља значајну грану металске индустрије. Цеви имају примену у областима индустрије, здравства, фармације, пољопривреде и др.

Веома важан сегмент у производњи цеви је сечење цеви. За сечење се користе разне методе:

- Одсецање стругањем
- Ротационо сечење
- Одсецање тракастим тестерама
- Ласерско сечење
- Одсецање двоструким ножевима

Ниједна од ових метода није оптимална за сечење цеви од различитих врста материјала и облика, тако да се за избор тестере и начина сечења морају узети у обзир ови фактори. Експанзиван раст производње цеви захтева повећање капацитета и аутоматизацију процеса сечења. Избор машине за сечење сависи од:

- Захтеваног квалитета сечења
- Капацитета
- Начина додавања цеви
- Врста материјала цеви
- Димензије цеви

Само одсецање цеви може да се врши у линијском и ванлинијском систему производње. Ванлинијски систем производње подразумева ручно, полуаутоматско или аутоматско додавање цеви. Линијски систем сечења подразумева да је тестера интегрисана у рад линије тако да је систем сечења аутоматизован.

У процесу сечења кружном тестером (хладно сечење) сечење се може вршити са додатним хлађењем и без додатног хлађења. Као додатно хлађење се могу користити:

- Емулзије различитих врста и концентрација прилагођене различитим врстама материјала
- Ваздух амбијенталне температуре обogaћен лако испарљивим средствима за подмазивање зоне сечења (примењује се при ограничењима да цеви не могу да се перу и одмашћују после сечења)
- Ваздух додатно охлађен
- Течни азот - користи се у последње време јер омогућава сечење са изузетним карактеристикама и продужава век трајања алата и до три пута

За сечење цеви најважније је извршити оптимално подешавање параметара сечења који морају бити правилно одабрани у односу на пречник цеви, дебљину цеви, врсту материјала. Према наведеном се такође бира и врста тестере, пречник тестере, дебљина тестере, број зуба и начин оштрења зуба тестере.

У Србији постоји неколико фабрика за производњу цеви али само две које производе цеви од нерђајућих челика (Alsim – Београд и Elit Inox – Чачак). Alsim производи цеви до 15 mm и максималне дебљине 1 mm. Elit Inox има шири спектар производње и поседује две линије за производњу цеви од којих је једна у потпуности аутоматизована, а друга је у фази аутоматизације. Производни програм Elit Inox-а су цеви опсега пречника од 7,5 mm до 25 mm и дебљине од 0,5 mm до 2 mm.

На стручној пракси сам био у фирми Elit Inox где сам упознат са проблематиком функционисања производње цеви као и потребама фирме за побољшањима функционисања производње. Пре две године извршена је аутоматизација прве линије за производњу цеви у оквиру које је конструисана тестера и интегрисана у аутоматизовани рад линије. Током експлоатације линије у протекле две године, уочени су неки недостаци у раду тестере које је потребно отклонити. У плановима побољшања производње Elit Inox-а предвиђена је за ову годину и аутоматизација друге линије за производњу цеви у оквиру које је потребна нова аутоматизована тестера, где је потребно отклонити све недостатке уочене на првој тестери. Прихватио сам да мој завршни рад буде управо конструисање нове тестере на којој су отклоњени сви уочени недостаци и на коју су примењена најновија конструкцијска решења и опрема реномираних светских произвођача електромеханике. Новоконструисана тестера би требало да, уз примену адекватне опреме, реши уочене недостатке на старој тестери. Недостаци су следећи:

- неуједначена дужина цеви (5 - 20 mm на дужини од 6000 mm)
- смањен век рада тестере због немогућности финог подешавања параметара сечења (подешавање спорих и брзих режима рада тестере).
- кривљење танкозидних цеви приликом стезања цеви
- висок ниво вибрација при сечењу и велика бука

2. Производња цеви

Сечење цеви је процес који се врши као интегрисани процес у линији производње цеви а налази се на самом крају производње. Да би се стекао увид у то шта претходи сечењу, у даљем тексту ће бити описан сам процес производње цеви.

Цев започиње као равна трака, која се одмотава са котура формираног у специјализованим погонима за слитовање (сечење лима на траке). У Србији не постоје специјализовани погони за слитовање трака који би задовољили тражене толеранције. За сада се све траке увозе из фабрика које постоје у земљама Европске Уније (Румунија, Италија, Немачка, Финска). Тражене толеранције трака су $+0.2$ мм за ширину траке и -0.05 мм за дебљину траке.



Слика 1 – Трака на катуру за одмотавање

Траке се обликују у цев кроз низ хоризонталних и вертикалних ваљака који профилишу траку.

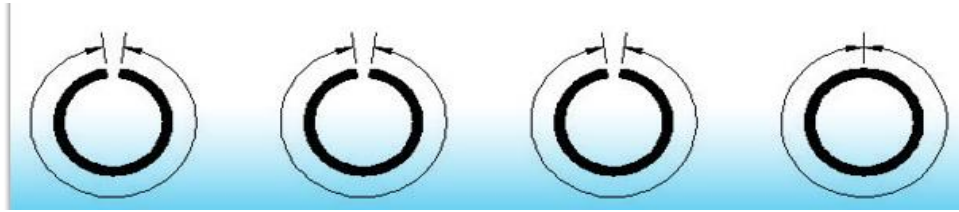


Слика 2 - Профилисање цеви



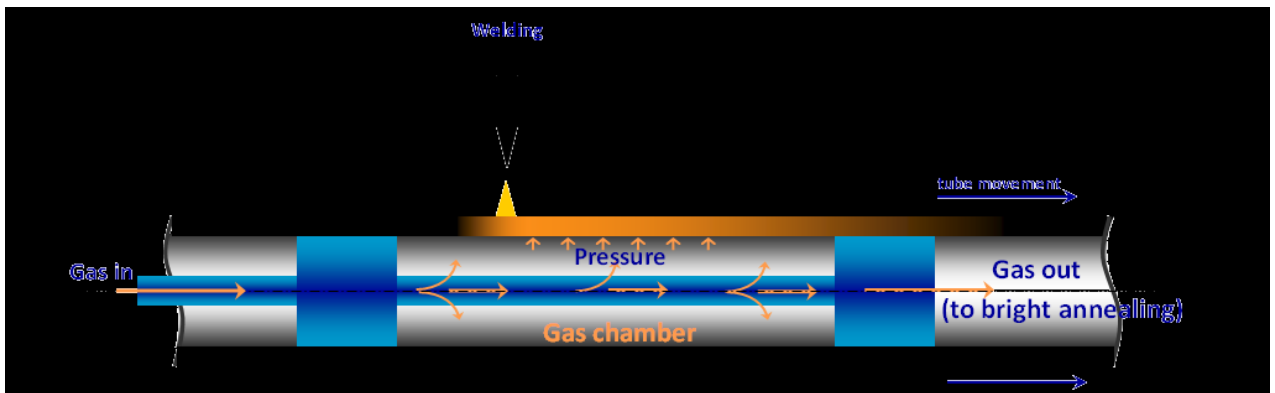
Слика 3 - Систем ваљака за профилисање цеви

Формирана незаварена цев долази до стезног механизма за заваривање (welding box), у коме се врши заваривање на делу цеви где је трака састављена.



Слика 4 - Шематски приказ припреме цеви за заваривање

У Elit Inox се примењује ТИГ поступак у заштитној атмосфери. Овим поступком се врши стапање материјала (без додатног материјала) у зони дејства електроде за заваривање и формира се шавна цев. Заваривање се врши уређајем MULDER DINASTY 700. Као заштитни гас се користи смеша аргона (Ar) и 5% водоника (H_2) споља и Аргона (Ar) изнутра, и они обезбеђују бољу заварљивост и пенетрацију и спречавају загађење купатила (оксидацију).

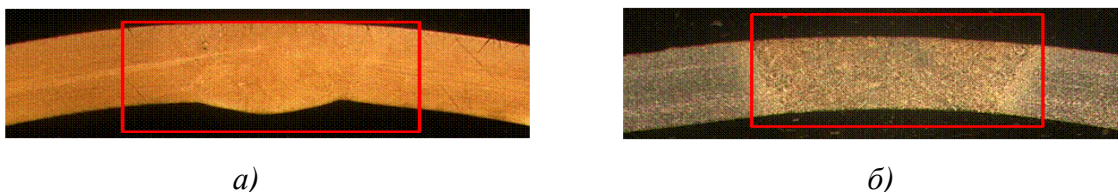


Слика 5 - Шематски приказ ТИГ заваривања цеви са заштитним гасом споља и изнутра



Слика 6 - Welding box за ТИГ заваривање у Elit Inox-у

Након заваривања, као што се види на слици 7 а), цев има шав. Да би се елиминисао провар (ово је чест захтев за специјалне цеви), то се врши поступком хладног ваљања на наменској машини за уклањање избочења од шав. Ваљањем се елиминише провар у унутрашњости цеви (слика 7 б)), а са спољашње стране се фино уваља зона вара тако да није потребна додатна обрада брушењем. Ваљци са спољашње стране притискају цев на трн који се налази у цеви тако што се ваљци котрљају по цеви. Горњи ваљак уз помоћ хидрауличког цилиндра притиском од 3 до 7 МПа ($30 \div 70$ bar) делује на провар који налаже на трн. Синхронизованим радом машине са кретањем цеви, се постиже континуално ваљање завареног споја.

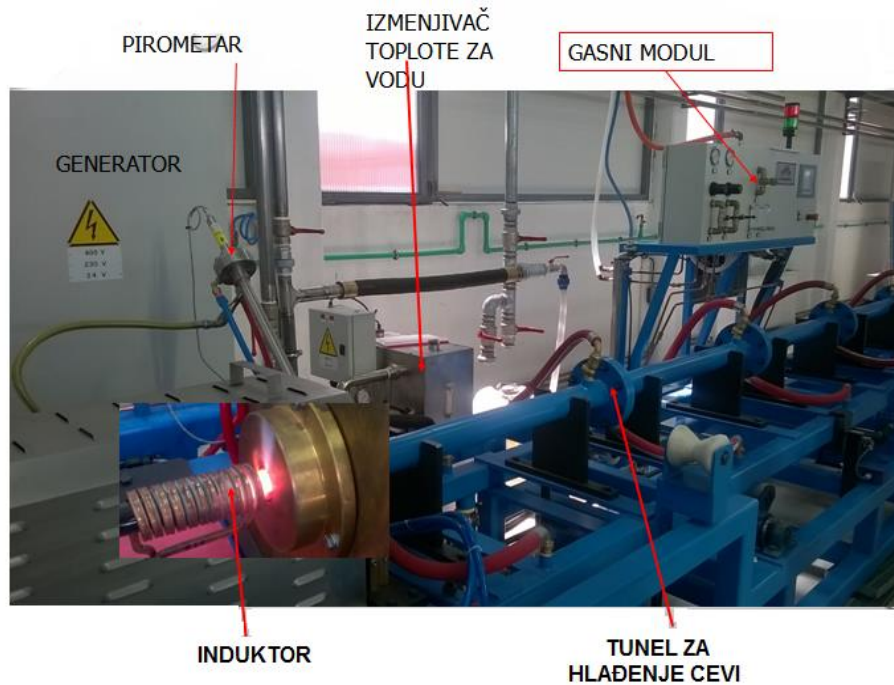


Слика 7 – Попречни пресек цеви пре а) и после б) хладног ваљања (200 X)

Структура зрна цеви након профилисања, заваривања и ваљања зоне вара је препуна заосталих напона, материјал је тврд и неповољан за механичку обраду. Да би се цев могла савијати, а крајеви цеви редуковати и развлачити, напоне треба уклонити и материјал вратити у нормално стање. Зато се цев подвргава термичкој обради – жарењу. Овим се уједначава микроструктура цеви. Током жарења, цеви су изложене контролисаној температури (до 1150°C) и то у заштитној атмосфери ($\text{N}_2 + \text{H}_2$ 5-7%). Овим поступком се врши уситњавање зрна, структура се хомонизује и снижава тврдоћа материјала и елиминише делта ферит. Заштитна атмосфера омогућава да цев задржи сјај, односно спречава се оксидација спољашње површине цеви. Након загревања, цев се хлади у тунелу за хлађење који је подељен на два дела. Тунел се директно хлади водом из бунара ($T = 14 \div 16^{\circ}\text{C}$), док се индуктори и генератор хладе водом којој се температура контролише помоћу измењивача топлоте. Максимална температура воде у затвореном систему је 28°C .



Слика 8 – Цев пре и после жарења



Слика 9 – Систем за жарење цеви

Завршна калибража је део линије којим се цев калибрише на завршну меру. Толеранције у којима се производе цеви су од $\pm 0,03$ до $\pm 0,05$ мм.

Завршна контрола представља магнетну контролу на пукотине. Овај систем је аутоматизован и интегрисан у рад линије – уређај је EDDY CHEK 5 – PRUFTECHNIK. На основу магнетне контроле на пукотине се врши маркирање грешака на цевима, које је такође аутоматско.



Слика 10 – Маркирана цев на местима са грешкама

Након овога следи сечење које је аутоматизовано и интегрисано у рад линије. Врши се помоћу летеће тестере која се налази у склопу линије. Цеви се секу на задату дужину.

Класирање је такође аутоматизовано и усаглашено са радом уређаја за магнетну контролу и са тестером. На основу информације о исправности цеви, тестера сече неисправан део цеви на минималну дужину, а класер одваја цев на страну предвиђену за неисправне цеви.



Слика 11 - *Различите димензије цеви и исечене и обележене цеви*

У току рада линије, на сваких два сата се узимају узорци који се проверавају механичким путем, као и металографским методама. Уколико цеви задовољавају задати квалитет пакују се и спремне су за транспорт.



Слика 12 - *Упаковане цеви*

Произведене цеви имају широку примену за топлотне измењиваче, грејаче, аутомобилску индустрију, индустрију ауспуха, млекарску индустрију, фармацију, шећеране.

3.Пројектни задатак

Циљ завршног рада је био конструисање и оспособљавање тестере за сечење цеви у линији. У фирми где је ово било потребно урадити, постоји једна линија за израду цеви. Због повећања обимности посла потребно је оспособити још једну линију која ће имати неке измене у односу на већ постојећу. Једна од главних измена је усмерена ка тестери за сечење цеви. Овде ће бити примењена нека од најновијих решења која се користе у овој области. Промене се врше због повећања прецизности сечења цеви на задату дужину, повећања продуктивности и повећања радног века тестере.

Карактеристике постојеће тестере су:

- погон главних носећих колица је пнеуматски и директно зависи од стабилности притиска у пнеуматском разводном систему. Најмања нестабилност притиска производи нетачност у сечењу, односно цев мења дужину
- кретање бочних колица је помоћу пнеуматског погона
- погон обртног кретања тестере је помоћу мотор-редуктора (са цилиндричним зупчаницима и алуминијумским кућиштем)
- тестера није у потпуности интегрисана у аутоматски систем рада линије (сигнал који стартује тестеру се механичким путем активира наиласком цеви на точак микропрекидача)
- Нападни угао под којим тестера улази у цев је 0 степени

Због наведених карактеристика су уочени недостаци у раду тестере:

- неуједначена дужина цеви (5 - 20 mm на дужини од 6000 mm) – реаговање пнеуматског цилиндра за покретање колица тестере је у опсегу од $\pm 0,5$ секунди што производи наведену грешку, као и нестабилност притиска у систему
- смањен век рада тестере због немогућности финог подешавања параметара сечења. Број резова тестере ($D=250\text{ mm}$ $t=1.5\text{ mm}$) за цев $\varnothing 10 \times 0,5$ је 3000 резова
- кривљење танкозидних цеви приликом стезања цеви

За решавање наведених проблема потребно је за нову тестеру предвидети погонска решења са серво-моторима и навојним вретенима за обезбеђивање управљивости и прецизности, нов систем линеарног кретања помоћу клизних стаза за обезбеђење прецизности и стабилности свих склопова на тестери, као и ново конструктивно решење самог сечења цеви.

Пројектовање и конструисање нове тестере потребно је да садржи следеће:

- погонски серво-мотор за покретање навојног вретена које служи за уздужно линеарно кретање главних носећих колица
- погонски серво-мотор за попречно линеарно кретање бочних колица са механизмом тестере
- погонски планетарни мотор-редуктор за кружно кретање тестере
- пнеуматски систем стезања цеви
- корисни ход колица тесере мора бити дужине 2500 mm
- сва линеарна кретања решити котрљајним линеарним вођицама
- ново конструктивно решење самог сечења цеви (нападни угао ће бити већи од нуле)

4. Опис рада тестере

Тестера је интегрисана у аутоматски режим рада линије за производњу цеви. Брзина цеви која се сече је од 1 до 15 m/min. Сечење цеви се врши синхронизованим обртним кретањем тестере и линеарним кретањима главних и бочних колица.

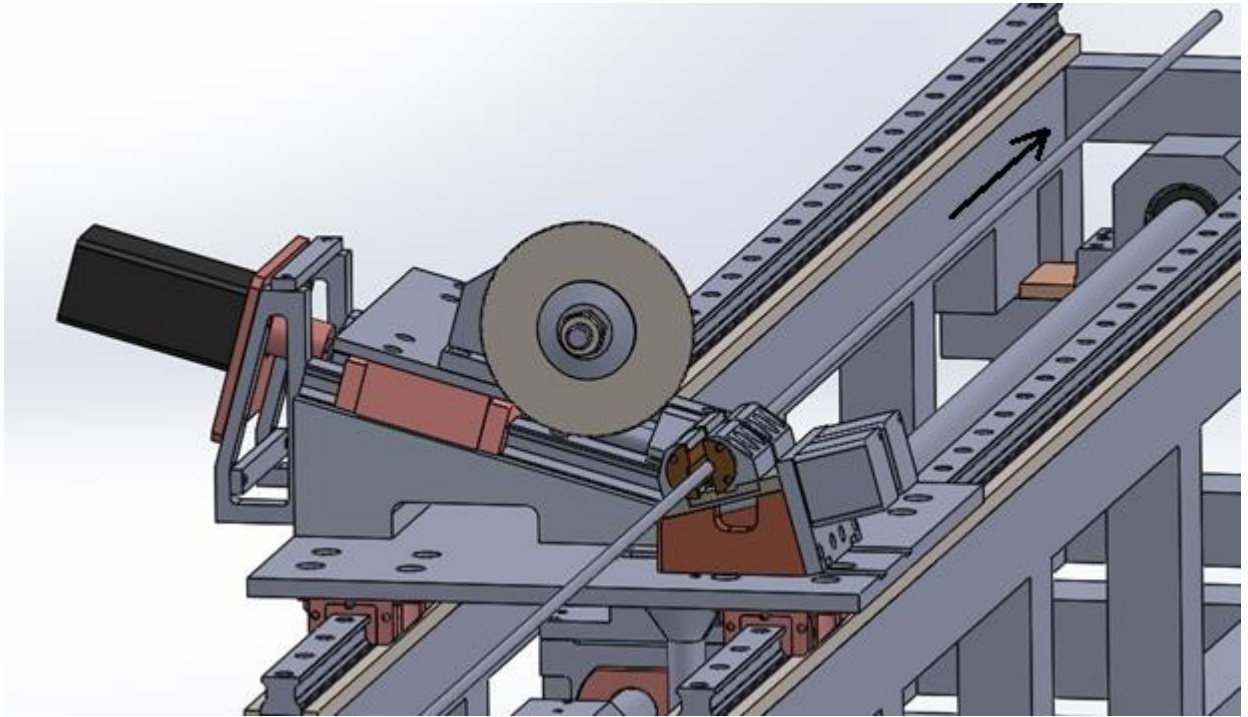
Циркуларно кретање тестере обезбеђује планетарни мотор-редуктор.

Линеарно, бочно кретање тестере обезбеђено је преко линеарних вођица, а сам погон преко навојног кугличног вретена.

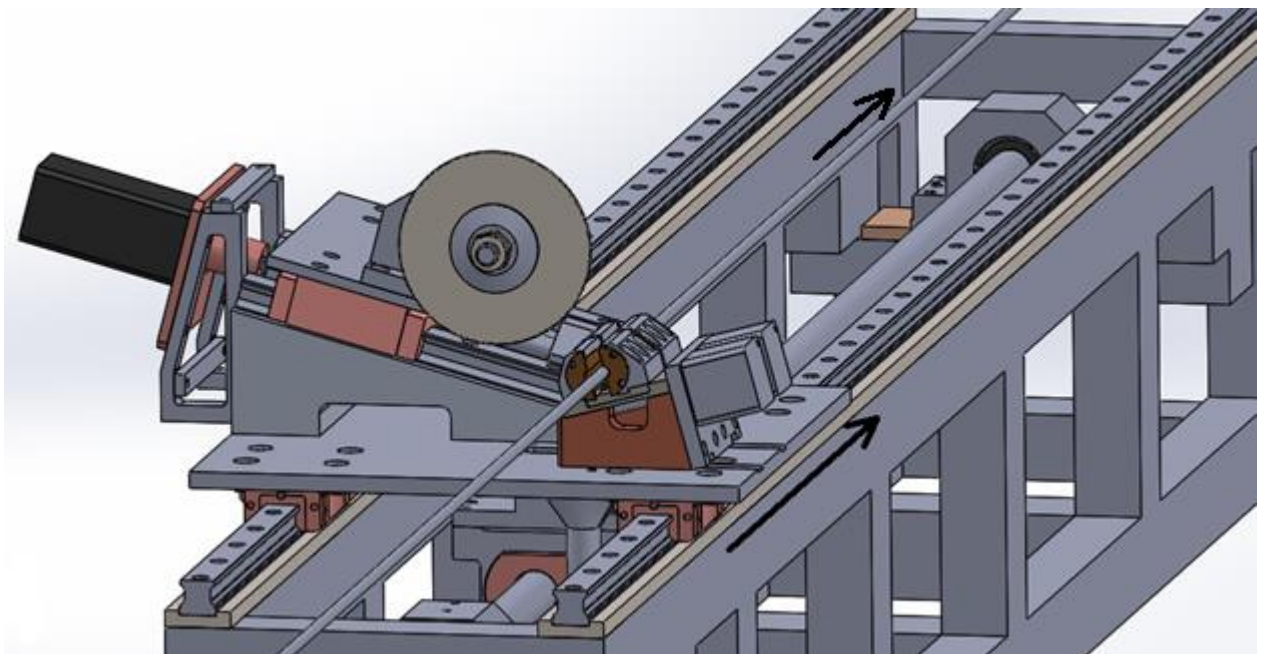
Линеарно уздужно кретање је обезбеђено такође преко линеарних вођица, а погон преко главног серво-мотора и навојног кугличног вретена.

Веза између тестере и линије за производњу цеви је синхронизована преко PLC (Programmable Logic Controller) уређаја за програмирање и логичку везу између машина. Када тестера добије сигнал да је цев достигла задату дужину, главни серво-мотор преко навојног вретена покреће главна колица и у тренутку достизања брзине цеви PLC усаглашава брзину цеви и колица (0,5 – 1 секунде) (слика 14) и након тога активира пнеуматске цилиндри који покрећу стегу унапред и извршава стезање цеви (слика 15). Тада су испуњени услови за активирање бочног серво-мотора који покреће бочна колица са тестером. Кретање бочних колица се састоји од брзог хода (брзи прилаз тестере на растојање од 1 mm од цеви (слика 16)), спорог улаза тестере у материјал (цев), радног хода тестере (радна брзина сечења) (слика 17) и спорог хода (излаз из материјала) (слика 18). Ово су режими који обезбеђују повољне услове за сечење и продужавају век трајања тестере. Истовремено са командом за стезање, PLC даје команду за покретање мотор-редуктора који покреће тестеру (алат за сечење). По извршеном сечењу бочна колица се брзим ходом враћају у почетни положај (брзи ход назад), чиме се стичу услови да стега отпусти цев чиме је даље створен услов да главни серво-мотор успори кретање напред и затим заустави главна колица. Потом, главна колица крећу назад брзим ходом и враћају се у почетни положај (слика 19). Овим је извршен један циклус сечења цеви, а тестера је спремана за нови циклус.

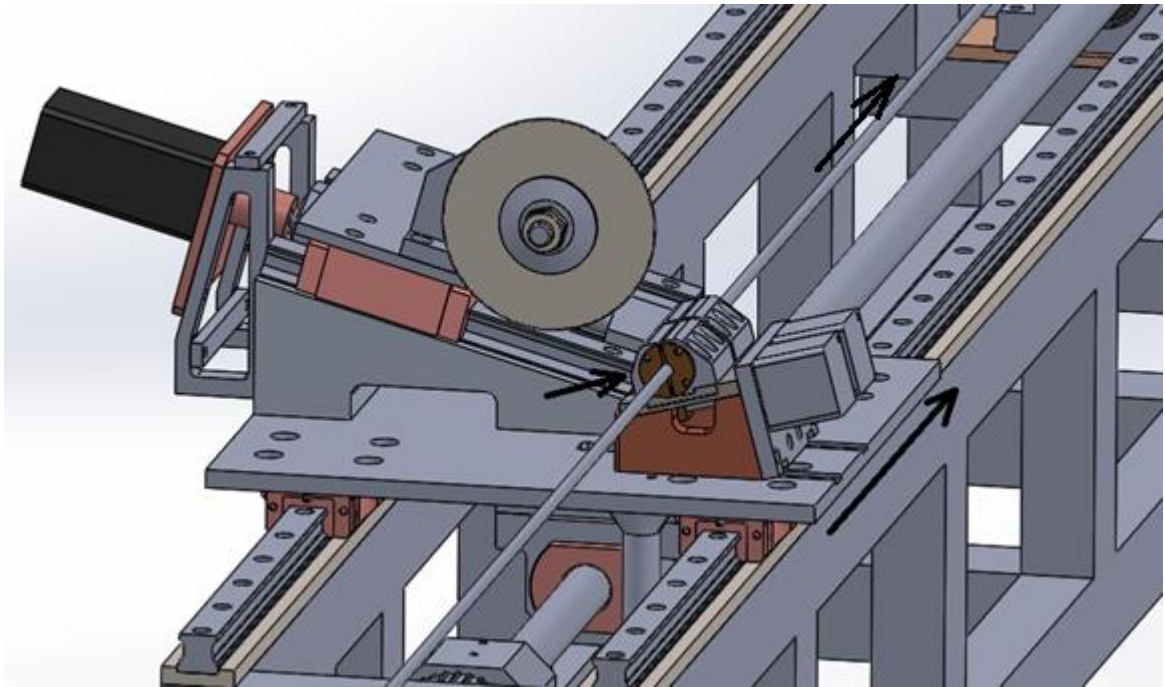
На сликама од 13 до 19 је дат шематски приказ једног пуног циклуса сечења цеви:



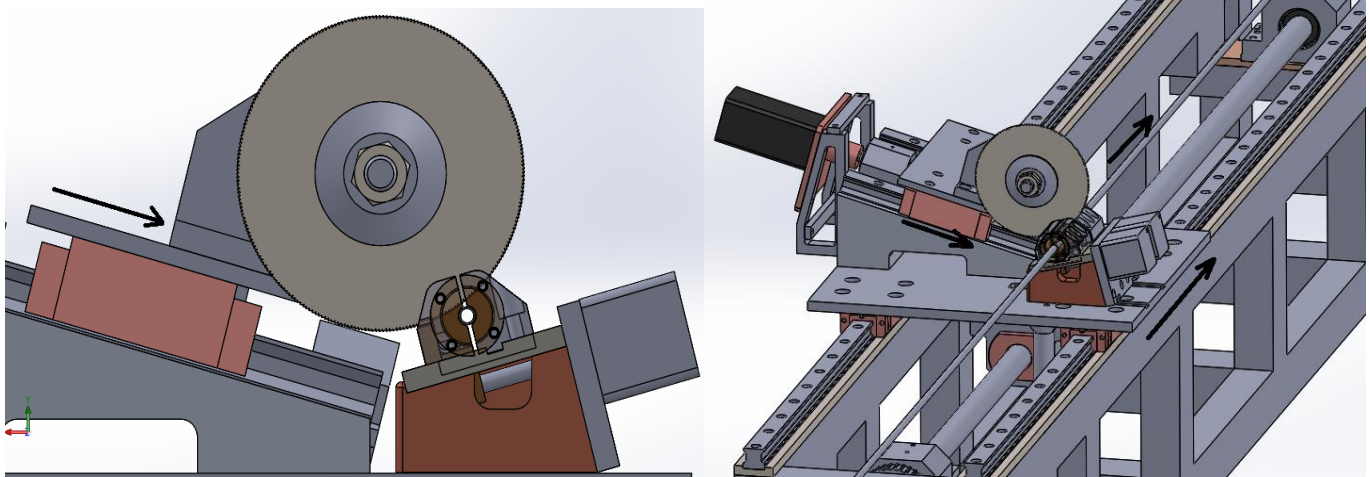
Слика 13 - Тестера у почетном положају чека сигнал (да цев достигне задату дужину) како би отпочела сечење



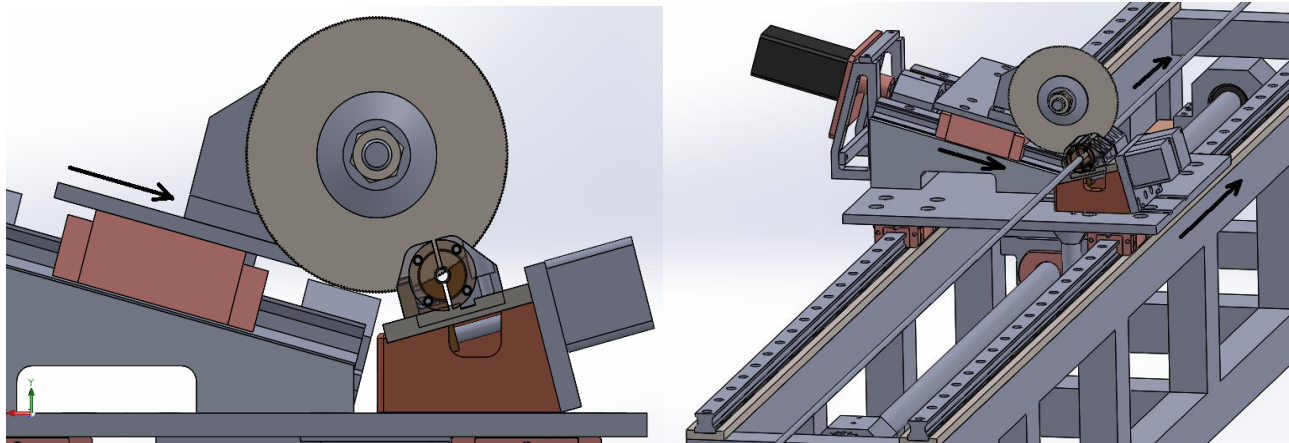
Слика 14 - Тестера је активирана и главна носећа колица се покрећу и достижу брзину цеви



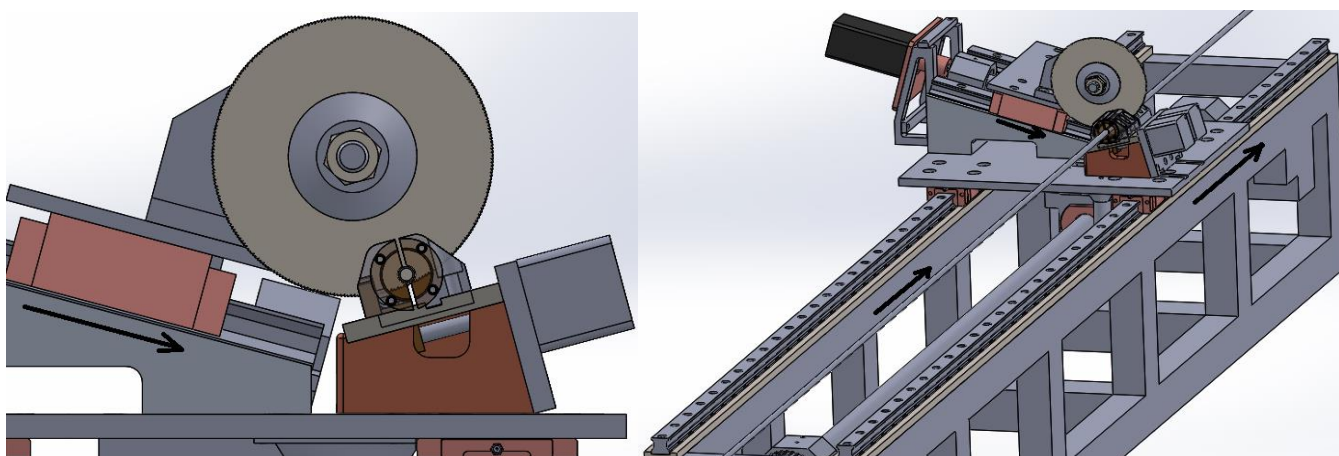
Слика 15 - Главна носећа колица су достигла брзину цеви након чега је активирана пнеуматска стега која стеже цев



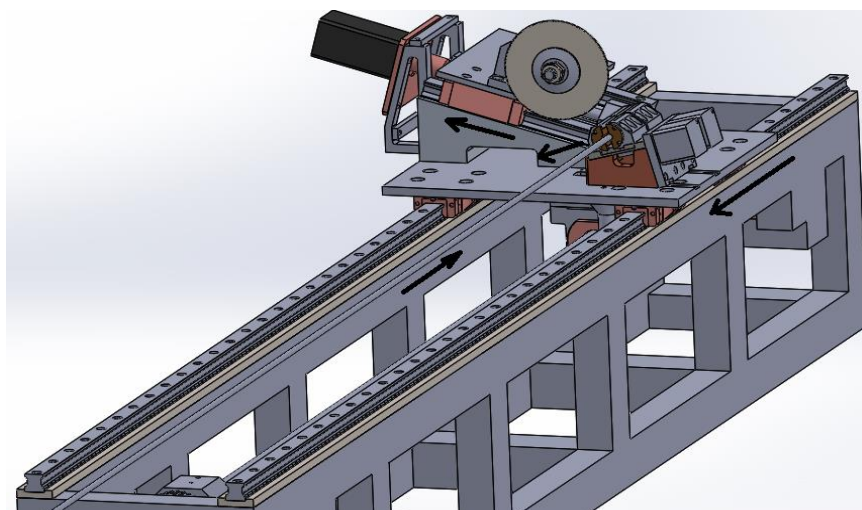
Слика 16 - Након стезања цеви активирају се бочна колица и тестера (алат) брзим ходом прилази на 1 mm до цеви



Слика 17 - Тестера спорим ходом улази у цев, а онда радном брзином сече цев



Слика 18 - Звршина фаза сечења – спори ход – излазак тестере из цеви



Слика 19 - Када је цев одсечена, бочна колица крећу брзим ходом назад, стега отпушта цев, а главна колица успоравају и потом крећу назад у почетни положај

За нови циклус сечења мала и велика колица морају бити у почетном положају а стега отпуштена, односно сензори који региструју ове положаје морају бити активирани.

5. Прорачуни

Параметри за прорачун тестере су:

- брзина цеви која се сече ($V=1 - 15 \text{ m/min}$)
- пречници цеви које се секу су $\varnothing 7,5 \times 1$ до $\varnothing 25 \times 1,5$
- пређени пут главних и бочних колица
- убрзање главних и бочних колица
- време које је потребно да изврши један циклус сечења цеви
- број обртаја тестере
- пречник тестере је 150 до 250 mm
- материјал цеви је нерђајући челик – AISI (304, 316, 309)

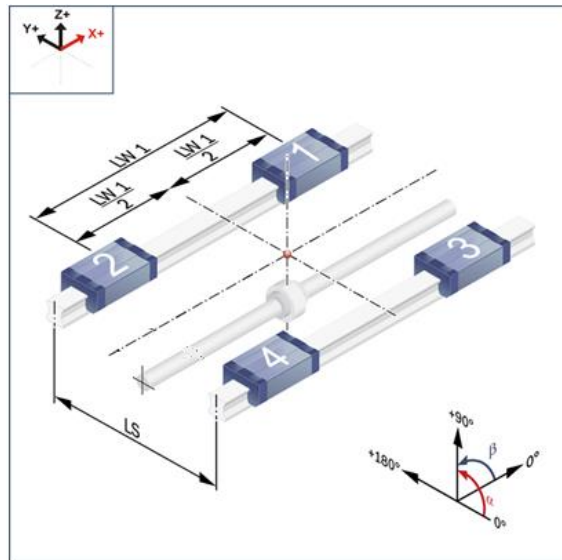
5.1 Главни линеарни систем

Производња цеви је континуиран процес, а дужина цеви се мери помоћу енкодера који даје информацију управљачком софтверу.

Када софтвер добије од енкодера информацију да је цев достигла задату дужину започиње се циклус сечења цеви.

Главни серво-мотор преко зупчастог каиша покреће главно вретено које преко линеарног система покреће бочна колица. Сечење цеви се одвија у неколико фаза. Главна колица прво морају да достигну брзину цеви и да се усагласе са њом. Када се то догоди, стега стеже цев, а тестера започиње сечење. Тада се главна колица крећу једнаком брзином са брзином линије. Када се сечење заврши и бочна колица врате у почетни положај, тестера (алат) је ван стезног механизма, стега отпушта цев и следи успоравање главних колица док не стану. Затим следи брзи повратни ход, успоравање и заустављање колица у почетни положај.

Како би одредили потребне димензије главног вретена и линеарног система који омогућавају ход тестере потребан за сечење цеви свих дужина и пречника које се производе у линији, прорачун је вршен за гранични случај када је брзина линије највећа (највећа брзина је 15 m/min за цев $\varnothing 7,5 \times 1$) и када је потребна дужина цеви најмања (2500 mm). Да би прорачун био извршен, такође, потребно је дефинисати међусобна растојања између линеарних котрљајних лежајева на клизним стазама што је приказано у табели 1.



Слика 20 - Растојања између линеарних котрљајних лежајева главног линеарног система

Табела 1 Растојања између котрљајних клизних лежајева на клизним стазама

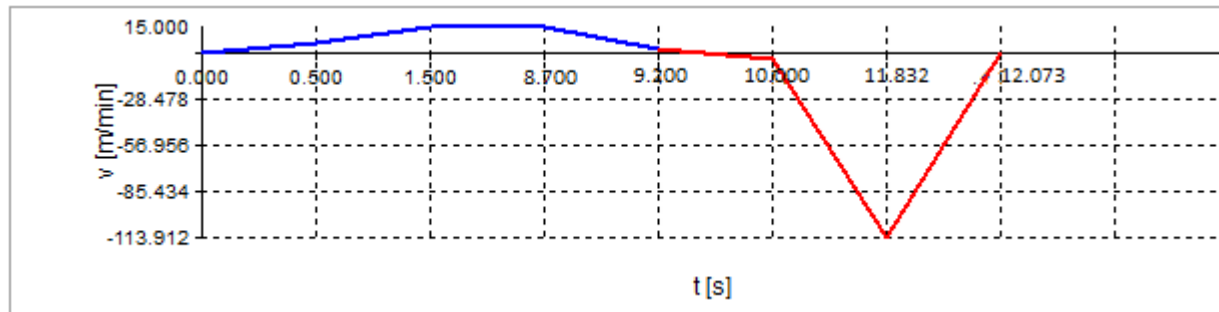
Назив димензије	Ознака	Вредност	Јединица
Удаљеност између линеарних лежајева на једној клизној стази	LW1	300	[mm]
Удаљеност између клизних стаза	LS	350	[mm]
Удаљеност између навртке вретена и линеарних лежаја	$\frac{LW1}{2}$	150	[mm]

За полазне параметре су узети брзина линије и дужина цеви која се сече. На основу њих су добијени сви остали параметри потребни за избор линеарног система. Они су приказани у табели 2. Овде се може видети да колица достижу брзину кретања цеви у линији за 0,5 секунди прешавши 25 mm, а затим се наредних 175 mm ове две брзине усаглашавају. Следи стезање и сечење цеви које се обавља наредних 7,2 секунде на путањи од 1800 mm. Када тестера заврши сечење, колица лагано успоравају на дужини од 71 mm, а онда се заустављају. Након тога се брзим ходом враћају у почетни положај.

На графику 1 је приказана зависност између времена и брзине кретања главог линеарног система да би се приказала могућност и потреба за финим подешавањем брзине сечења у различитим фазама сечења цеви. На овај начин је решено фино подешавање уласка тестере у материјал, достизање радне брзине сечења и финог изласка тестере из материјала. Плава линија приказује кретање главних колица у смеру кретања цеви, а црвена линија приказује поврени ход главних колица. Са графика се може видети да је за један цео циклус потребно 12 секунди.

Табела 2 Параметри за избор главног линеарног система

Фазе	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Пређени пут s [mm]	25	175	1800	71	-13	-1800	-258
Брзина v [m/min]	6.000	15.00	15.000	2.000	-4.000	-113.912	0.000
Број обртаја n [°/min]	600	1500	1500	200	-400	-11391	0
Убрзање a [m/s ²]	0.200	0.150	0.000	-0.433	-0.125	-1.000	7.870
Време t [s]	0.500	1.000	7.200	0.500	0.800	1.832	0.241

**График 1** Зависност између времена и брзине кретања главог линеарног система

На основу извршених прорачуна за линеарни систем вођења и навојно вретено, извршен је избор линеарних котрљајних лежајева и клизних стаза, као и навојног вретена. У табели 3 су дате и основне карактеристике линеарних котрљајних лежајева и клизних стаза.

Табела 3 Избор и карактеристике линеарних котрљајних лежајева и клизних стаза за главн линеарни систем

Линеарни котрљајни лежајеви и клизне стазе	Ознака	Вредност	Јединица
Тип лежајева	Roller rail system	[-]	[-]
Величина клизне стазе	[-]	35	[-]
Линеарни котрљајни лежајеви и клизне стазе	R1824 323 2x	[-]	[-]
Динамичко оптерећење	C	74900	[N]
Статичко оптерећење	C ₀	155400	[N]
Максимална израчуната сила	F _{max}	9766	[N]
Статички степен сигурности	C ₀ /F _{max}	15.9	[-]
Динамички степен сигурности	C/F _{max}	7.7	[-]
Дозвољен динамички момент	M _t	1490	[Nm]
Дозвољен динамички момент	M _L	1220	[Nm]

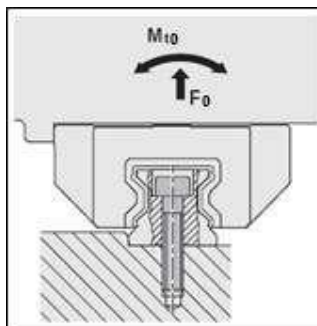
Претходно оптерећење	F_v	5540	[N]
Максимална дозвољена брзина	$v_{\max, \text{zul.}}$	4.0	[m/s]
Максимално дозвољено убрзање	$a_{\max, \text{zul.}}$	150.0	[m/s ²]



Слика 21 - Изглед изабраног линеарног лежјаја на клизној стази главног линеарног система [1]

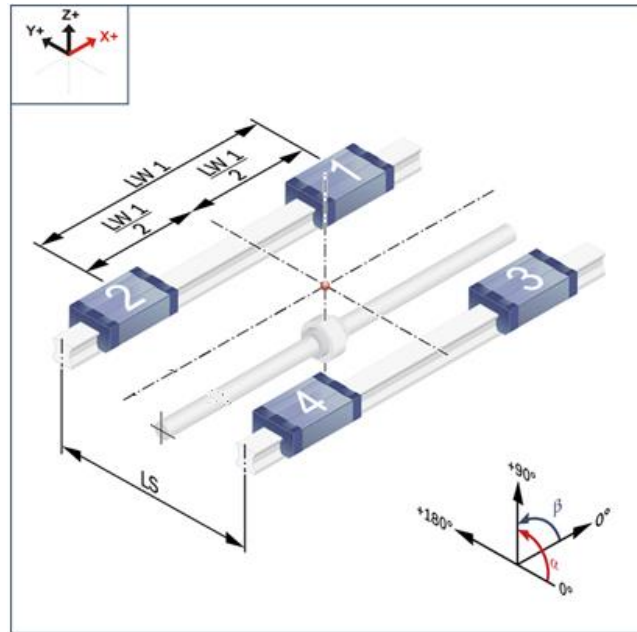
Момент затезања вијака којим се клизне стазе везују за рам прописан је и износи 680 Nm за класу завртња 8.8 и 1240 Nm за класу завртња 12.9, као што се види у табели 4. Затезање завртњева се врши момент-кључем.

Табела 4 Силе и моменти затезања завртња на клизним стазама			
Вођица R1821 323 2x			
Квалитет завртња 8.8		Квалитет завртња 12.9	
$F_0 \text{ max [N]}$	$M_{t0} \text{ max [Nm]}$	$F_0 \text{ max [N]}$	$M_{t0} \text{ max [Nm]}$
42200	680	77500	1240



Слика 22 - Приказ затезања завртња на клизној стази

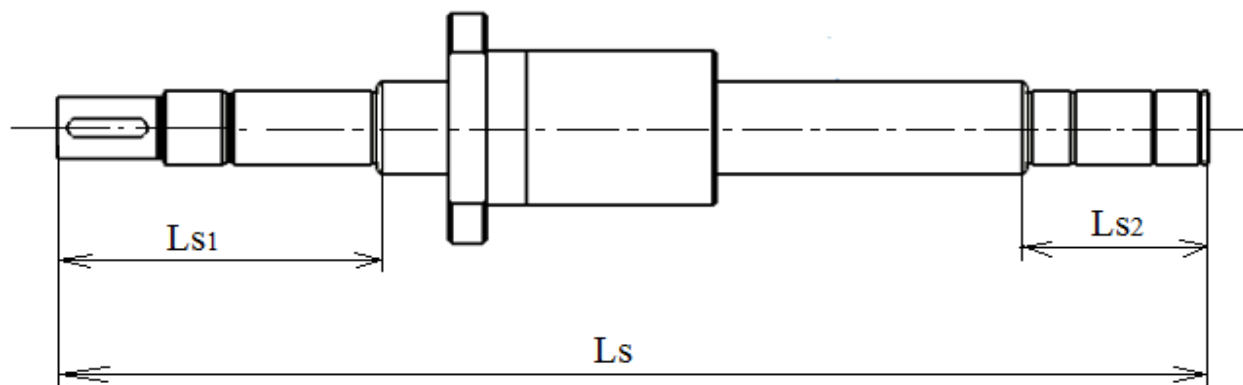
На основу прорачуна су добијене номиналне вредности животног века линеарних котрљајних лежјајева главног линеарног система за оптималне услове експлоатације и оне се могу видети у табели 5.



Табела 5 Очекивани животни век линеарних вођица

	Пут који вођица пређе у току рада L_{10} [km]	Животни век $L_{h,10}$ [h]	Број циклуса који вођица направи у току рада
Вођица 1	4.79e+005	4.65e+005	1.16e+008
Вођица 2	5.07e+005	4.92e+005	1.23e+008
Вођица 3	5.01e+005	4.87e+005	1.22e+008
Вођица 4	5.21e+005	5.06e+005	1.27e+008

Пре прорачуна навојног вретена, поред већ наведених параметара, потребно је дефинисати и основне димензије вретена. Оне су дате у табели 6.



Слика 23 - Габаритне димензије главног навојног вретена

Табела 6 Габритне димензије главног навојног вретена

Назив димензије	Ознака	Вредност	Јединица
Укупна дужина вретена	Ls	2700	[mm]
Дужина дела вретена за лежајеве и ременицу	Ls ₁	120	[mm]
Дужина дела вретена за лежајеве	Ls ₂	68	[mm]

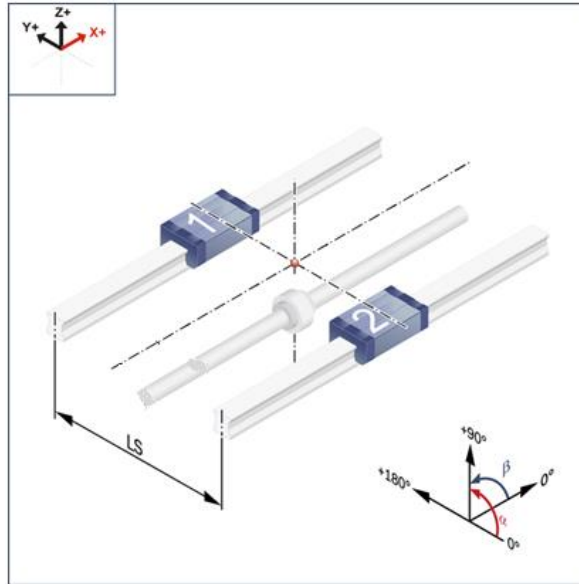
У табели 7 су дате основне карактеристике главног навојног вретена са навртком које су добијене после прорачуна.

Табела 7 Избор и карактеристике навојног вретена и навртке за главни линеарни систем

Навојно вретено са навртком	Ознака	Вредност	Јединица
Тип навојног вретена	Drive unit AGK	[-]	[-]
Тип навртке	ZEM-E-S	[-]	[-]
Склоп навртке и навојног вретена	R1512 440 12	[-]	[-]
Динамичко оптерећење	C	60000	[N]
Статичко оптерећење	C ₀	64000	[N]
Претходно оптерећење	F _{Vorsp.}	1000	[N]
Номинални пречник навојног вретена	d ₀	40.0	[mm]
Корак навојног вретена	P	40.0	[mm]
Пречник куглице	D _w	6	[mm]
Момент инерције навојног вретена	J _{Screw}	0.001342	[kgm ² /m]
Момент увијања навојног вретена	T ₀	0.8	[Nm]
Максимална дозвољена брзина	v _{max,zul.}	0.4	[m/s]
Максимално дозвољено убрзање	a _{max,zul.}	18.9	[m/s ²]
Максимално израчунато оптерећење	F _{max}	1893	[N]
Статички степен сигурности	C ₀ /F _{max}	33.8	[-]
Динамички степен сигурности	C/F _{max}	31.7	[-]
Максимални израчунати момент	M _{max}	22.40	[Nm]

5.2 Бочни линеарни систем

Да би се извршио прорачун бочног линеарног система потребно је дефинисати међусобна растојања између клизних стаза овог система.



Слика 24 - Растојања између линеарних котрљајних лежајева бочног линеарног система

Табела 8 Растојања између клизних стаза

Назив димензије	Ознака	Вредност	Јединица
Растојање између клизних стаза	LS	225	[mm]

На основу времена потребног за сечење цеви и повратак тестере (алата) у почетни положај, које је добијено у прорачуну за главни линеарни систем и износи 7,2 секунде, вршен је прорачун за бочни линеарни систем. Поред овога, полазни податак су биле и путање које бочна колица тестере имају при сечењу цеви.

У табели 9 је дат приказ прорачуна бочног линеарног кретања тестере на бочним колицима.

Табела 9 Параметри за избор бочног линеарног система

Фазе	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Пређени пут s [mm]	1	2	7	1	2	-13	-1
Брзина v [m/min]	0.300	0.200	0.200	0.100	0.050	-1.250	0.000
Број обртаја n [°/min]	30	20	20	10	5	-125	0
Убрзање a [m/s ²]	0.012	-0.003	0.000	-0.004	-0.001	-0.017	0.217
Време t [s]	0.200	0.600	2.100	0.400	1.600	1.357	0.100

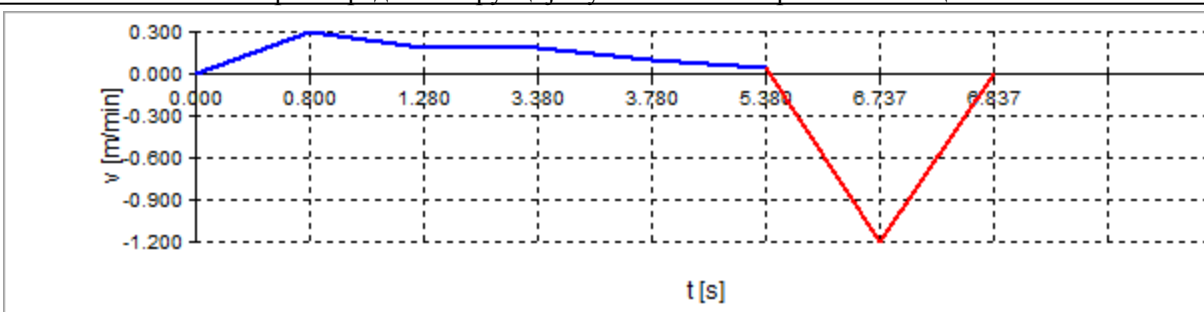


График 2 Зависност између времена и брзине кретања бочног линеарног система

Када цев достигне задату дужину, сигнал покреће стегу која хвата цев, а тестера креће из свог почетног положаја. Првих 1 mm тестера прелази брзим ходом и брзином од 0,3 m/min, а затим спорим ходом од 2 mm прилази цеви брзином од 0,2 m/min и започиње сечење. Тестера (алат) при уласку у материјал и сечењу има континуирани број обртаја. Наредних 7 mm, док је тестера у цеви, прелази брзином од 0,2 m/min, а затим, 1 mm приликом изласка из материјала, успорава на 0,1 m/min. Следећих 2 mm тестера успорава док не стане. Након заустављања, тестера се брзим ходом враћа у почетни положај брзином од 1,2 m/min где се зауставља до наредног циклуса.

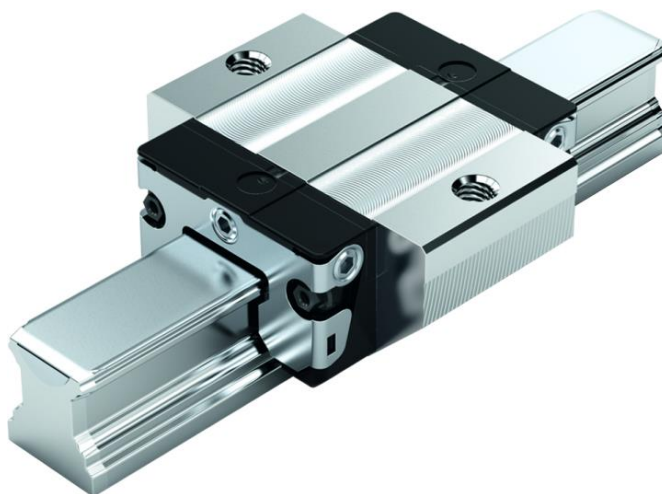
Дијаграмом 2 је приказана зависност брзине и времена бочног линеарног кретања тестере. Плава линија представља кретање тестере ка цеви, док црвена линија представља повратни ход тестере. На дијаграму се може видети укупно време које је потребно да тестера изврши један пун циклус односно да се врати у свој почетни положај. Ово време износи 6,9 секунди.

Као и за главни линеарни систем вођења, на основу прорачуна, извршен је избор линеарних котрљајних лежајева, клизних стаза и навојног вретена са навртком. У табели 10 се могу видети и основне карактеристике бочног линеарног система.

Табела 10 Избор и карактеристике линеарних котрљајних лежајева и клизних стаза за бочни линеарни систем

Линеарни котрљајни лежајеви и клизне стазе	Ознака	Вредност	Јединица
Тип лежајева	Ball rail system (Resist NR)	[-]	[-]
Величина клизне стазе	[-]	30	[-]
Линеарни котрљајни лежајеви и клизне стазе	R2000 793 30	[-]	[-]
Динамичко оптерећење	C	25600	[N]
Статичко оптерећење	C ₀	28900	[N]
Максимално израчунато оптерећење	F _{max}	5243	[N]
Статички степен сигурности	C ₀ /F _{max}	5.5	[-]
Динамички степен сигурности	C/F _{max}	4.9	[-]

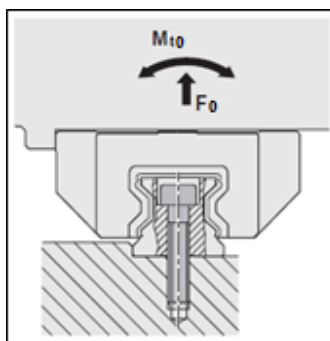
Дозвољен динамички момент	M_t	440	[Nm]
Дозвољен динамички момент	M_L	200	[Nm]
Претходно оптерећење	F_v	0	[N]
Максимална дозвољена брзина	$v_{\max, \text{zul.}}$	5.0	[m/s]
Максимално дозвољено убрзање	$a_{\max, \text{zul.}}$	50.0	[m/s ²]



Слика 25 - Изглед изабраног линеарног лежаја на клизној стази бочног линеарног система [1]

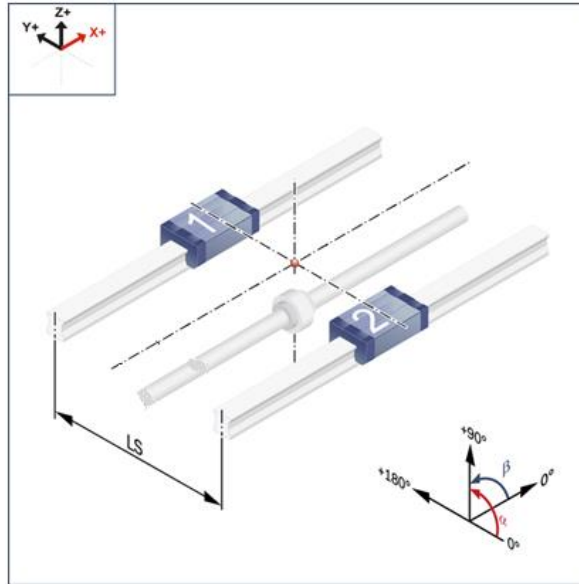
Као и за главни линеарни систем, момент притезања завртњева је прописан и за бочни линеарни систем. За класу завртња 8.8 износи 210 Nm, а за класу завртња 12.9 износи 360 Nm, као што се види у табели 11.

Табела 11 Силе и моменти затезања завртња на клизним стазама			
Вођице R2000 793 30			
Квалитет завртња 8.8		Квалитет завртња 12.9	
$F_0 \max$ [N]	$M_{t0} \max$ [Nm]	$F_0 \max$ [N]	$M_{t0} \max$ [Nm]
15900	210	27800	360



Слика 26 - Приказ затезања завртња на клизној стази

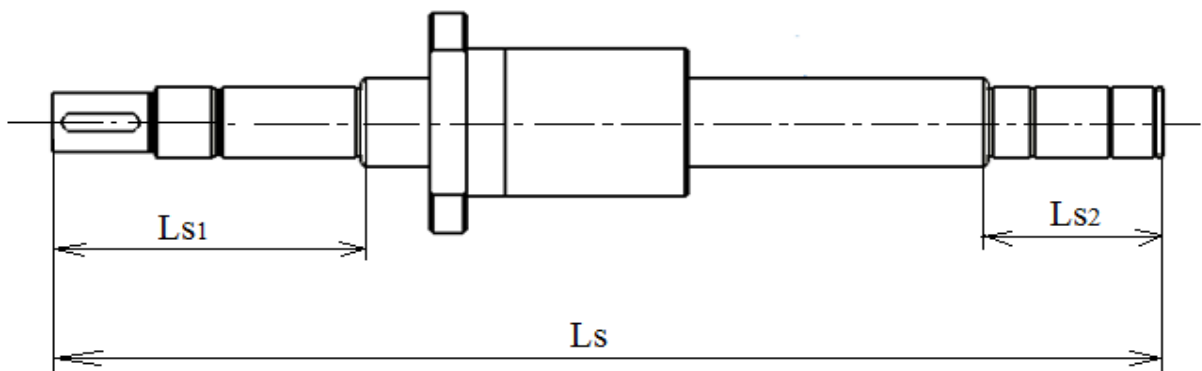
На основу прорачуна су добијене номиналне вредности животног века линеарних котрљајних лежајева главног линеарног система за оптималне услове експлоатације и оне се могу видети у табели 12.



Табела 12 Очекивани животног век линеарних вођица

	Пут који вођица пређе у току рада L_{10} [km]	Животни век $L_{h,10}$ [h]	Број циклуса који вођица направи у току рада
Вођица 1	4.66e+004	3.16e+006	1.66e+009
Вођица 2	4.98e+004	3.38e+006	1.78e+009

Пре прорачуна навојног вретена, поред већ наведених параметара, потребно је дефинисати и основне димензије малог вретена. Оне су дате у табели 13.



Слика 27 – Габаритне димензије малог навојног вретена

Табела 13 Габритне димензије малог навојног вретена

Назив димензије	Ознака	Вредност	Јединица
Укупна дужина вретена	Ls	350	[mm]
Дужина дела вретена за лежајеве и спојницу	Ls ₁	96	[mm]
Дужина дела вретена за лежајеве	Ls ₂	46	[mm]

У табели 14 су date основне карактеристике малог навојног вретена са навртком које су добијене после прорачуна.

Табела 14 Избор и карактеристике навојног вретена и навртке за бочни линеарни систем

Навојно вретено са навртком	Ознака	Вредност	Јединица
Тип навојног вретена	Drive unit AGK	[-]	[-]
Тип навртке	ZEM-E-S	[-]	[-]
Склоп навртке и навојног вретена	R1512 140 12	[-]	[-]
Динамичко оптерећење	C	16900	[N]
Статичко оптерећење	C ₀	21300	[N]
Претходно оптерећење	F _{Vorsp.}	0	[N]
Номинални пречник навојног вретена	d ₀	20.0	[mm]
Корак навојног вретена	P	10.0	[mm]
Пречник куглице	D _w	3	[mm]
Момент инерције навојног вретена	J _{Screw}	8.4e-005	[kgm ² /m]
Момент увијања навојног вретена	T ₀	0.1	[Nm]
Максимална дозвољена брзина	v _{max,zul.}	1.0	[m/s]
Максимално дозвољено убрзање	a _{max,zul.}	0.1	[m/s ²]
Максимално израчунато оптерећење	F _{max}	500	[N]
Статички степен сигурности	C ₀ /F _{max}	42.6	[-]
Динамички степен сигурности	C/F _{max}	33.8	[-]
Максимални израчунати момент	M _{max}	1.00	[Nm]

Сви прорачуни за линеарне системе су вршени у програмима који се могу наћи на Rexroth-овом сајту. Такође, делови за оба линеарна система (главни и бочни), односно све клизне стазе, линеарни котрљајни лежајеви и вретена са наврткама су изабрани од произвођача „Rexroth“.

„Bosch Rexroth“ је немачка компанија чији је спектар производа веома широк и креће од серво мотора и планетних редуктора, серво регулатора, пнеуматике, хидраулике, па до PLC и CNC система. Између осталог, ова компанија се бави и производњом линеарне технике где спадају:

- профилне вођице са куглицама, ролницама и ваљчићима
- профилне вођице са интегрисаним мерним системима
- округле вођице
- куглична навојна вретена
- линеарни модули итд.

Такође, поред појединачних производа и компоненти „Bosch Rexroth“ нуди комплетне системе. У понуди је велики избор типова опреме, величина, класа тачности и конструкција.

Мој избор произвођача за линеарне системе је био „Bosch Rexroth“ јер ова компанија нуди све што је потребно за модерне производне погоне. Поуздано вођење и прецизно позиционирање су основни задаци које линеарни системи морају да испуне, а које производи „Bosch Rexroth“-а испуњавају на врхунском нивоу.



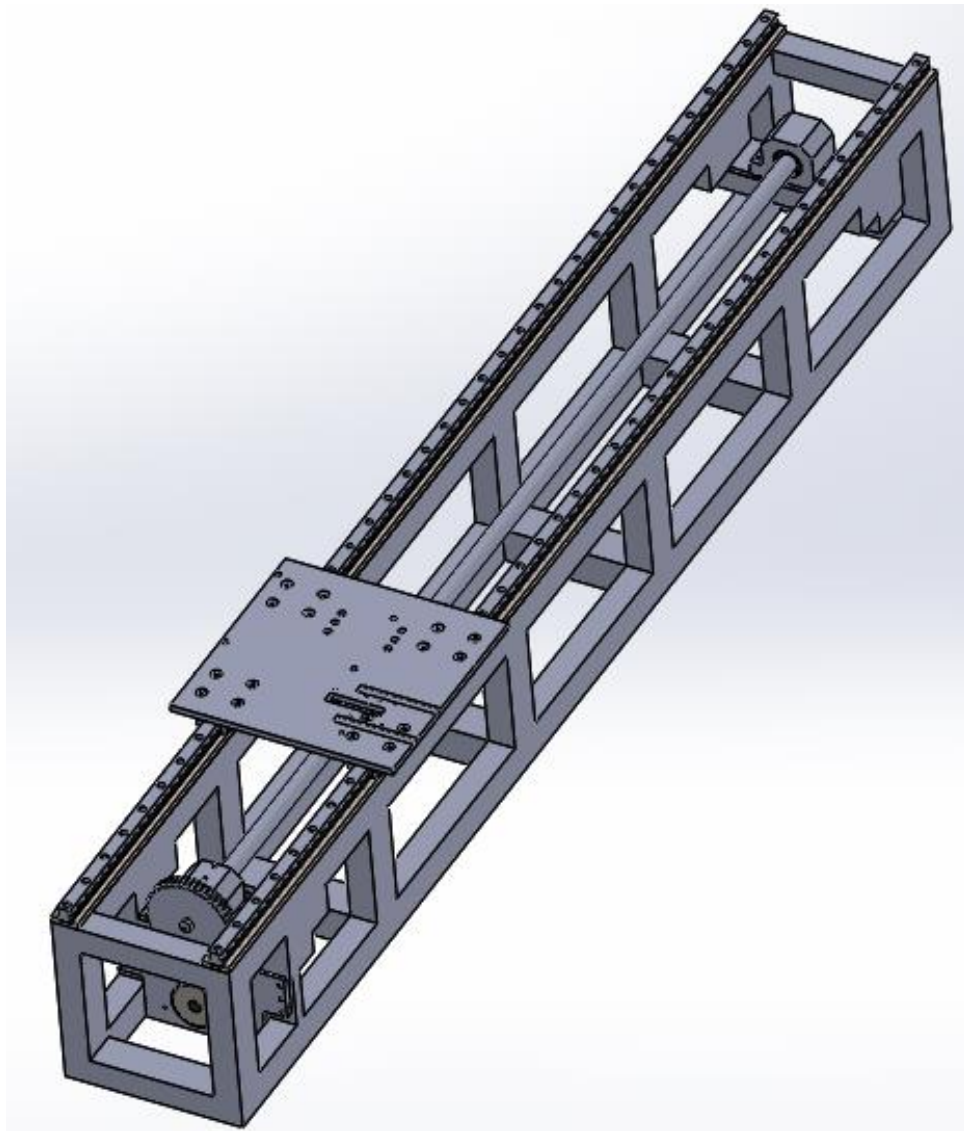
Слика 28 - Почетне стране „Bosch Rexroth“-ових каталога за линеарне вођице и навојна куглична вретена [2][3]

6. Конструкција тестере

Конструкција тестере се састоји од неколико подсклопова:

- Носећи рам тестере на коме се налази серво-мотор за погон главног навојног вретена, као и линеарни систем који омогућава кретање главних колица.

Обзиром да су главни недостаци претходних решења биле вибрације и нетачност сечења, одлучио сам да носећи рам буде предимензионисан у смислу избора знатно већих профила који су међусобно заварени. Линеарни систем је комбинација кугличног навојног вретена и клизних стаза са котрљајним линеарним лежајевима. Потребна убрзања и радне брзине су обезбеђене управљивошћу серво-мотора. Избор свих наведених елемената обезбеђује веома висок ниво стабилности, одличне синхронизације и тачности. Дугачак ход главних колица омогућава најоптималније режиме резања.

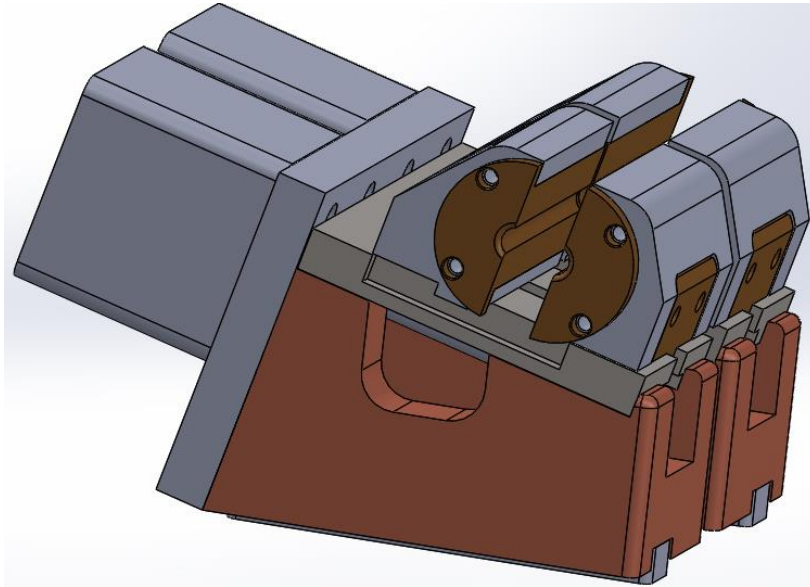


Слика 29 - Носећи рам са главним линеарним системом и погоном вретена

- Пнеуматске стеге за стезање цеви

Стега се налази на главној носећој плочи и њена функција је стезање цеви различитих димензија. Погон за стезање су пнеуматски цилиндри

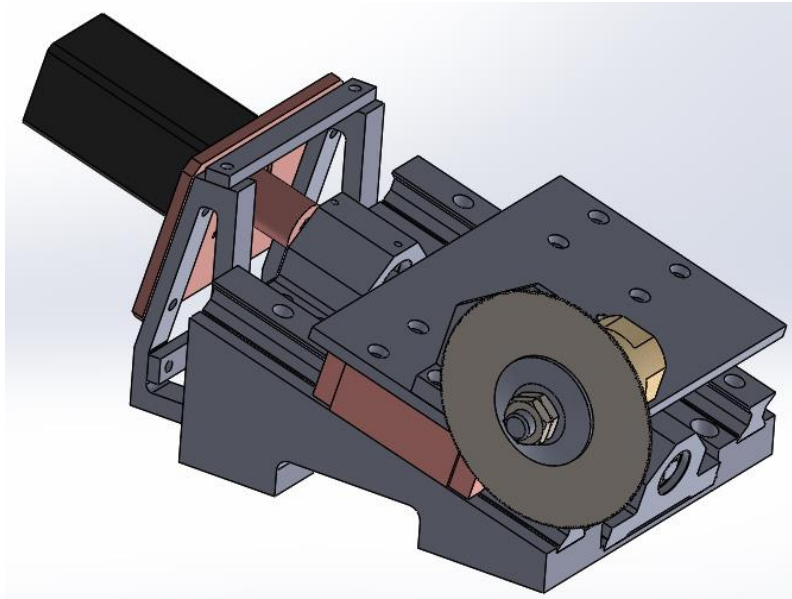
Стега представља модуларни део који је могуће мењати у односу на тренутне захтеве сечења. То значи да је могуће да тестера подржи сечење за различите опсеге цеви. У овом случају стега има опсег стезања цеви од 7 до 25 mm. Изменљиви делови стеге су стезни пакнови и њиховом брзом и лакоом изменом се врши једноставно подешавање које омогућава стезање цеви одређеног пречника.



Слика 30 - Пнеуматска стега за стезање цеви

- Подсклоп сечења - састоји се од косе носеће плоче на којој се налази серво-мотор за погон навојног вретена за попречно кретање тестере, као и линеарни систем помоћу кога се крећу мала носећа колица тестере.

Линеарни систем је комбинација кугличног навојног вретена и клизних стаза са котрљајним линеарним лежачевима. Потребна убрзања и радне брзине су обезбеђене управљивошћу серво-мотора. Избор свих наведених елемената обезбеђује веома висок ниво стабилности, одличне синхронизације и тачности. Серво-мотор и навојно вретено су у оси и међусобносу су повезани еластичном спојницом за серво-моторе.



Слика 31 – Подсклоп сечења

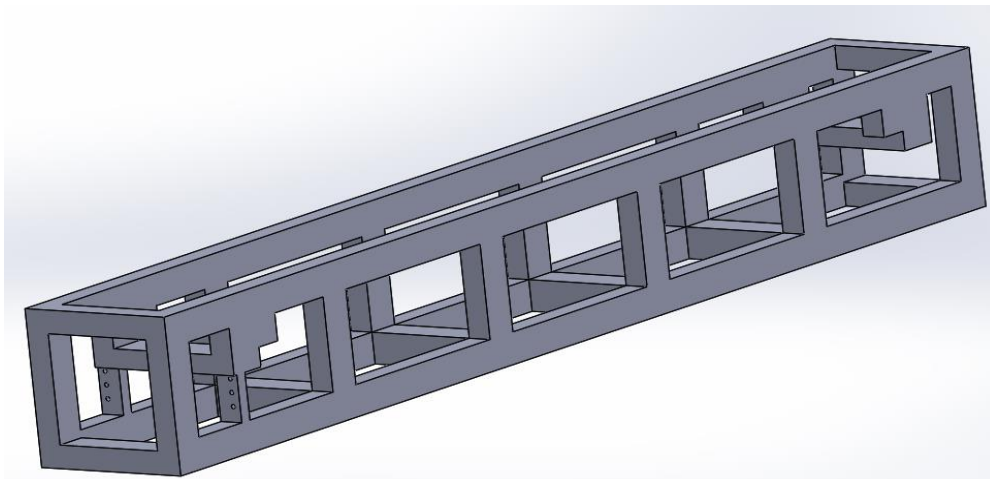
6.1 Подсклоп главног носећег рама

Подсклоп главног носећег рама се састоји из три мања подскопа:

- Главног носећег рама са са носећим плочама клизних стаза и лежајева
- Подсклоп главног навојног вретена
- Подсклоп главних носећих колица

6.1.1 Главни носећи рам

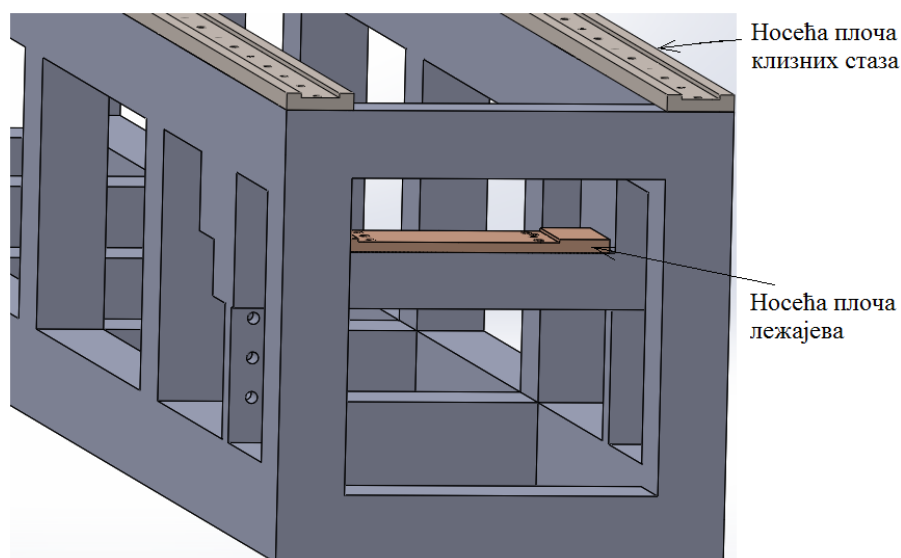
Носећи рам тестере (слика 32) представља део склопа на коме се налазе сви остали делови тестере. Састоји се од међусобно заварених кутијастих профила који у основи имају димензије 85x60 mm за вертикалне профиле и 85x80 mm за хоризонталне профиле. Дебљина кутијастих профила је 3 mm. Габаритне димензије целог носећег рама су 400x400x3000 mm.



Слика 32 - Главни носећи рам тестере

Код већине машина овога типа где су присутне вибрације, прибегава се примени ливених кућишта. Обзиром да се овде ради о појединачној изради наменске машине, извршен је избор заварене конструкције од кутијастих профила. Приликом сечења цеви, јављају се вибрације које утичу на квалитет сечења, радни век појединих делова тестере, као и на рад целокупног склопа. Да би се овај утицај смањио, односно да би се вибрације упиле, носећи рам мора бити тежак и стабилан. Из овог разлога су изабрани кутијасте профили који могу да обезбеде функцију упијања вибрација.

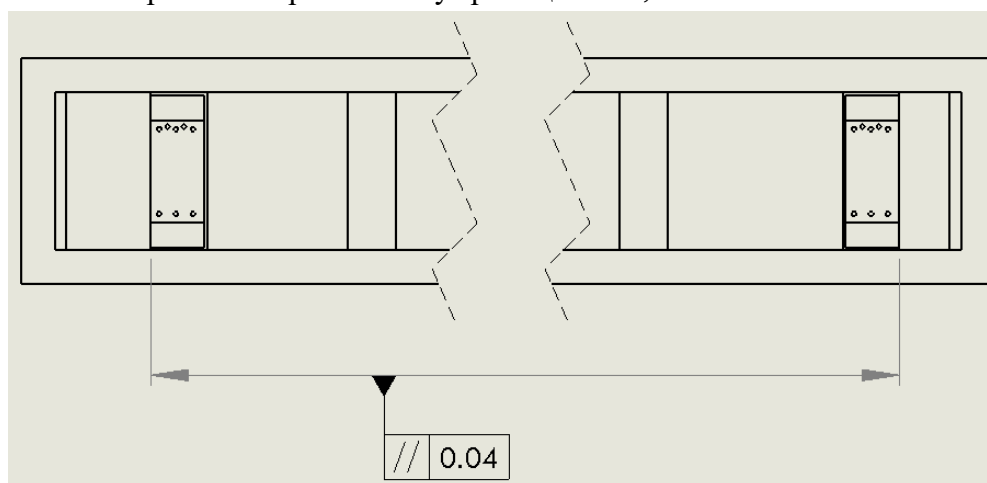
За главни носећи рам се заварују носеће плоче кућишта главног вретена и носеће плоче клизних стаза главних колица (слика 33). После заваривања потребно је приступити машинској обради носећих површина за кућишта главног вретена и површина за клизне стазе главних колица.

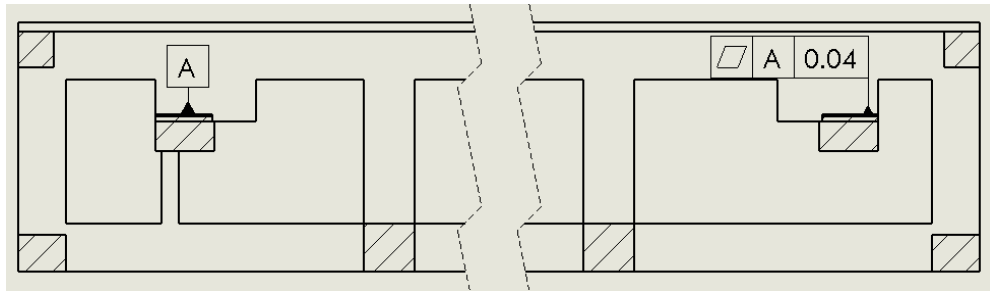


Слика 33 - Носеће плоче клизних стаза и лежајева заварене за носећи рам

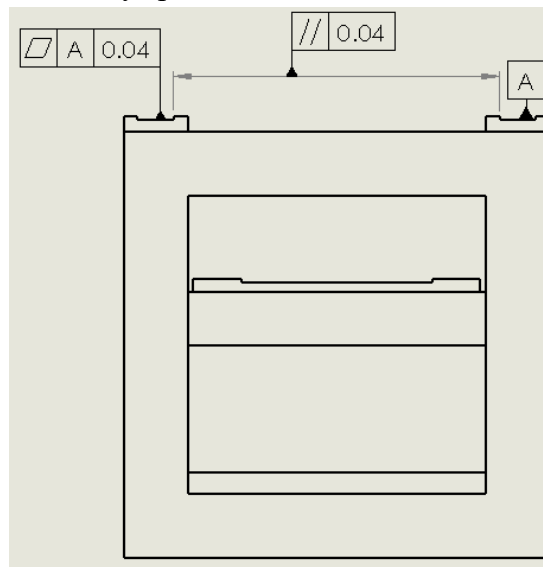
На основу препорука произвођача „Rexroth“ потребно је обезбедити следеће:

- међусобни однос површина на које се монтирају кућишта главног вретена морају имати компланарност и паралелност у границама $\pm 0,04 \text{ mm}$

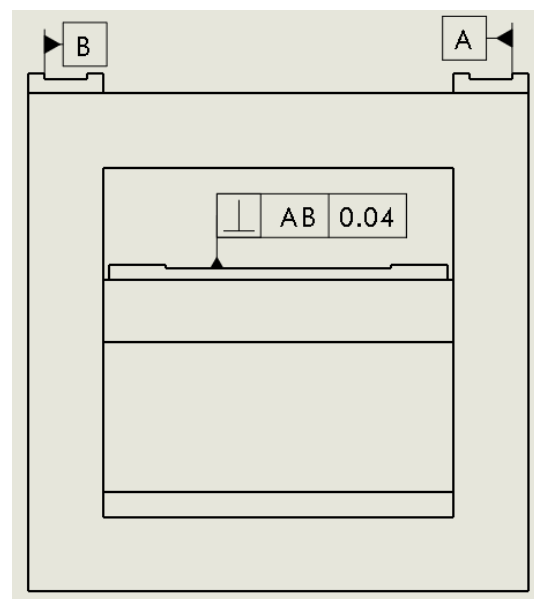
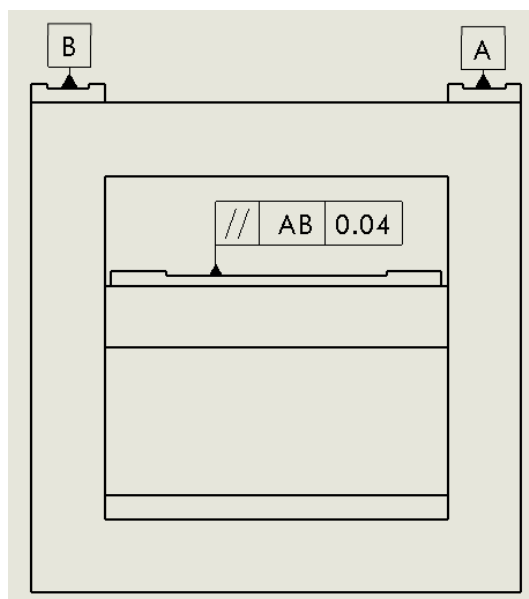




- међусобни однос површина на које се монтирају клизне стазе морају имати компланарност и паралелност у границама $\pm 0,04 \text{ mm}$



- међусобни однос површина кућишта и клизних стаза мора имати услов управности и паралелности у границама $\pm 0,04 \text{ mm}$

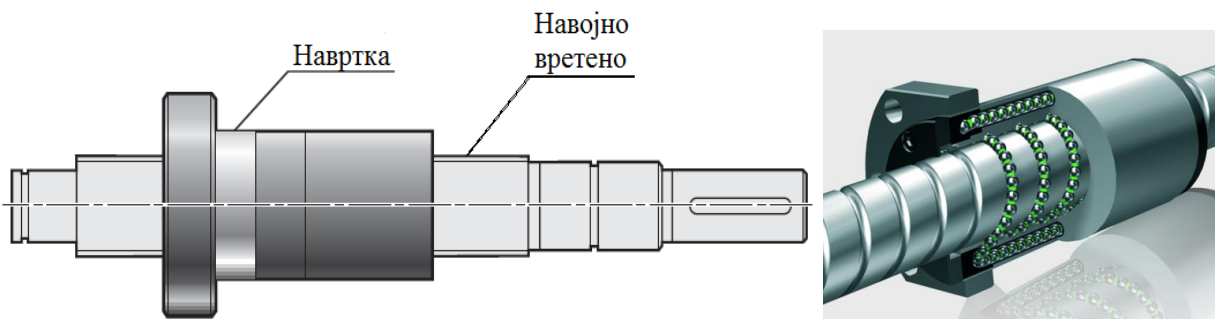


6.1.2 Главно навојно вретено

Подсклоп главног навојног вретена се састоји од:

- Главог навојног кугличног вретена са навртком
- Улежиштења главног навојног вретена
- Погона главног вретена

Главно навојно куглично вретено 40x40Rx6_L=2700mm се набавља заједно са навртком као готов део. Разни произвођачи производе навојна куглична вретена заједно са навртком у различитим класама тачности. За овај тип конструкције изабрано је вретено класе тачности T5 (средња класа тачности) [2]. Навртка је елемент који обезбеђује кретање преко куглица. Преко спојног елемента је везана за главна колица и на тај начин је обртно кретање навојног вретена претворено у линеарно кретање главних колица.



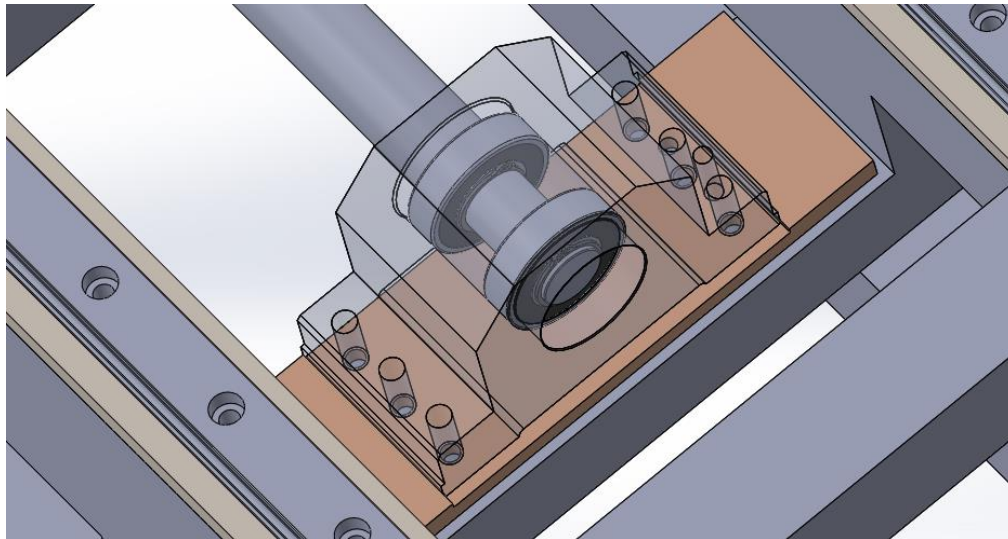
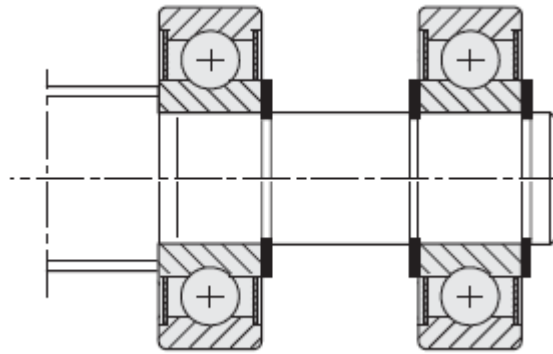
Слика 34 - Навојно вретено са навртком [2] [4]

Обрада крајева навојног вретена се може извршити на основу препорука произвођача вретена што омогућава да се коначна димензија прилагоди потребама машине. Друга опција је да се од произвођача поручи навојно вретено са већ обрађеним крајевима.

Улежиштење оба краја навојног вретена састоји се од кућишта и лежајева. Веза између кућишта и носеће плоче кућишта је остварена завртњевима. Због вибрација које се јављају при сечењу, завртањска веза се додатно осигурава чивијама на оба кућишта. Чивије се стављају после центрирања и позиционирања вретена односно после монтаже главног вретена. Задатак чивија је да се осигура да не дође до померања кућишта у односу на носећу плочу и тиме произведе закошење вретена. Закошење вретена и у минималном износу би оптеретило навртку и вретено као и линеарне клизне стазе са клизним лежајевима, чиме би знатно био скраћен век трајања.

Систем улежиштења главног навојног вретена је извршен на основу препоруке произвођача „Rexroth“ тако да је на крају вретена где се налази ременица покретан ослонац, а на другом крају је непокретан ослонац.

Приказ решења непокретног ослонца је дат на следећој слици:



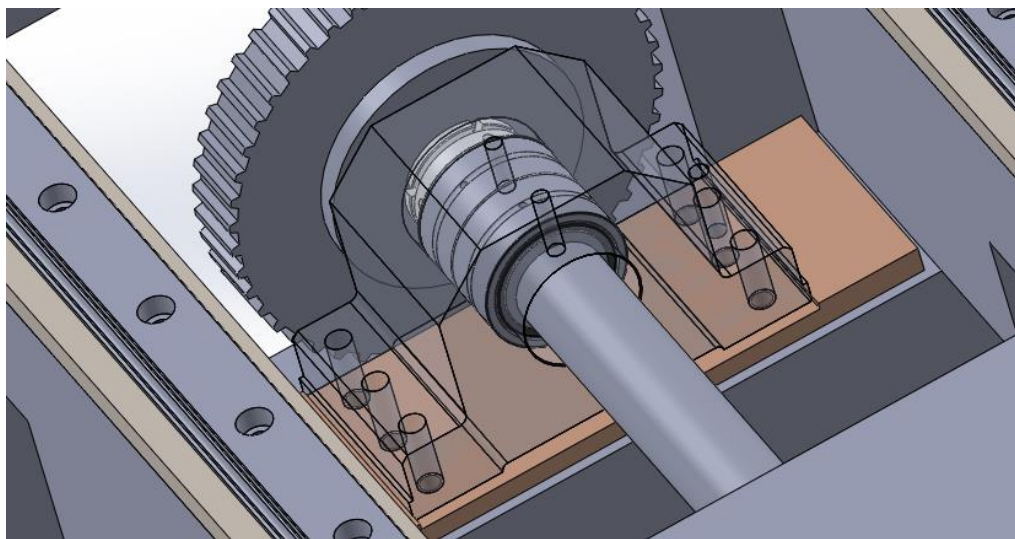
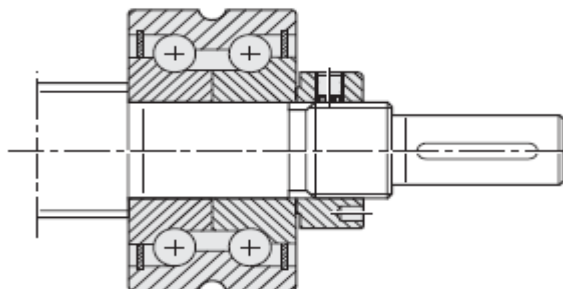
Слика 35 - Улежиштење непокретног ослонца [2]

Сет лежаја, зегерних осигурача и кућишта за непокретни ослонац је R1594_630_00 [2]



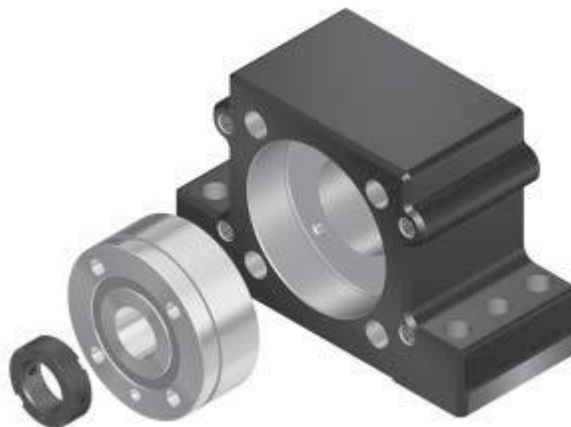
Слика 36 - Приказ комплета кућишта, лежаја и зегерних осигурача непокретног ослонца [2]

Крај навојног вретена где се налази ременица је изведен као покретан ослонац и конструкцијски је решен да је могуће извршити подешавање притегнутости лежаја. На следећој слици се види конструкцијско решење и начин монтаже.



Слика 37 - Улежиштење покретог ослонца великог вретена [2]

Сет кућишта, навртке и лежаја за покретан ослонац је R1595_030_00. [2]



Слика 38 - Приказ комплекта кућишта, навртке и лежаја покретног ослонца [2]

Погон главног навојног вретена се састоји од:

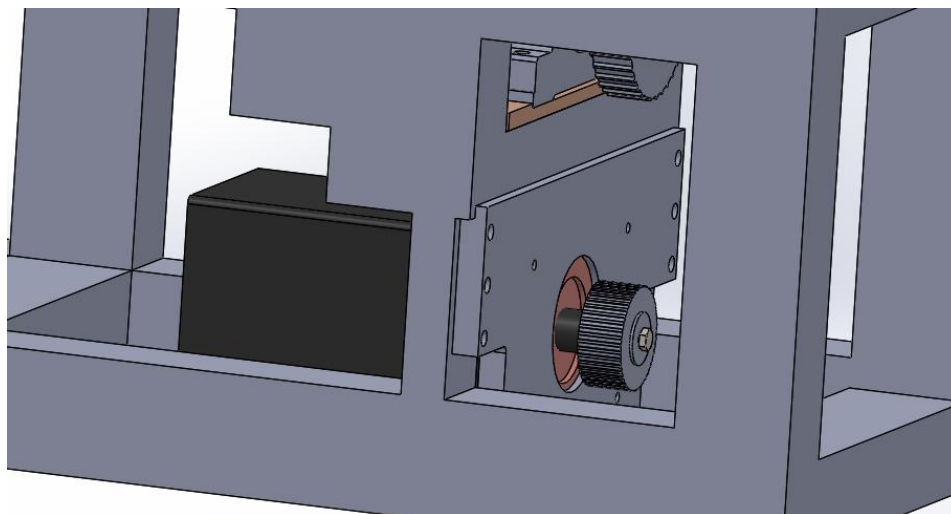
- серво-мотора ВМН 1403 снаге 1,78 kW
- зупчастог ремена 32x920 mm
- погонског зупчастог каишника Ø65 mm
- гоњеног зупчастог каишника Ø110 mm.

Избор главног серво-мотора је извршен на основу прорачуна за укупну тежину колица, брзине и убрзања потребним за извршење сечења цеви. Избор серво-мотора и зупчатокаишног преносника је извршен уз консултације и препоруке инжењера Elit Inox-а и EpeI-а. Произвођач серво мотора је „Schneider“.

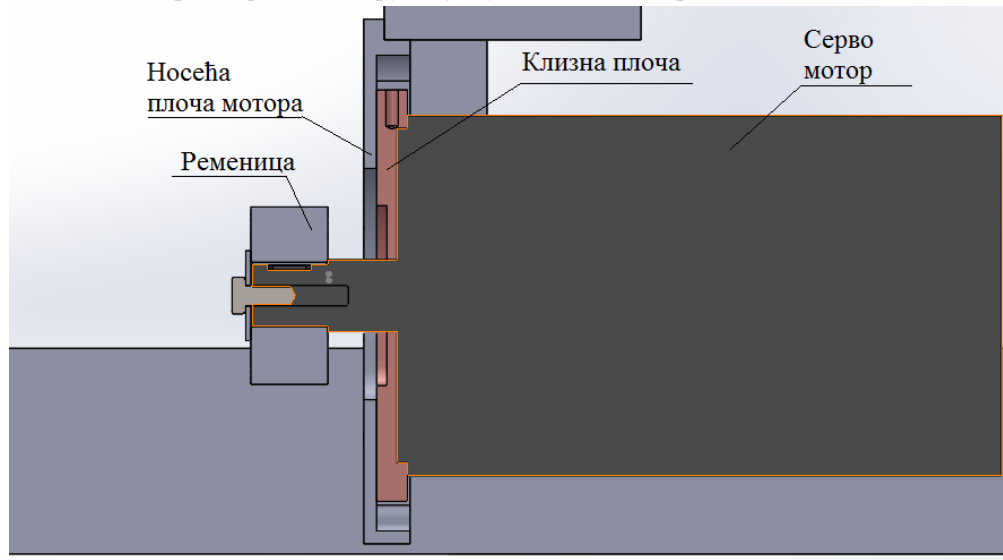


Слика 39 - 3D модел серво-мотора ВМН 1403 [5]

Серво-мотор је позициониран испод навојног вретена и причвршћен је за клизну плочу која је улежиштена у носећу плочу серво-мотора као што се види на слици 41. Померањем клизне плоче је могуће вршити затезање зупчастог ремена.



Слика 40 - Серво-мотор ВМН 1403 са зупчастим каишником на носећој плочи



Слика 41 - Пресек монтаже серво-мотора

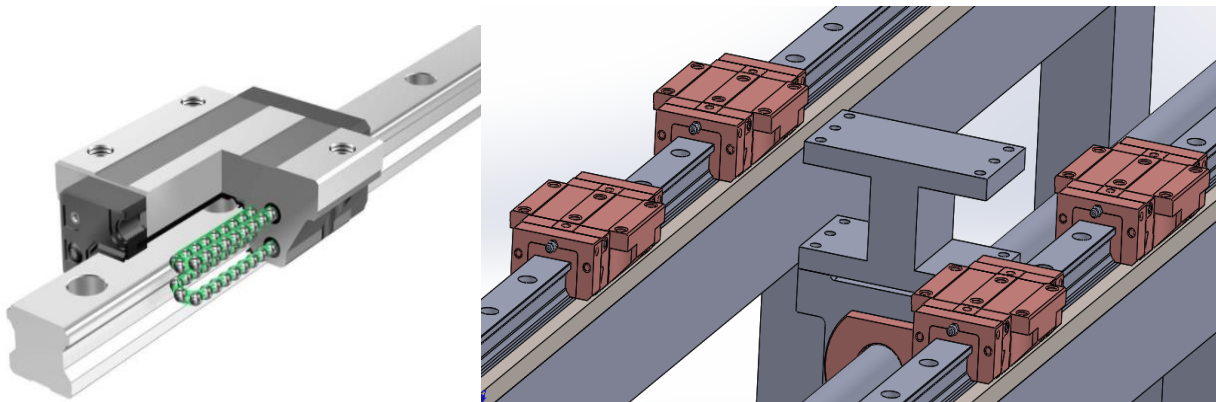
Снага се не преноси директно са мотора на вретено већ путем зупчasto-каишног преносника због особине овог преносника да добро упија вибрације, што је неопходно због већ наведених разлога.

6.1.3 Главна носећа колица

Подсклоп главних носећих колица састоји се од:

- котрљајних линеарних вођица,
- главних носећих колица

Котрљајне линеарне вођице представљају систем који обезбеђује линеарно вођење и пријем оптерећења. Изабрано је да колица буду постављена на два пара линеарних котрљајних лежајева. Избор је извршен на основу прорачуна из софтвера произвођача линеарних система „Rexroth“. Клизне стазе и линеарни котрљајни лежајеви су изабрани из Rexroth-овг каталога „Ball rail systems“.



Слика 42 - Котрљајне линеарне вођице великог линеарног система [6]

Трење клизања је код котрљајних вођица претворено у трење котрљања што овај тип вођица чини софистициранијим у односу на клизне. Котрљајне линеарне вођице су систем у коме челичне куглице циркулишу бесконачно како би омогућиле кретање вођеног елемента. Куглице се котрљају по жлебу у шини. У вођеном елементу постоји жлеб који се налази уз шину и отвор кроз који се куглице враћају на почетак – отвор за рецикулацију куглица. Котрљајне линеарне вођице омогућавају:

- велику брзину, уштеду енергије и негенерисање топлоте
- одржавање прецизног вођења у дугом временском периоду
- смањене трошкове при монтажи
- квалитет израде је уједначен
- ниски трошкови одржавања [12]

Главна носећа колица носе подсклоп стеге за стезање цеви и подсклоп погона за сечење цеви. Преко адаптера су повезана са навртком навојног вретена и на тај начин се покрећу. Такође повезана су и са котрљајним линеарним вођицама што осигурава прецизно линеарно кретање.

Носећа колица на себи имају отвор кроз који пролази шпон који се ствара приликом сечења цеви. Испод отвора се налази левак, причвршћен за колица, кроз кога шпон испада у корито које је постављено испод колица по целој дужини носећег рама.



Слика 43 - Главна носећа колица

6.2 Подсклоп пнеуматске стеге

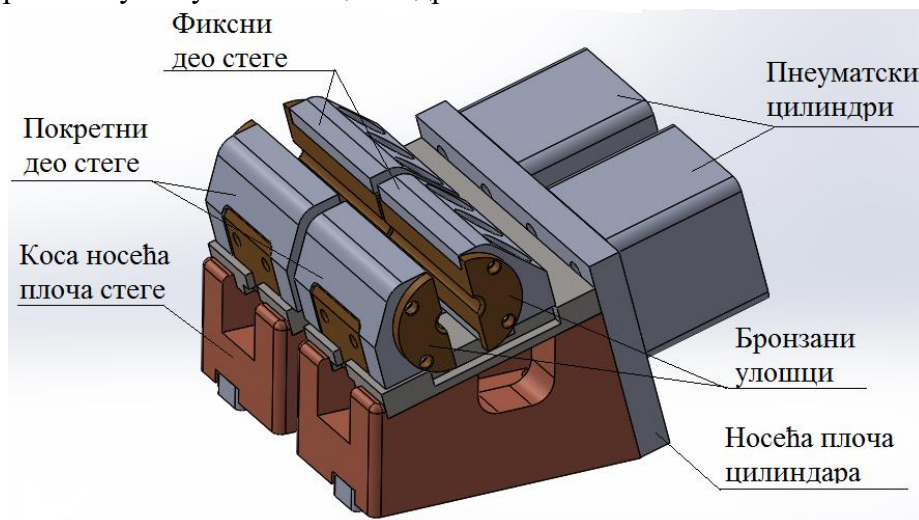
Стега представља модуларни део који је могуће мењати у односу на тренутне захтеве сечења. То значи да је могуће да тестера подржи сечење за различите опсеге цеви. У овом случају стега има опсег стезања цеви од 7 до 25 mm. Изменљиви делови стеге су стезни пакнови и њиховом брзом и лако изменом се врши једноставно подешавање које омогућава стезање цеви одређеног пречника.

Главни делови стеге су:

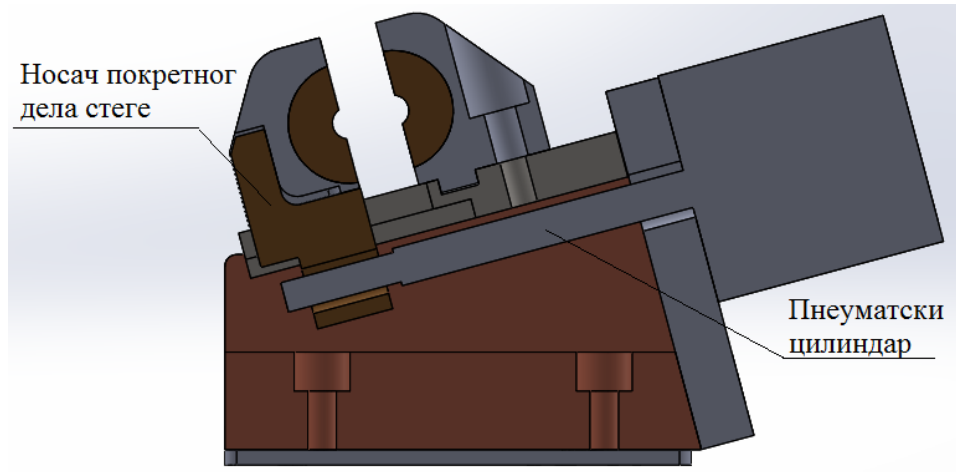
- кућиште стеге
- покретних и непокретних делова стеге
- пнеуматски цилиндри

Кућиште стеге се састоји од машински обрађених плоча међусобно спојених завртањском везом. Да би сама конструкција била лакша, носеће плоче су алуминијумске. На кућишту се налази непокретни и покретни део стеге. И на покретном и на непокретном делу стеге се налазе изменљиви пакнови. За сваки пречник цеви су предвиђени наменски пакнови. Пакнови су од бронзе, чиме се обезбеђује да је материјал пакнова мекши од материја који се стеже и на тај начин се спречава остављање трагова стезања. Отпорност бронзе на хабање обезбеђује дуг век трајања пакнова. Обзиром да су цеви које се стежу калибрисане и у толеранцијама $\pm 0,03$ до $\pm 0,05$ изабрао сам да код пакнова зона стезања буде кружног облика. Пракса је показала да је ово решење знатно боље за танкозидне цеви, јер пакнови овог облика притежу цев по готово читавом обиму. Решење са стезањем цеви пакновима ромбоидног облика има недостатак јер је притезањем цеви у четири тачке знатно теже подесити силу притезања због деформације танкозидних цеви.

Конструкција кућишта стеге је урађена тако да је стезни део стеге под углом од 15° у односу на хоризонталу да би се добио што повољнији нападни угао сечења. Позиција непокретног дела стеге је таква да је она подупирући елемент, а покретни део стеге притеже цев и обезбеђује стабилност сечења. Силу притезања је могуће подешавати променом притиска у пнеуматским цилиндрима.



Слика 44 - Подсклоп пнеуматске стеге



Слика 45 - Пресек монтаже пнеуматске стеге

Пнеуматски цилиндри су од произвођача „FESTO“ типа ADVC-10-A-P. Пречник клипа је 32 mm. Ход цилиндра је 10 mm. Цилиндар је са могућношћу сензорског читавања позиције клипа. Радни притисак цилиндра је 4 – 6 bar-а.



Слика 46 - Пнеуматски цилиндар [7]

6.3 Подсклоп сечења

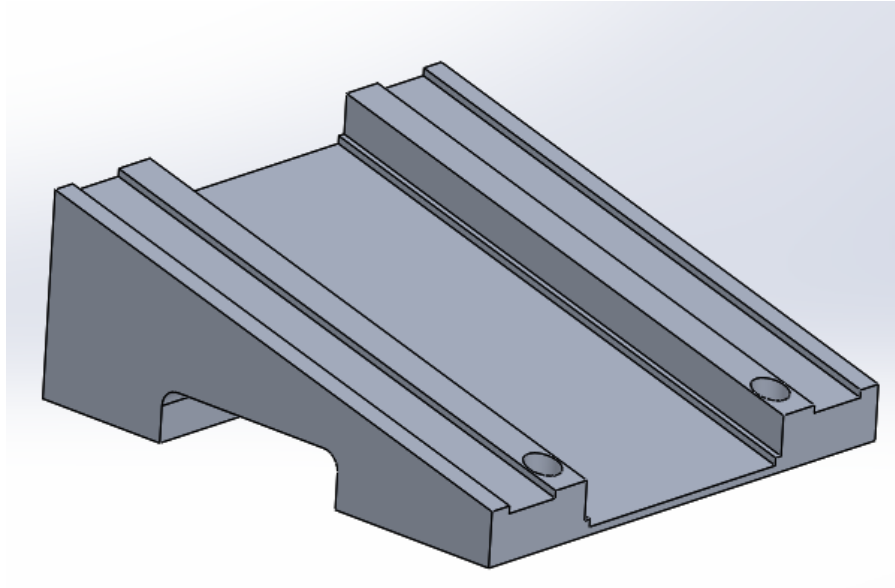
Подсклоп сечења се састоји од:

- кућишта – носач малог линеарног система
- малог навојног вретена
- малих носећих колица
- погона малог навојног вретена
- носача погона тестере
- погона тестере (мотор-редуктора)
- тестере

6.3.1 Кућиште – носач малог линеарног система

Кућиште малог линеарног система је од алуминијумског одливка да би се смањила укупна маса и омогућила лакша машинска обрада. На кућишту су изведена знатна олакшања и маса обрађеног дела је након тога око 10 килограма.

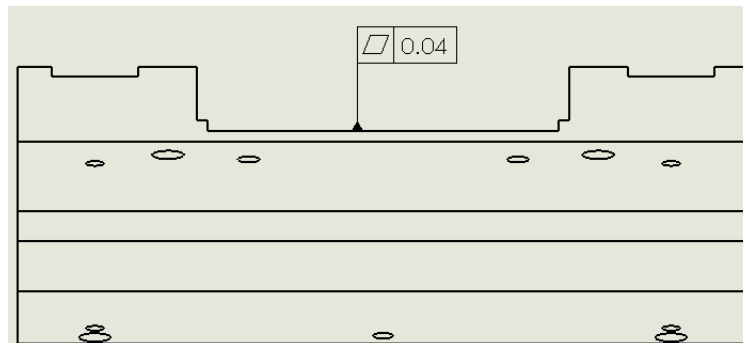
После припремне машинске обраде, где се врши олакшавање алуминијумског одливка потребно је приступити машинској обради носећих површина за кућишта малог навојног вретена и површина за клизне стазе малих колица.



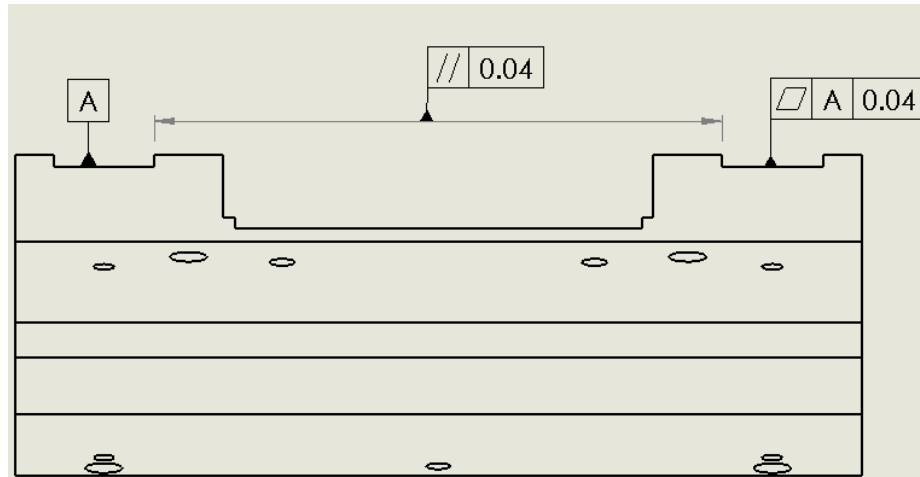
Слика 47 - Машински обрађено алуминијумско кућиште за мали линеарни систем

На основу препорука произвођача „Rexroth“ потребно је обезбедити следеће:

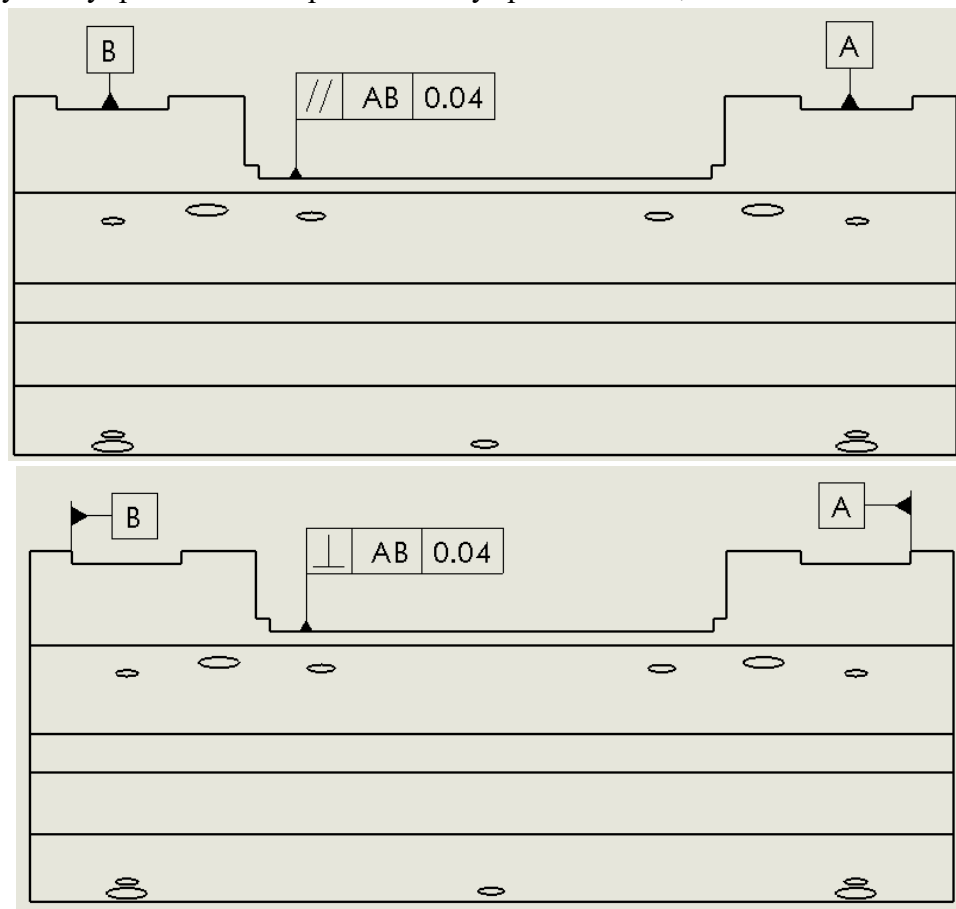
- површина на коју се монтирају кућишта мора бити тако машински обрађена да предњи и задњи део површине испуњава услов компланарности у границама $\pm 0,04$ mm



- међусобни однос површина на које се монтирају клизне стазе морају имати компланарност и паралелност у границама $\pm 0,04 \text{ mm}$



- међусобни однос површина на које се монтирају кућишта и клизне стазе морају имати услов управности и паралелности у границама $\pm 0,04 \text{ mm}$

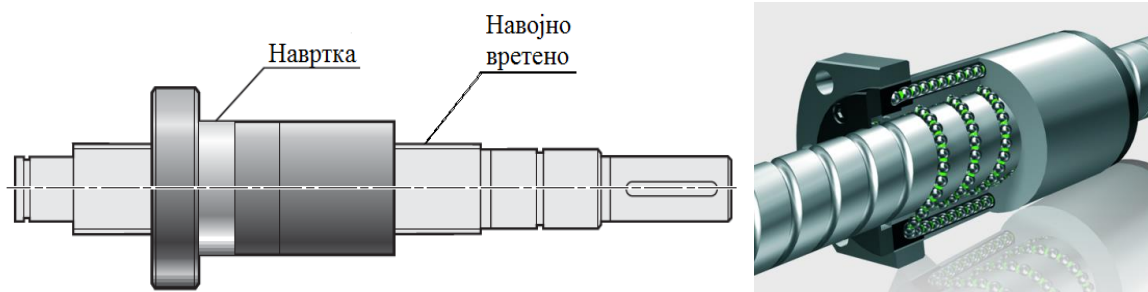


6.3.2 Мало навојно вретено

Подсклоп малог навојног вретена се састоји од:

- Малог навојног кугличног вретена са навртком
- Улежиштења малог навојног вретена
- Погона малог вретена

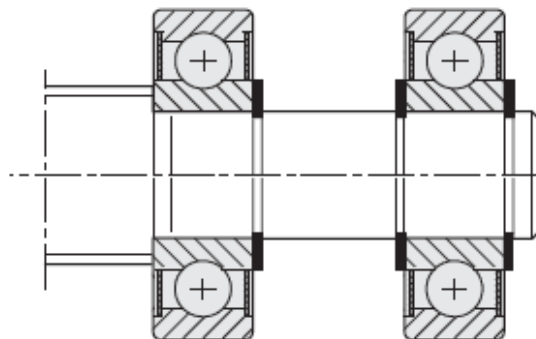
Мало навојно куглично вретено 20x5Rx3_L=350 се, као и главно вретено, набавља заједно са навртком као готов део. Класа тачности навојног вретена и навртке је Т5 (средња класа тачности) [2]. Навртка је елемент који обезбеђује кретање преко куглица и директно је везана за мала колица и на тај начин је обртно кретање навојног вретена претворено у линеарно кретање малих колица.

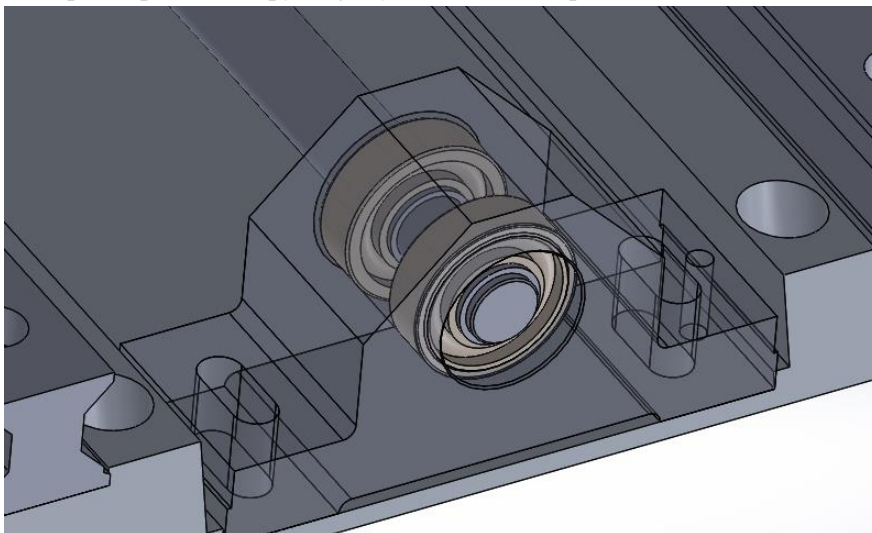


Слика 48 - Навојно вретено са навртком [2] [4]

Улежиштење оба краја навојног вретена састоји се од кућишта и лежајева. Веза између кућишта лежајева и алуминијумског кућишта је остварена завртњевима. Због вибрација које се јављају при сечењу, завртањска веза се додатно осигурава чивијама на оба кућишта. Чивије се стављају после центрирања и позиционирања вретена односно после монтаже малог вретена, из истих разлога као и код кућишта великог вретена. Систем улежиштења малог навојног вретена је извршен на основу препоруке произвођача „Rexroth“ и сличан је решењу за велико навојно вретено тако да је на крају вретена где се налази еластична спојница, која спаја вретено и мали погонски мотор, покретан ослонац, а на другом крају је непокретан ослонац.

Приказ решења непокретног ослонаца је дат на следећој слици:





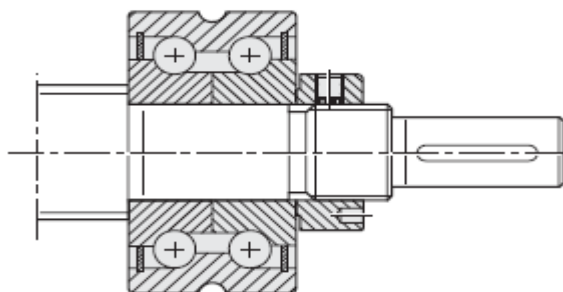
Слика 49 - Улежиштење непокретног ослонаца малог вретена [2]

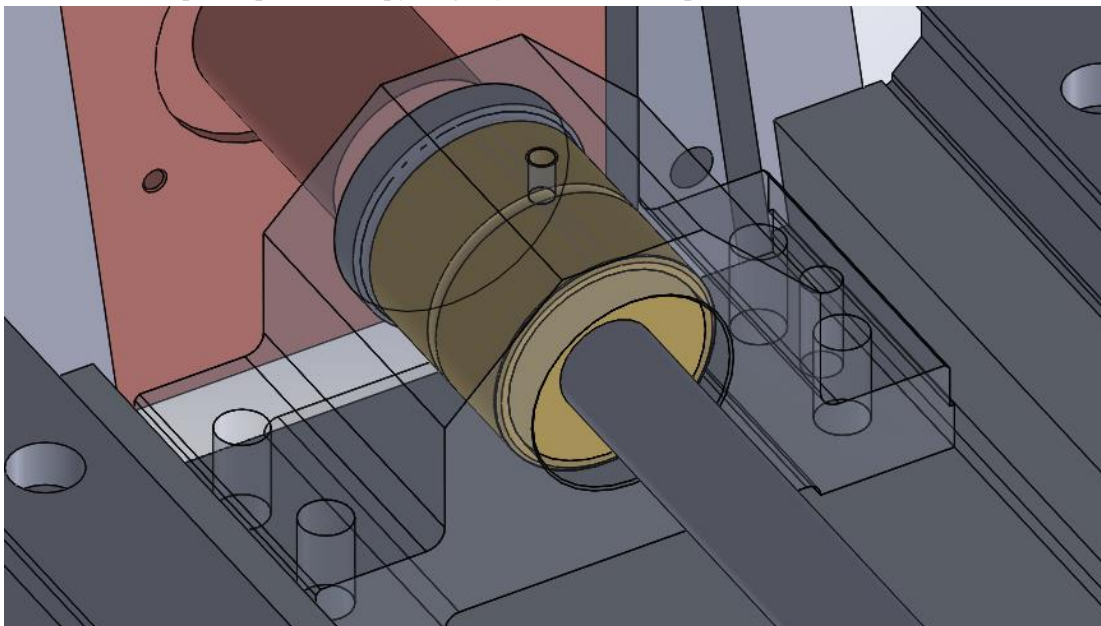
Сет лежаја, зегерових осигурача и кућишта за непокретни ослонац је R1594_615_00.
[2]



Слика 50 - Приказ комплекта кућишта, лежаја и зегерових осигурача за непокретан ослонац [2]

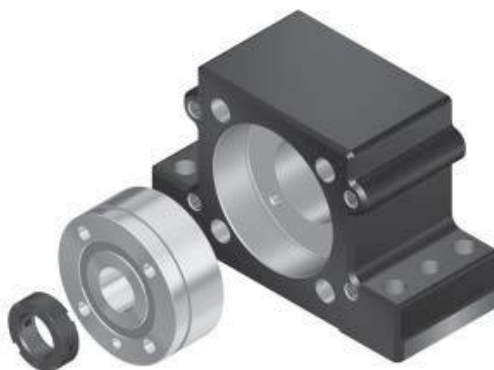
Крај навојног вретена који је преко еластичне спојнице спојен са малим погонским мотором је изведен као покретан ослонац и конструкцијски је решен да је могуће извршити подешавање притегнутости лежаја. На следећој слици се види конструкцијско решење и начин монтаже. Притезна навртка лежаја је M16x1,5.





Слика 51 - Улежиштење покретног ослонаца малог вретена [2]

Сет кућишта, навртке и лежаја за покретни осланац је R1594_012_00 [2]



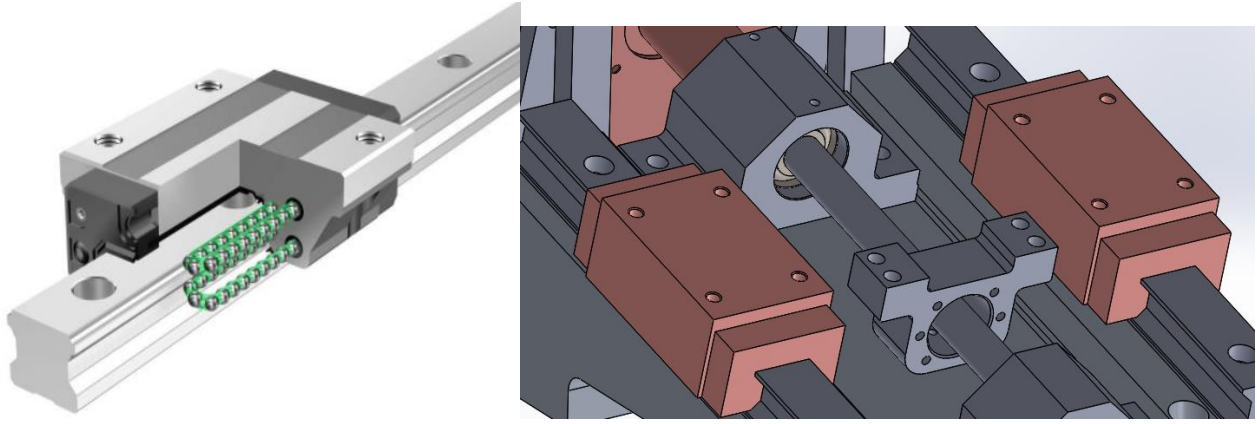
Слика 52 - Приказ комплекта кућишта, навртке и лежаја за покретан осланац

6.3.3 Мала носећа колица

Подсклоп малих носећих колица састоји се од:

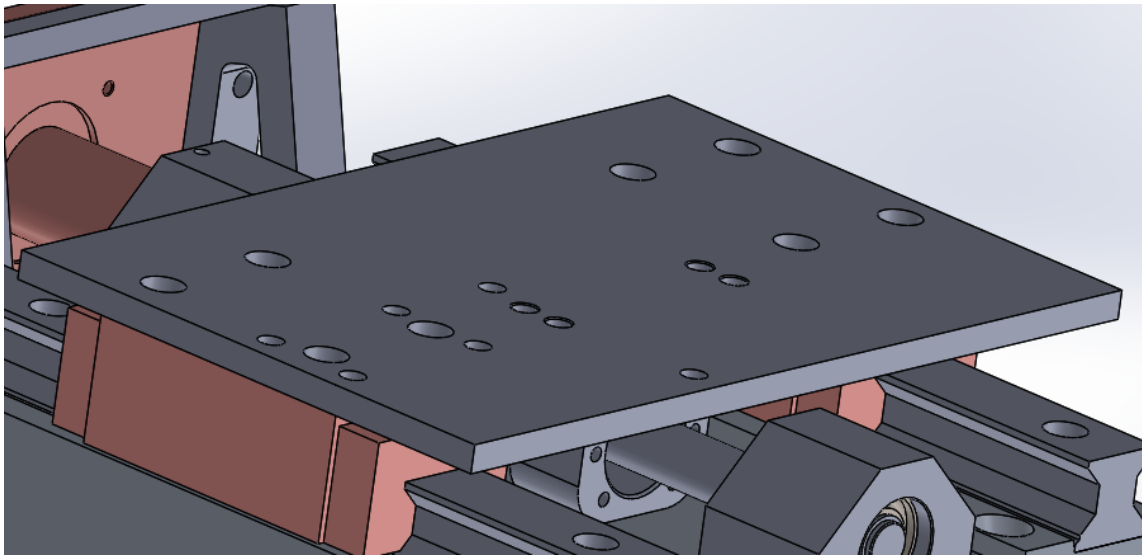
- котрљајних линеарних вођица,
- малих носећих колица

За котрљајне линеарне вођице је узет исти тип као и код главног линеарног система, с тим што овде имамо један пар линеарних котрљајних лежајева уместо два пара код главног система. Избор је извршен на основу прорачуна из софтвера произвођача линеарних система „Rexroth“. Клизне стазе и линеарни котрљајни лежајеви су изабрани из Rexroth-овг каталога „Ball rail systems“.



Слика 53 - Котрљајне линеарне вођице малог линеарног система [6]

На малим носећим колицима се налази мотор-редуктор који покреће тестеру (алат). Колица су повезана са навртком вретена тако да се преко ње остварује кретање колица и на тај начин се врши сечење цеви.



Слика 54 - Мала носећа колица

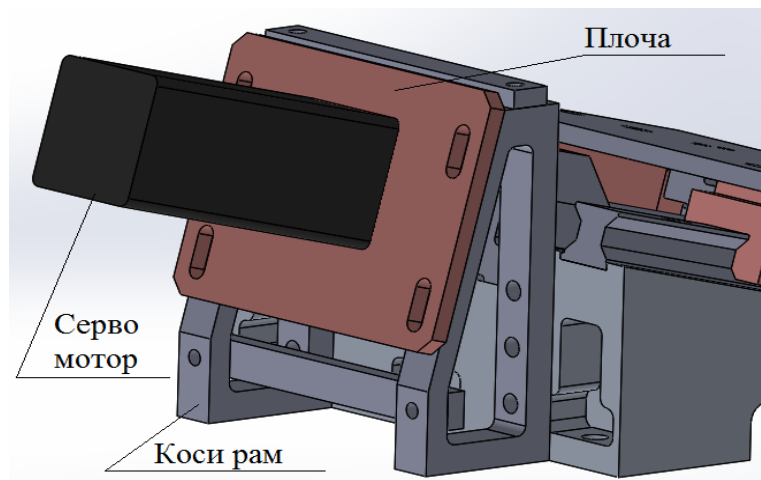
6.3.4 Погон малог навојног вретена

Погон малог навојног вретена представља серво-мотора ВМН 0702 снаге 0,31 kW. Избор малог серво мотора је извршен на основу прорачуна за укупну тежину малих колица, брзине и убрзања потребним за извршење сечења цеви. Избор малог серво-мотора је, као и код великог серво-мотора извршен уз консултације и препоруке инжењера Elit Inox-а и Enel-а. Произвођач серво мотора је „Schneider“.

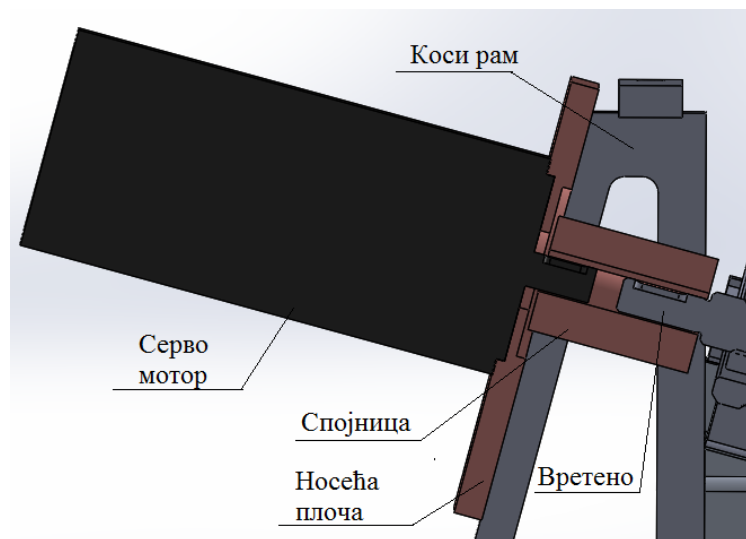


Слика 55 - 3D модел серво-мотора [8]

Серво-мотор је преко спојнице директно повезан са малим вретеном. Серво-мотор се налази на косом раму са плочом, који је повезан са главним алуминијумским кућиштем.



Слика 56 - Серво мотор ВМН 0702 на косом раму са носећом плочом



Слика 57 - Монтажа серво-мотора и спој са вретеном

6.3.5 Погон тестере

Носач мотор-редуктора је урађен од међусобно заварених плоча, машински је обрађен и прилагођен конструкцији носеће плоче. Комплетан носач са мотор-редуктором и тестером мора да испуни услов да у радном ходу од 50 mm изврши кретања у којима врши сечење и враћање у почетну позицију чиме се ствара услов за безбедно враћање главних колица у њихову почетну позицију.

Сечење цеви се врши синхронизованим обртним кретањем циркуларне тестере и линеарним кретањем малих колица на којима се тестера налази.

Циркуларно кретање обезбеђује мотор-редуктор. На основу параметара сечења:

- пречник тестере 150 – 250 mm
- брзина сечења 3 - 8 mm/s
- број обртаја тестере 40 – 200 °/min

извршен је избор мотор-редуктора.

Најновије и најсавременије решење је серво актуатор произвођача „Wittenstein“. Ово решење сам изабрао јер се одликује одличном динамиком, високом густином снаге, ниским моментом инерције и оптималним торзионим моментом. Специфичан спој између серво уређаја и зупчаника планетарног редуктора омогућавају уштеду преко 50% простора у односу на стандардне мотор-редукторе. Зупчаници планетарног редуктора обезбеђују тих рад и ниске вибрације. Карактеристике серво актуатора TPM dynamic 004 су:

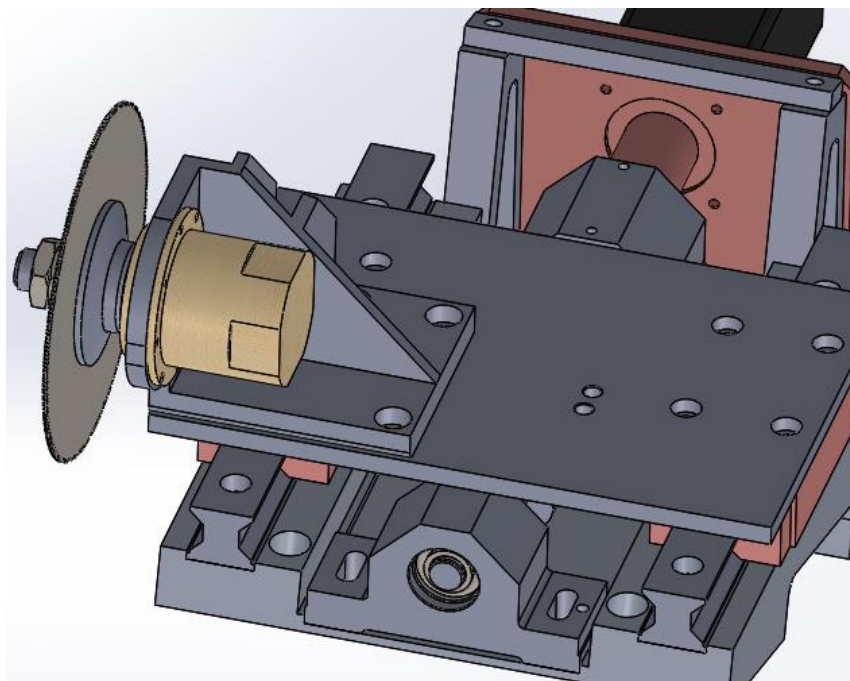
- преносни однос је $i=31$
- оптималан број обртаја је $n=194$ °/min
- подесиви број обртаја $\pm 50\%$
- номинални излазни момент је $T_{nom}=40$ Nm
- тих рад – бука мања од 58 dB
- маса је $m=2$ kg
- снага 1 kW

Габаритне мере актуатора Ø75x189 mm омогућавају употребу тестера пречника 150 до 180 mm (карбидне тестере) и постизање изванредних карактеристика сечења. Што је мањи пречник тестере то су стабилнији услови сечења. Претходни мотор редуктор је условљавао употребу тестере пречника 250 mm што знатно погоршава стабилност тестере при сечењу и доводи до вибрација, поготово при сечењу дебљина цеви 1 до 2 mm.

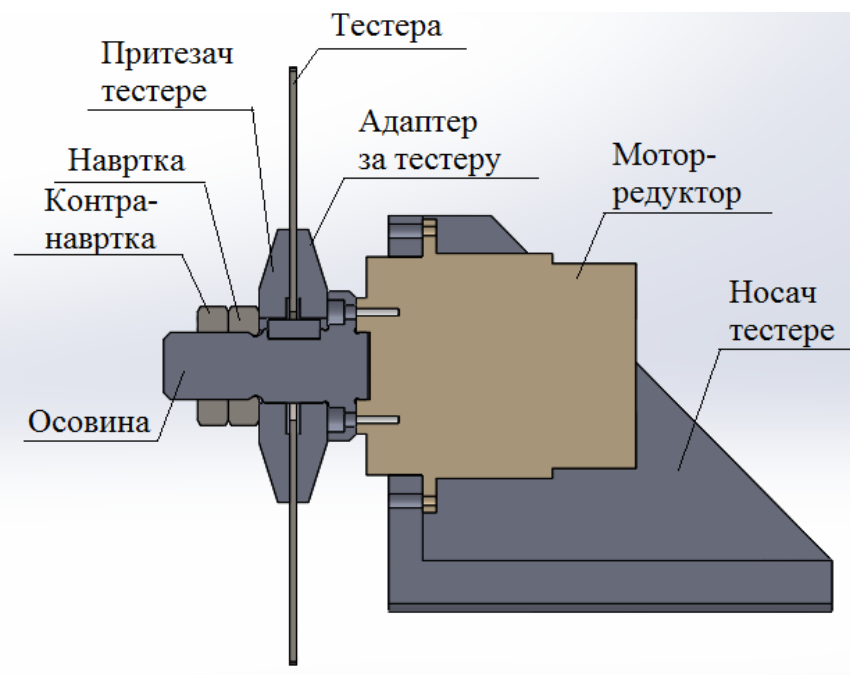


Слика 58 - Серво актуатор TPM dynamic 004 [9]

Серво-мотор актуатора омогућава изузетно прецизно управљање бројем обртаја мотора а самим тим бројем обртаја тестере. Ова врста управљивости обезбеђује најоптималнији број обраја за сечење цеви и прилагођавање различитим врстама материјала и дебљинама цеви.



Слика 59 - положај тестере на малим колицима



Слика 60 - Мотор редуктор са тестером

6.3.6 Тестера

На излазну осовину редуктора је уграђен адаптер за монтажу тестере (слика 60). Сама монтажа тестере је изведена тако да адаптер са једне стране подупије тестеру, а са друге стране притезач тестере притеже тестеру помоћу навртке која се завија на адаптер. Навртка се осигурава контра навртком као обезбеђење од одвијања због вибрација које настају при сечењу.

Резање нерђајућег челика је специфично по томе да се врши са релативно малим бројем обртаја и није дозвољено прегревање зоне сечења. Да би овај захтев био испуњен, број обртаја при сечењу мора бити између 50 и 250 °/min, број зуба на тестери мора бити оптималан да би задовољио услов да захват по зубу буде $f_z = 0,04 - 0,05 \text{ mm}$.

Стални развој технологије израде тестера се шири са новим врстама материјала. Поред стандардних врста челика (HS и HSS) све више се користе и тестере обложене превлаком која продужава век сечива. Карбидни материјали су избор за веома тешке услове сечења али због своје цене, која је два до три пута већа од HSS тестера, ређе су у употреби.

Обзиром да су цеви од нерђајућег челика, на основу препорука произвођача алата за сечење (тестера), могу се изабрати две врсте тестера:

- HSS тестера (ABS Tools Italy) – пречник тестере $D=250 \text{ mm}$, број обртаја $n=50 - 120 \text{ °/min}$, брзина сечења $V=20 - 80 \text{ m/min}$, дебљина тестере $t=1,2 - 1,5 \text{ mm}$, број зуба $z=250 - 300$, [10]

Предности ове тестере су могућност већег избора облика зубаца, већег избора дебљина тестере, чиме се може направити лакши избор за различите дебљине цеви, нижа цена тестере. Недостаци ове тестере су увећане вибрације због већег пречника и мањи век трајања тестере. Предвиђени број резова за ову тестеру је:

- За цев $\varnothing 10 \times 0,5 - 4000$ до 5000 резова
- За цев $\varnothing 20 \times 1,5 - 2000$ до 3000 резова
- Карбидна тестера - пречник тестере $D=180 \text{ mm}$, број обртаја $n=50 - 200 \text{ °/min}$, брзина сечења $V=50 - 180 \text{ m/min}$, дебљина тестере $t=1,5 - 2 \text{ mm}$, број зуба $z=200 - 400$, [11]

Предности ове тестере су веће брзине резања, а самим тим и краће време резања, мање изражене вибрације при резању, дужи век трајања тестере. Недостаци су већа набавна цена, мањи избор дебљина тестере и мања отпорност тестере на ударе услед повећане кртости. Предвиђени број резова за ову тестеру је:

- За цев $\varnothing 10 \times 0,5 - 8000$ до 10000 резова
- За цев $\varnothing 20 \times 1,5 - 6000$ до 7000 резова

У табелама 15 и 16 је дат упоредни приказ времена сечења за карбидну и HSS тестеру.

Табела 15 Приказ времена сечења за HSS тестеру

HSS тестера	V бочног линеарног кретања [mm/sec]	0,5	1	2	3	4	5	6	Радни ход тестере [mm]
Потребан број обртаја тестере n [o/min]		27,87	39,81	46,44	70,33	86,25	99,52	112,79	
Цев D	Дебљина цеви t [mm]	Потребно време сечења [sec]							
7,5	0,5	20,00	10,00	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	10
9,5	0,5	23,00	11,50	5,75	3,83	2,88	2,30	1,92	11,5
8	1	21,00	10,50	5,25	3,50	2,63	2,10	1,75	10,5
10	0,5	24,00	12,00	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	12
10	1	24,00	12,00	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	12
12	0,4	28,00	14,00	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	14
12	1	28,00	14,00	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	14
14	0,5	32,00	16,00	8,00	5,33	4,00	3,20	2,67	16
16	0,5	36,00	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	18
16	0,8	36,00	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	18
16	1	36,00	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	18
18	1	40,00	20,00	10,00	6,67	5,00	4,00	3,33	20
20	1	44,00	22,00	11,00	7,33	5,50	4,40	3,67	22

Табела 16 Приказ времена сечења за карбидну тестеру

Карбидна тестера	V бочног линеарног кретања mm/sec	0,5	1	2	3	4	5	6	Радни ход тестере [mm]
Потребан број обртаја тестере n [o/min]		79,62	106,16	132,70	159,24	185,77	212,31	238,85	
Цев D	Дебљина цеви t [mm]	Потребно време сечења [sec]							
7,5	0,5	10,00	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,43	12
9,5	0,5	11,50	5,75	3,83	2,88	2,30	1,92	1,64	14
8	1	10,50	5,25	3,50	2,63	2,10	1,75	1,50	13
10	0,5	12,00	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,71	15
10	1	12,00	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,71	15
12	0,4	14,00	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	2,00	17
12	1	14,00	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	2,00	17
14	0,5	16,00	8,00	5,33	4,00	3,20	2,67	2,29	19
16	0,5	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	2,57	21
16	0,8	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	2,57	21
16	1	18,00	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	2,57	21
18	1	20,00	10,00	6,67	5,00	4,00	3,33	2,86	23
20	1	22,00	11,00	7,33	5,50	4,40	3,67	3,14	25

7. Одржавање, руковање и заштита на раду

7.1 Одржавање тестере

Одржавање тестере је подељено на одржавање механичких, електричних и пнеуматских компоненти системи.

Одржавање електронских компоненти (серво-мотори, каблови, сензори и др.) су прописани од стране произвођача опреме и подразумевају правилну монтажу и употребу приликом експлоатације. Струјни и комуникациони каблови морају бити адекватно заштићени, а на покретним елементима вођени помоћу енергетских ланаца.

Механички системи се састоје од малог и великог линеарног система, склопа за сечење и главног погонског система. Линеарни системи се састоје од клизних стаза и линеарних лежајева и навојног вретена са навртком. Клизне стазе и навојна вретена се морају заштитити од металних опиљака, шпона и прашине тако да се спречи њихов улазак у унутрашњост кугличне навртке и линеарних кугличних лежајева. Избор кугличне навртке за навојно вретено и линеарних кугличних лежајева треба да буде са брисачима који уклањају све нечистоће са навојних вретена и клизних стаза. Најпогоднији начин за подмазивање кугличне навртке и линеарних кугличних лежајева је централни систем подмазивања који преко заједничког резервоара са мазивом врши периодично убризгавање масти у систем. Централни систем за подмазивање се може ручно активирати на сваких 100 сати од стране лица задуженог за подмазивање или се може аутоматизовати. Аутоматизовани систем за подмазивање је знатно скупљи али обезбеђује да систем увек буде адекватно подмазан. Други, једноставнији начин подмазивања је да се на навртку и линеарне лежајеве уграде мазалице и да се на сваких 100 сати рада врши ручно убризгавање одређене количине масти од лица задуженог за одржавање. Сваки произвођач прецизно прописује врсту мазива, количину и учесталост подмазивања. Линеарни систем не сме остати без средства за подмазивање јер ће у том случају настати оштећење.

Зупчасти каиш је главни преносник снаге за велики линеарни систем. На њему се мора контролисати затегнутост на сваких 100 часова рада. Такође се мора проверавати да ли су се појавила оштећења на каишу. У том случају се каиш одмах мења а иначе замена се врши после 10000 радних часова.

Пнеуматске компоненте морају имати радни притисак између 4 и 6 bar-а и одговарајући квалитет ваздуха. Напајање пнеуматског система ваздухом мора ићи преко такозване припремне групе која има задатак да изврши филтрирање ваздуха као и одстрањивање кондензоване воде. Оператери су дужни да пре пуштања система у рад преконтролишу притисак и присуство воде у припремној групи. Сва пнеуматска црева и спојеви не смеју испуштати ваздух.

На крају завршеног посла и на крају смене зона сечења као и свуда где је шпон присутан се морају очистити.

Тестера (алат за сечење) се прегледа пре пуштања у погон тестере као и на завршетку. Преглед се састоји од визуелног прегледа сечива по целом обиму. Сваки алат има прописан број резова за оптималне режиме сечења за различите материјале.

7.2 Руковање тестером

За адекватно руковање тестером оператери морају бити прописно обучени.

Подешавање рада тестере се може поделити на два дела: механичко и параметарско подешавање.

Механичко подешавање се састоји у припреми и монтажи бронзаних уложака и подешавања хода покретних пакнова, као и монтажа алата за сечење.

Обзиром да је тестера интегрисана у аутоматски рад линије само управљање тестером мора бити решено тако да омогући једноставан унос командних параметара.

Пре пуштања линије и тестере у рад потребно је извршити одређене пробе и синхронизацију. У првој проби веома је битно извршити проверу синхронизације кретања главних колица тестере са брзином цеви у линији. Ова проба се ради без сечења цеви (тестера (алат) се скине са осовине редуктора) да се не би угрозила сама тестера (алат за сечење). Овом пробом се симулира сечење јер стега стегне цев и прати се да ли је брзина главних колица иста као брзина цеви у линији.

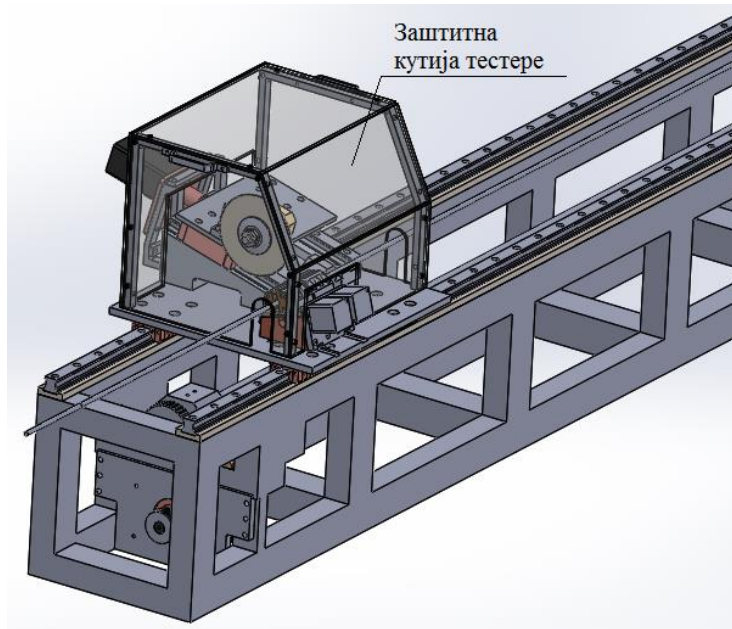
Након ове пробе врши се унос параметара који одређују ходове (главна и бочна колица) и карактеристике резања (број обртаја тестере, спори и брзи ходови). После овога, оператер је дужан да изврши пробно сечење без цеви и провери рад система. После финог подешавања потребно је извршити пробу сечења са цеви у стеги и додатно подесити све параметре уколико је потребно.

Пошто се сви параметри усагласе и подесе и изврши провера сечења могуће је линију пустити у рад, а са њом и тестеру.

У току рада, оператер је дужан да надгледа рад тестере и уколико је неопходно изврши потребне корекције. Уколико је потребно извршити већу поправку или корекцију, линија и тестера се морају зауставити па тек онда вршити поправка.

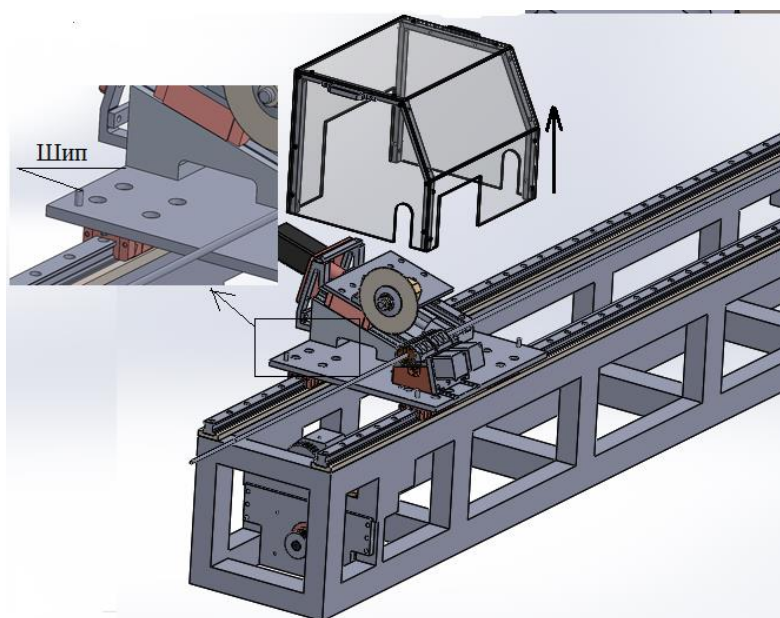
7.3 Заштита на раду

Зона сечења је обезбеђена затвореном провидном кутијом од плексигласа отпорног на удар. Кутија онемогућава несмотрени прилаз руком и самоповређивање оператора као и спречавање распрскавања рестере у случају хаваријског лома тестере.



Слика 61 - Положај заштитне кутије при раду линије

На главној носећој плочи постоје шипови на које налегну рупе у раму заштитне кутије па се ова кутија лако скида и ставља за потрбе подешавања или надгледања било које врсте. У зони где се ставља заштитна кутија на тестеру се налази микропрекидач који, уколико није активиран, онемогућава рад тестере. Овај сигурносни систем обезбеђује да оператор самоиницијативно не скине заштитну кутију у току рада тестере или не пусти тестеру у погон пре ствљања заштитне кутије.



Слика 62 - Скидање заштитне кутије након заустављања линије

Сви обртни делови (ременице, зупчасти каиш) су опасани заштитним лимом.

Главно навојно вретено је такође опасно заштитним лимом које има двоструку улогу: заштиту од шпона и спречавање додира са навојним вretenом.

Обзиром да је тестера високо аутоматизована и управљање тестером је параметарско, сва кретања тестере морају бити програмски ограничена у смислу максималних дозвољених брзина, броја обртаја и ходова. На линеарним системима се морају поставити сензори који ће контролисати граничне ходове, односно када се активира сензор граничног хода, тестера се мора искључити.

8. Закључак

Циљ овог завршног рада је био да конструишем аутоматску тестеру за сечење цеви у линији за производњу цеви. Ова тестера је део линије која се тренутно аутоматизује у фирми Elit Inox, где сам био на пракси. Главни циљ је био отклањање недостатака који су уочени на већ постојећој тестери, што је и учињено применом и избором најсавременијих решења која се односе на погон тестере, стезање цеви, вођење тестере, као и на само сечење (најквалитетнији алат за сечење, ново решење у погледу нападног угла сечења). Новим решењима би требало да се:

- уједначи дужина цеви
- повећа радни век тестере
- отклони кривљење танкозидних цеви приликом стезања цеви
- смањи ниво вибрација при сечењу и велика бука

Машине и опрема у фирми Elit Inox су на врло високом нивоу што је захтевало избор опреме за тестеру од водећих светских произвођача (серво-мотора, линеарних система и др.). Правилна монтажа и адекватно коришћење аутоматизоване тестере гарантују поуздан и прецизан рад без кварова и застоја, што је један од основних захтева континуиране линијске производње.

Сам концепт рада тестере је модуларно осмишљен и може се прилагодити и за друге потребе сечења као што је ванлинијско сечење других врста цеви и материјала. Уз измене за принцип стезања и измену погона сечења лако се долази до промене у намени тестере.

Конструкција тестере омогућава примену тестера (алата за сечење) потпуно различитих материјала и то HSS и карбидних материјала. У зависности од врсте цеви која се сече могуће је најоптималније одабрати алат и вишеструко повећати век трајања тестере. Смањењем вибрација, могућношћу финог подешавања режима сечења при уласку и изласку из цеви доказано је да се век трајања тестере продужава за 20 до 30%. Применом додатних елемената за побољшање сечења као што су додатно хлађење, додатно подмазивање лако испарљивим средствима, додатно се повећава век трајања тестере за 10 до 20%. Применом свих наведених елемената једна тестера би требало да изврши и до 10000 резова, уз поштовање потребних параметара. Најновија истраживања у проблематици сечења иду у правцу примене течног азота за потребе додатног хлађења зоне сечења. Ово су све нови елементи који се морају доказати експерименталним путем и додатно могу побољшати карактеристике сечења.

Уградња висококвалитетне опреме гарантује знатно виши век трајања најоптерећенијих делова конструкције и смањује потребу за периодичним интервенцијама за одржавање опреме. Познато је да отказ главних делова оваквих машина доводи до ремонта који трају више дана што је свакако неприхватљиво у условима високосеријске производње. Ово је главни разлог зашто је мој избор за већину опреме био од, иако скупљих, али поузданих и проверених произвођача опреме. Пракса показује да је правилно одржавање оваквих машина и опреме од кључне важности за континуирани рад у високосеријским производњама.

Правилним подешавањем и употребом машине за сечење, тестера ће показати знатно боље перформансе од постојећег решења.

Сам трошак израде и монтаже тестере у погонима Elit Inox-а би требало да направи уштеду од минимум 50% у односу на куповину готове машине која би била купљена од специјализованих произвођача овакве опреме.

Данашњи захтеви за високом производњом и потреба за деловима вишег квалитета довели су до тенденције ка све већој аутоматизацији. Аутоматизована опрема омогућава сечење цеви великим брзинама, интеграцију у линијски систем производње, аутоматску обраду крајева цеви после сечења, прање и паковање.

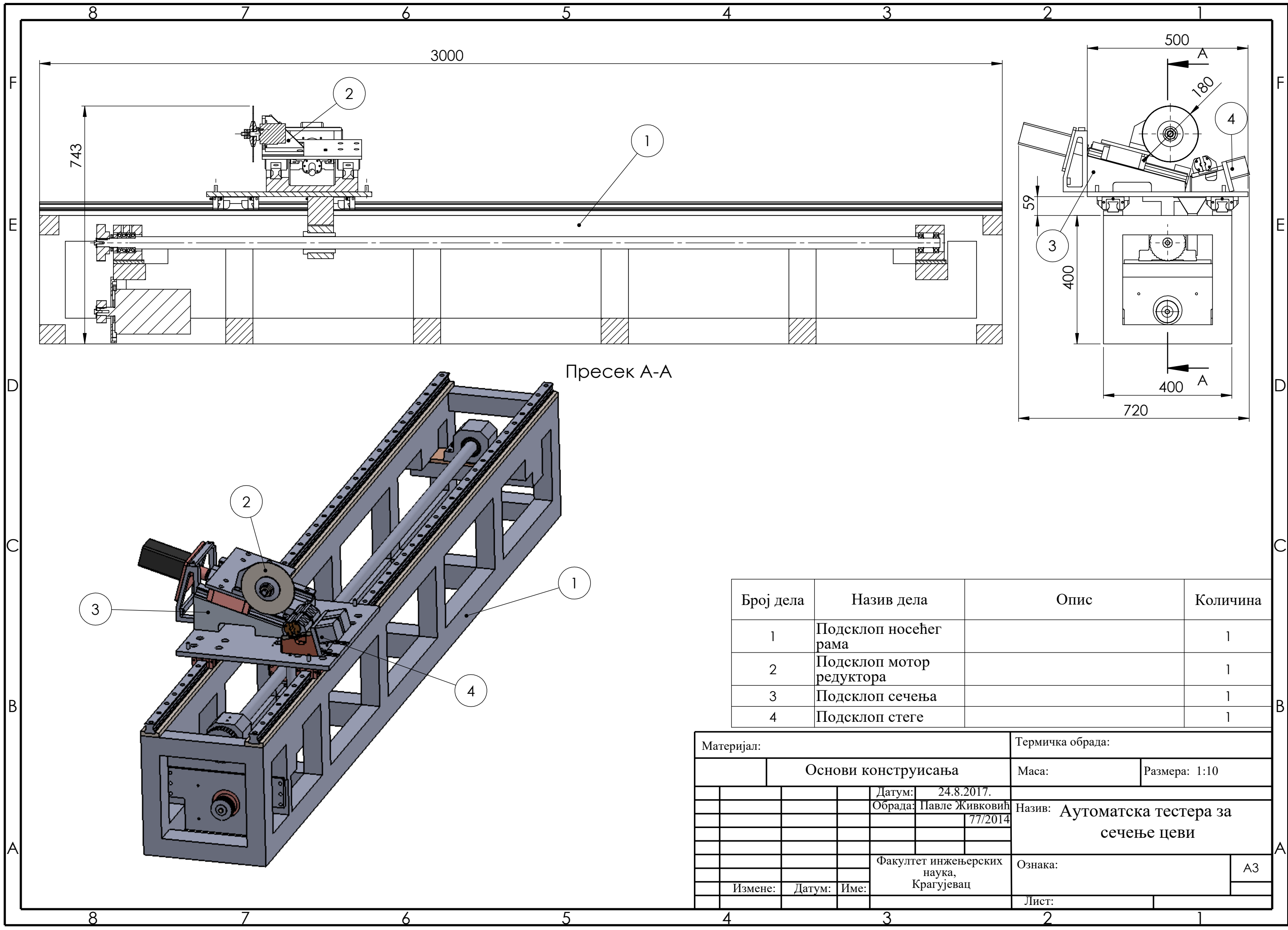
Континуирано праћење развоја технологије је нужна у савременој индустрији и мора се непрестано примењивати да би се одржао захтевани квалитет и конкурентност цене производа. То све позитивно утиче на задржавање поверења купаца и стварање конкурентне предности предузећа.

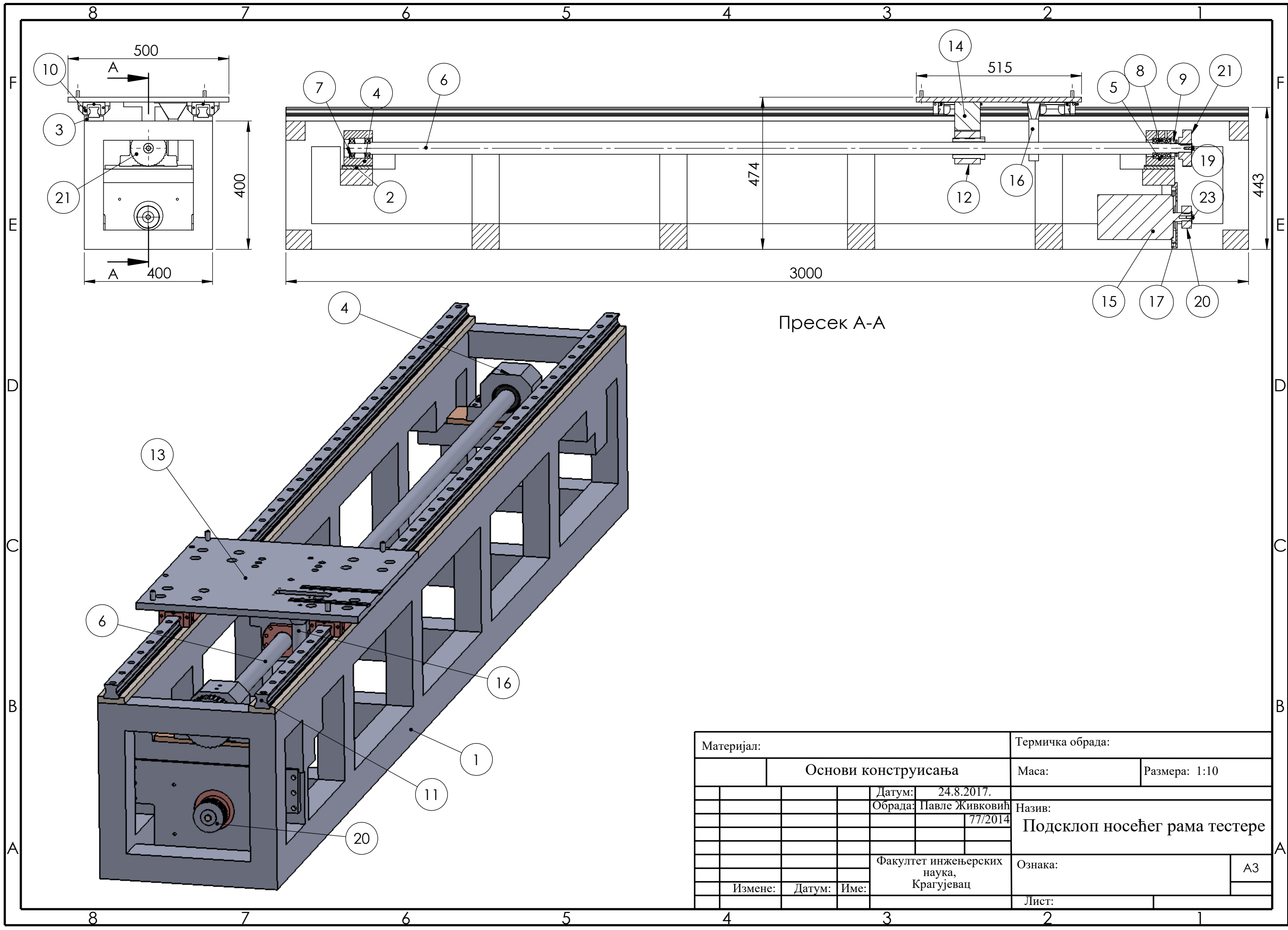
9. Литература

- [1] <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/linear-motion-technology/profiled-rail-systems/ball-rail-systems/index>, август 2017.
- [2] Rexroth Bosch Group: „Precision Ball Screw Assemblies“
- [3] Rexroth Bosch Group: „Ball rail systems“
- [4] <https://www.hennlich.si/proizvodi/linearni-pomiki-in-rotacija-krogelne-matice-in-navojnavretena-s-kroglicno-kletko-1189/sbk.html>, август 2017.
- [5] <http://www.schneider-electric.com/en/product/BMH1403P36F2A/servo-motor-bmh>, август 2017.
- [6] <http://www.vatgia.com/raovat/11885/13644304/ray-truot-bi-thanh-truot-vuong.html>, август 2017.
- [7] https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENUS/PDF/US/ADVC_ENUS.PDF, август 2017.
- [8] <http://www.schneider-electric.us/en/product/BMH0702P07A2A/servo-motor-bmh>, август 2017.
- [9] <https://www.wittenstein.de/de-de/produkte>, август 2017.
- [10] <http://www.abstools.rs/index.html>, јул 2017.
- [11] http://edn-neuhaus.de/wp-content/uploads/00001265_EDN-Catalogue-45.pdf, јул 2017.
- [12] www2.masfak.ni.ac.rs/uploads/articles/www2_vodjice_vezbe.pdf, август 2017.
- [13] Јовичић С., Марјановић Н., **Основи конструисања**, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, САД Лабораторија, Крагујевца, 2012.
- [14] Вера Николић, **Машински елементи**, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, САД Лабораторија, Крагујевца, 2004.

Техничка документација

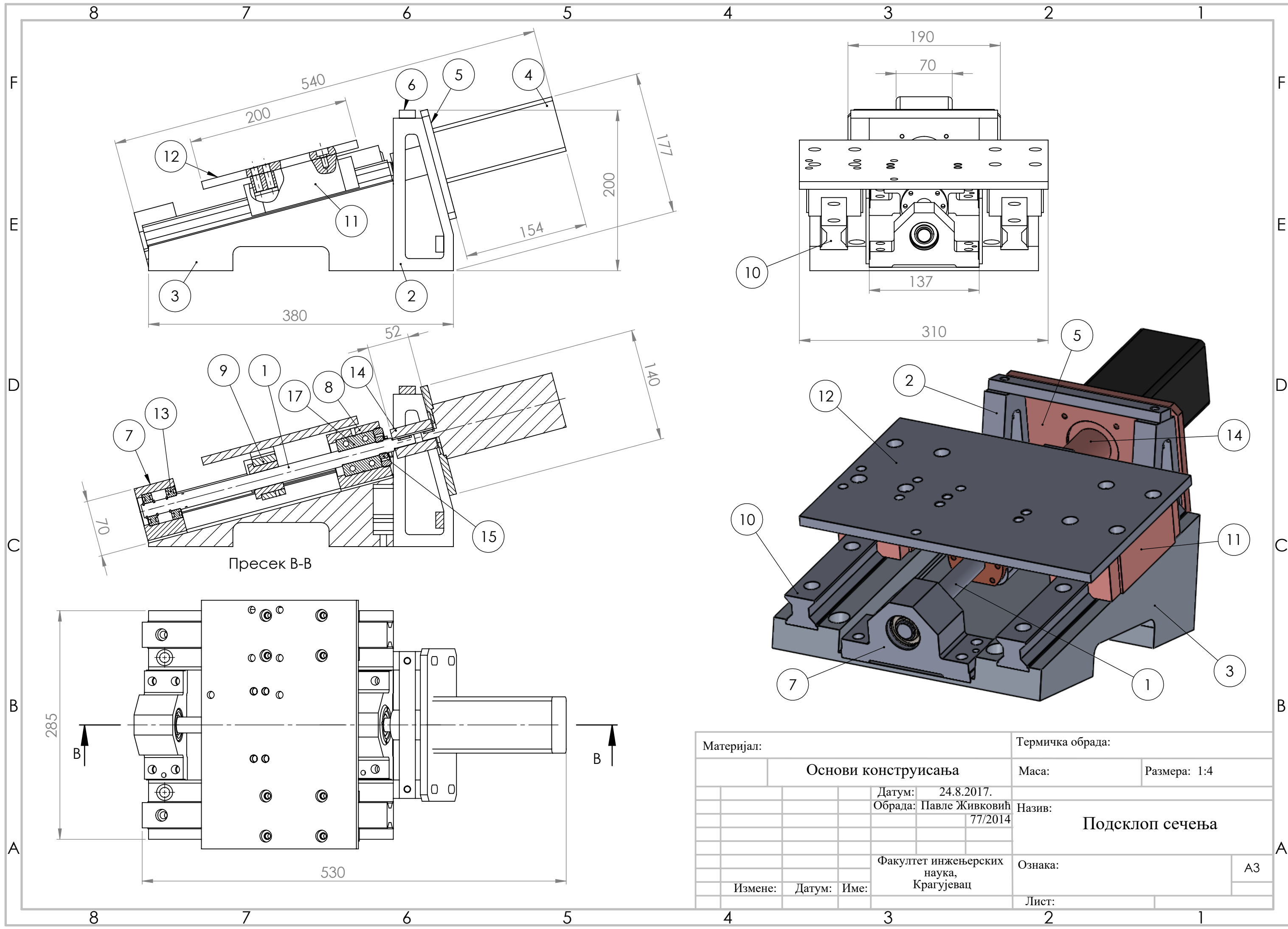
-Склоп и подсклопови-



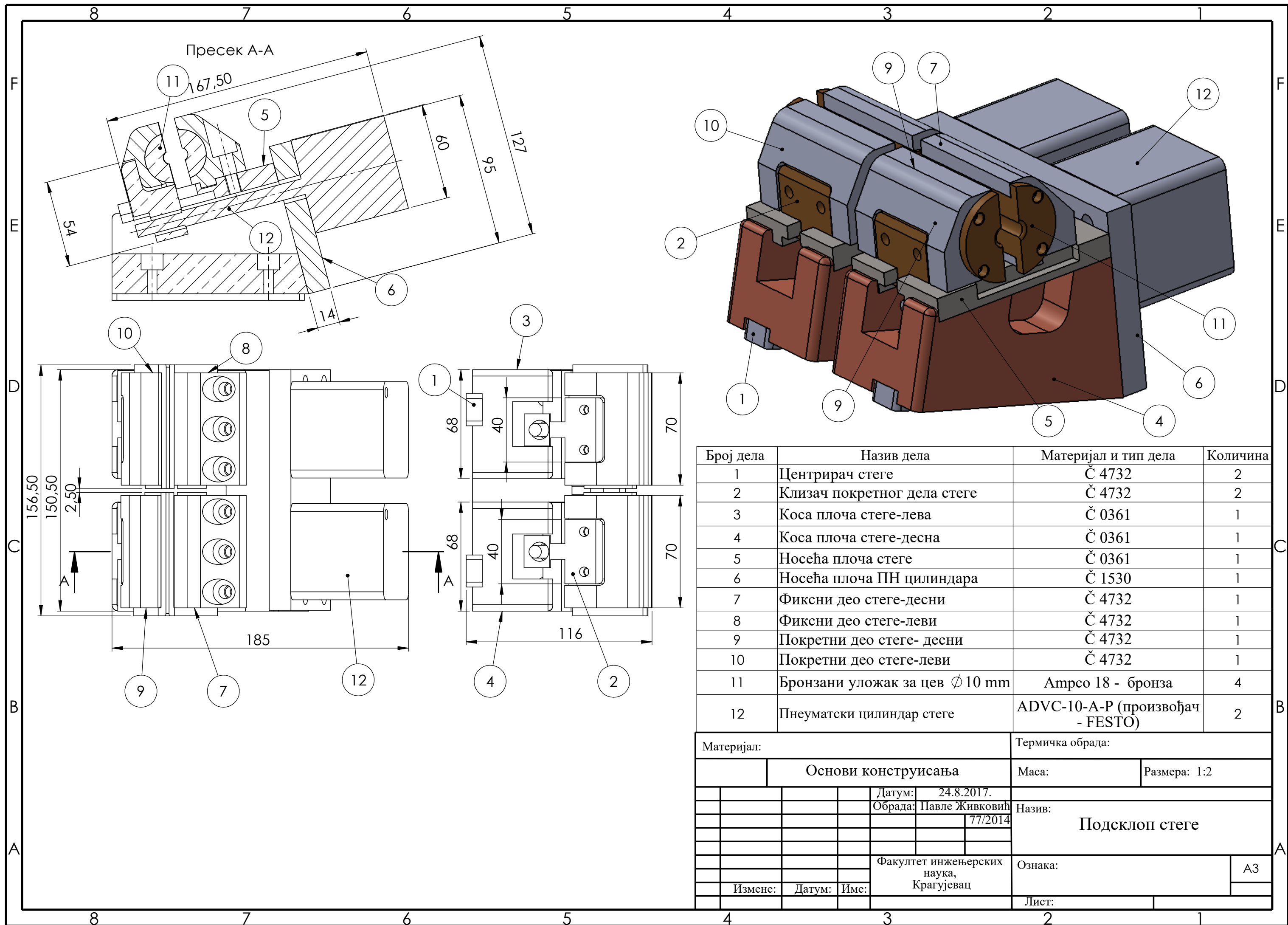


Материјал:						Термичка обрада:					
		Основи конструисања				Маса:			Размера: 1:10		
				Датум:	24.8.2017.						
				Обрада:	Павле Живковић		Назив: Подсклоп носећег рама тестере				
						77/2014					
				Факултет инжењерских наука, Крагујевац			Ознака:			А3	
	Измене:	Датум:	Име:								
							Лист:				

4				3		2		1	
Број дела		Назив дела		Материјал и тип дела				Количина	
1		Носећи рам		Ћ 0361				1	
2		Носећа плоча лежајева вретена		Ћ 0361(Носеће плоче лежајева заварити па у склопу машински обрадити)				2	
3		Носач клизне стазе		Ћ 0361(Носаче клизних стаза заварити па у склопу машински обрадити)				2	
4		Кућиште лежаја вретена на фиксном крају		Сет кућишта, лежаја и зегерових прстенова R1594_630_00				1	
5		Кућиште лежаја вретена на крају са ременицом		Сет кућишта, лежаја и навртке R1595_030_00				1	
6		Вретено		Drive unit AGK R1512_440_12				1	
7		Лежај на фиксном крају		Сет кућишта, лежаја и зегерових прстенова 1594_630_00				2	
8		Лежај на крају са ременицом		Сет кућишта, лежаја и навртке R1595_030_00				1	
9		Притезном навртком на крају са ременицом		Сет кућишта, лежаја и навртке R1595_030_00				1	
10		Клизни лежај		R1824_323x				4	
11		Клизна стаза		R1824_323x				2	
12		Склоп навртке и кућишта навртке		ZEM-E-S R1512_440_12				1	
13		Главна носећа плоча		Ћ 0361				1	
14		Адаптер за плочу		Ћ 0361				1	
15		Погонски мотор		BMH 1403				1	
16		Левак		Лим				1	
17		Клизна носећа плоча мотора		Ћ 1530				1	
18		Подлошка за велики каишник		Ћ 0361				1	
19		Завртањ		DIN EN 24018 - M8 x 20-WN				1	
20		Мали каишник		Ø 65				1	
21		Велики каишник		Ø 110				1	
22		Подлошка за мали каишник		Ћ 0361				1	
23		Завртањ		DIN EN 24014 . M8 x 40 x 22-N				1	
Материјал:						Термичка обрада:			
		Основи конструисања				Маса:		Размера:1:1	
				Датум: 24.8.2017.		Назив: Подсклоп носећег рама - спецификација			
				Обрада: Павле Живковић					
				77/2014					
				Факултет инжењерских наука, Крагујевац		Ознака:		A4	
Измене:		Датум:							
		Име:							
						Лист:			



				4		3		2		1		
F E D C B	Број дела		Назив дела		Материјал и тип дела				Количина			
	1		Вретено		Drive unit AGK R1512_140_12				1			
	2		Коси носећи рам мотора		Ћ0361				2			
	3		Алуминијумско кућиште		Алуминијум				1			
	4		Погонски мотор		BMH 0702				1			
	5		Носећа покретна плоча мотора BMH 0702		Ћ 0361				1			
	6		Попречна утега косог носећег рама		Ћ 0361				2			
	7		Кућиште лежаја за вретено на фиксном крају		Сет кућишта, лежаја и зегерових прстенова R1594_615_00				1			
	8		Кућиште лежаја за вретено на покретном ослоњу		Сет кућишта, лежаја и навртке R1594_012_00				1			
	9		Склоп навртке вретена и кућишта навртке		ZEM-E-S R1512_140_12				1			
	10		Клизна стаза		R2000_793_30				2			
	11		Клизни лежај		R2000_793_30				2			
	12		Носећа плоча тестере		Ћ 0361				1			
	13		DIN 625 - 6203 - 10,SI,NC,10_68		Сет кућишта, лежаја и зегерових прстенова R1594_615_00				2			
	14		Спојница		Еластична спојница				1			
	15		Притезна навртка за лежај		Сет кућишта, лежаја и навртке R1594_012_00				1			
	16		Зегеров прстен		Сет кућишта, лежаја и зегерових прстенова R1594_615_00				3			
17		Лежај за вретено на покретном ослоњу		Сет кућишта, лежаја и навртке R1594_012_00				1				
Материјал:					Термичка обрада:							
					Основи конструисања				Маса:		Размера:1:1	
					Датум:		24.8.2017.		Назив: Подсклоп сечења - спецификација			
					Обрада:		Павле Живковић					
							77/2014					
					Факултет инжењерских наука, Крагујевац				Ознака:		A4	
Измене:		Датум:		Име:								
					Лист:							
				4		3		2		1		
				4		3		2		1		



4	3	2	1																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">Број дела</th> <th style="width: 35%;">Назив дела</th> <th style="width: 40%;">Материјал и тип дела</th> <th style="width: 10%;">Количина</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Адаптер осовине за тестеру</td> <td>Ћ 4732.4</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Носач мотор редуктора</td> <td>Ћ 1530</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Осовина</td> <td>Ћ 4732.4</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>Мотор редуктор</td> <td>TPM dynamic 004</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td>Тестера</td> <td>HSS</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td>Клин за осовину и адаптер тестере</td> <td>Ћ 0361</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td>Навртка</td> <td>Hexagon Nut DIN 6915 - M20-N</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> </table>				Број дела	Назив дела	Материјал и тип дела	Количина	1	Адаптер осовине за тестеру	Ћ 4732.4	2	2	Носач мотор редуктора	Ћ 1530	1	3	Осовина	Ћ 4732.4	1	4	Мотор редуктор	TPM dynamic 004	1	5	Тестера	HSS	1	6	Клин за осовину и адаптер тестере	Ћ 0361	1	7	Навртка	Hexagon Nut DIN 6915 - M20-N	2
Број дела	Назив дела	Материјал и тип дела	Количина																																
1	Адаптер осовине за тестеру	Ћ 4732.4	2																																
2	Носач мотор редуктора	Ћ 1530	1																																
3	Осовина	Ћ 4732.4	1																																
4	Мотор редуктор	TPM dynamic 004	1																																
5	Тестера	HSS	1																																
6	Клин за осовину и адаптер тестере	Ћ 0361	1																																
7	Навртка	Hexagon Nut DIN 6915 - M20-N	2																																
Материјал:		Термичка обрада:																																	
Основи конструисања		Маса:	Размера: 1:1																																
Датум: 24.8.2017. Обрада: Павле Живковић 77/2014 Назив: Подсклоп мотор редуктора - спецификација																																			
Имене: Датум: Име: Факултет инжењерских наука, Крагујевац Ознака:		A4																																	
Лист:																																			
4	3	2	1																																

