Универзитет у Крагујевцу Факултет инжењерских наука
E-mail: dekan@fink.rs
Др Слободан Савић
Датум: 23.02.2024. године

Поштовани,

На основу Вашег захтева број: 01-1/57-21 од 18.01.2024. године за потврду оцене техничког решења под називом **Мултифункционални уређај за мерење кинематског коефицијента трења и испитивање процеса микрорезања,** чији су аутори: доц. др Владимир Кочовић, др Соња Костић, професор струковних студија, др Бојан Богдановић, доц. др Сузана Петровић, проф. др Ђорђе Вукелић, проф. др Бранко Тадић. Реализовано 2018. Примењује се од 2018. Тражена категорија М82 – Ново техничко решење примењено на националном нивоу.

Обавештавам Вас следеће:

Након прибављених мишљења о наведеном техничком решењу чланови МНО за машинство и индустријски софтвер су их, на седници одржаној 23.02.2024. године, разматрали и сачинили предлог да техничко решење под називом **Мултифункционални уређај за мерење кинематског коефицијента трења и испитивање процеса микрорезања,** чији су аутори: доц. др Владимир Кочовић, др Соња Костић, професор струковних студија, др Бојан Богдановић, доц. др Сузана Петровић, проф. др Ђорђе Вукелић, проф. др Бранко Тадић. Реализовано 2018. Примењује се од 2018. **ИСПУЊАВА** све услове предвиђене Правилником о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник РС", бр. 159/20 од 30. децембра 2020.) за доделу категорије М82 - Ново техничко решење примењено на националном нивоу.

Предлог се доставља НИТРА РС ради процене и прихватања истог.

Председник МНО

за машинство и индустријски софтвер

Проф. др Зоран Миљковић

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Факултет инжењерских наука
Број: 01-1/57-21
18.01.2024. године
Крагујевац

На предлог Катедре за производно машинство (број 01-1/38 од 10.01.2024. године) а на основу чланова 1 и 3. став 5. Правилника о стицању истраживачких и научних звања (Сл. гл. РС бр. 159/2020 и 14/2023) и члана 173 Статута Факултета инжењерских наука у Крагујевцу (бр. 01-1/2700 од 17.08.2023. год. – пречишћен текст), Наставно-научно веће Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, на седници одржаној 18.01.2024. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се пријава техничког решења под насловом: „**Мултифункционални уређај за мерење кинематског коефицијента трења и испитивање процеса микрорезања**“ чију су аутори: доц. др Владимир Кочовић, др Соња Костић, професора струковних студија, др Бојан Богдановић, доц. др Сузана Петровић Савић, проф. др Ђорђе Вукелић и проф. др Бранко Тадић.

II Техничко решење се упућује Матичном одбору за машинство и индустријски софтвер.

Одлуку доставити:
- Матичном одбору Министарства
- Ауторима
- Архиви

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

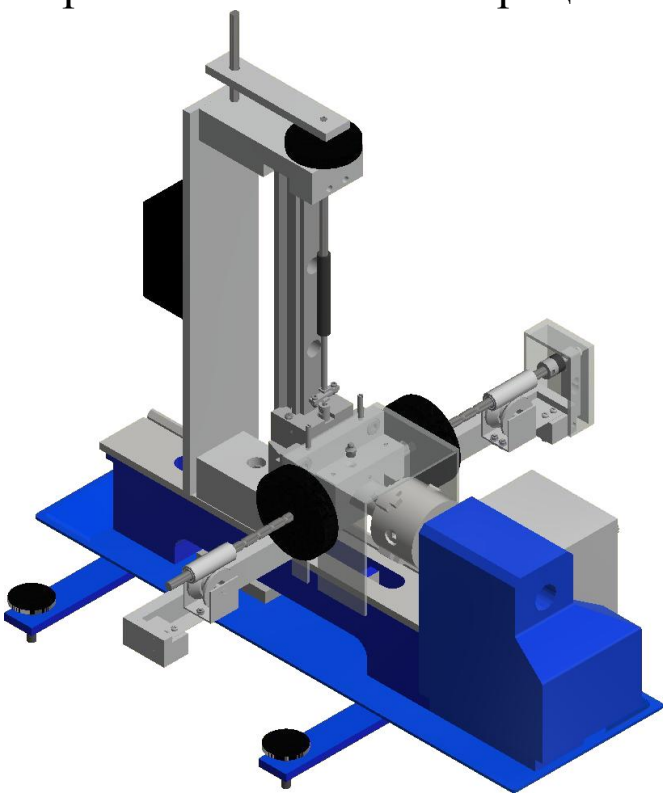
Др Слободан Савић, редовни професор

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

M82 Ново техничко решење примењено на националном нивоу

Мултифункционални уређај за мерење кинематског коефицијента трења и испитивање процеса микрорезања



АУТОРИ

др Владимир Кочовић, доцент
др Соња Костић, професор струковних студија
др Бојан Богдановић, сервисер и програмер
др Сузана Петровић Савић, доцент
др Ђорђе Вукелић, редовни професор
др Бранко Тадић, редовни професор

Крагујевац, 2024. год

Подаци о техничком решењу

Врста техничког решења	М82 – Ново техничко решење примењено на националном нивоу
Аутори техничког решења	др Владимир Кочовић[1], доцент др Соња Костић[2], професор струковних студија др Бојан Богдановић[3], сервисер и програмер др Сузана Петровић Савић[1], доцент др Ђорђе Вукелић[4], редовни професор др Бранко Тадић[1], редовни професор [1] Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу [2] Академија струковних студија Шумадија, Одсек Крагујевац [3] „Hexagon metrology“, Крагујевац [4] Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду
Назив техничког решења	Мултифункционални уређај за мерење кинематског коефицијента трења и испитивање процеса микрорезања
Кључне речи	Трибометар, трење клизања, завршна обрада, обрада микро резањем, цилиндрични предмет обраде
Наручилац техничког решења	СЗР Машинг Драгослава Стефановића 34, Крагујевац
Корисник техничког решења	Академија Струковних Студија Шумадија, Одсек Крагујевац
Година израде техничког решења	2018.
Година када је почело да се примењује техничко решење	2018.
Верификација резултата	Резултати решења су објављени у раду: Vukelic D, Kanovic Z, Sokac M, Santosi Z, Budak I, Tadic B, Modelling of Micro-Turning Process Based on Constant Cutting Force, International Journal of Simulation Modelling, Vol. 20, No. 1, pp. 146-157, 2021. https://doi.org/10.2507/ijsimm20-1-553
Ко је прихватио техничко решење	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Начин коришћења техничког решења	Уређај се примењује за лабораторијска испитивања кинематског коефицијента трења различитих контактних парова при различитим нивоима оптерећења и различитим брзинама клизања. Такође, развијени уређај се користи за потребе испитивања процеса микрорезања у ком се контрола дубине резања остварује преко силе продирања резног алата у материјал предмета обраде.
Област на коју се техничко решење односи	Машинско инжењерство: трибологија, обрада метала резањем

1. ОПИС ПРОБЛЕМА КОЈИ СЕ РЕШАВА ТЕХНИЧКИМ РЕШЕЊЕМ

Трење је комплексан феномен који се јавља на површинама делова у контакту. Као такво, трење је предмет интересовања већ више од 400 година [M. I. Hutchings (2016)]. Коефицијент трења је карактеристичан за сваки трибомеханички систем. Познавање коефицијената трења од суштинског је значаја током развоја, одржавања и оптимизације парова у контакту који се примењују у индустријским системима. Међутим, извори литературе не могу увек бити поуздани када је реч о коефицијентима трења. Проблеми су пре свега везани за непознате околности под којима су подаци неведени у литератури добијени, односно мерени, с обзиром на то да вредности коефицијената трења варирају од једне лабораторије до друге, у зависности од опреме за мерење, методологије мерења и других многобројних фактора који утичу на коначне резултате. J. P. Blau (2001) извештава о најчешће коришћеним, стандардно дефинисаним методама мерења за добијање статичких или кинематских коефицијената трења, као и начинима њихове примене. Бројни фактори утичу на вредности коефицијената трења, пре свега: материјали, оптерећење, храпавост површине, брзина клизања, начин клизања, подмазивање, мазива, температура, влажност, итд. [J. P. Blau (2001); B. Polyakov (2012)]. Бројни истраживачи су проучавали утицај претходно наведених фактора на феномен трења, фокусирајући се углавном на методе мерења и моделирања [L. Kogut (2004); Y. Fujii (2008); I. Dickey (2011); Y. Zhou (2015); D. H. Cho (2016); T. Yue (2017)]. Дакле, може се закључити да методе мерења и уређаји значајно утичу на поузданост резултата мерења. Ово је посебно тачно ако се размотре проблеми везани за постизање идентичних услова у вези са микрогеометријом контактних парова, односно параметрима храпавости површине. Vukelic и аутори (2021) описују нови теоријски модел за одређивање кинематског коефицијента трења, коришћењем стрме равни и повезивањем кинематског коефицијента трења и енергије. Метод предложен у овом раду може се ефикасно користити у стварним индустријским апликацијама, односно за стварне контакте, при чему се добија средња вредност коефицијента трења при кретању тела 2 по телу 1 на задатој путањи одређене дужине.

Многи истраживачи широм света предлажу моделе за мерење кинематског коефицијента трења у условима који ограничавају могућност промене дела утицајних параметара [D. Vukelic, (2021); Lj. Brzakovic (2022)] . Велики број ограничења при испитивању кинематског коефицијента трења иницирало је развој уређаја који омогућује варијацију нормалне силе, брзине клизања, пређеног пута, облика контакта, испитивање са и без подмазивања са могућношћу промене протока и врсте уља а све у циљу свеобухватног изучавања кинематског коефицијента трења у реалном времену.

Непрестана тежња индустрије за постизањем боље димензионе и геометријске тачности предмета обраде доводи до унапређења постојећих и проналажења нових начина обраде. Принцип обраде метала резањем значајније се није мењао последњих деценија. Сва унапређења процеса производње односила су се на развој нових резних алата и алатних материјала, унапређење стезних прибора, проналажење нових система стезања, као на развоју прецизнијих алатних машина [Caixu Yue (2015)]. Обрада метала резањем комерцијалним методама се изводи задатом дубином резања која се због грешака алатне машине никада не може прецизно остварити. Грешке израде комада на CNC (Computer numerical control) машинама се могу поделити у пет група:

- геометријске грешке настале производњом и састављањем делова машине (пре свега делова система кретања),

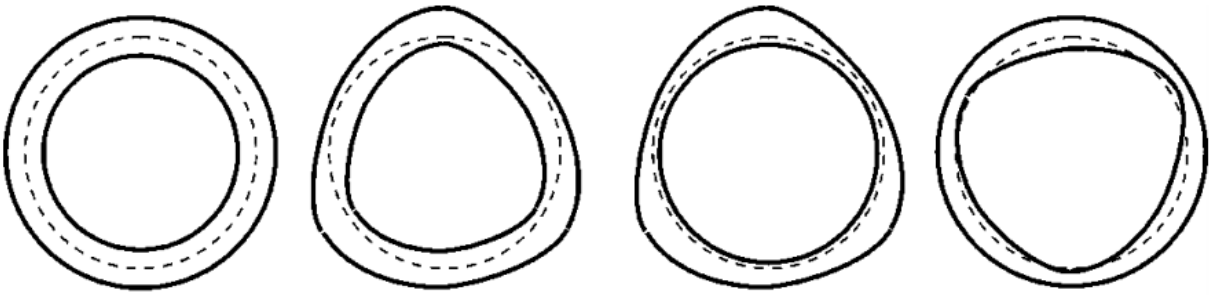
- грешке узроковане термичким ширењем делова машине које су последица унутрашњих и спољашњих генератора топлоте,
- грешке деформације изазване силама резања, силама стезања, итд,
- грешаке управљачког система које се пре свега односе на брзину одзива управљачких компоненти,
- грешке у кретању алата која је последица несавршености вретеништа машине [R. Ramesh (2000)].

Грешка обраде која је последица термичких деформација делова машине може имати удео у износу чак 40 % - 70 %. Удео ове грешке се повећава са повећањем захтеване димензионе тачности дела [J. Bryan (1990); Yuan Kang (2007); Q. J. Guo (2010); Y. Zhang (2012)].

Топлота која се генерише процесом производње последица је трења у систему кретања, процеса резања, претварања електричне енергије у топлотну, варијације температуре околине, зрачења других извора топлоте на алатну машину, итд. Због сложености процеса праћења и система преноса топлоте изузетно је тешко успоставити зависност тачности израде комада од температуре конструктивних елемента алатне машине. Научници широм света покушавају применом различитих техника праћења да успоставе ову зависност како би се компензовале грешке система кретања које су последица термичког ширења елемената овог система. Компензација грешке кретања алата услед термичких ширења компоненти система кретања у реалном времену се састоји из два корака. Први корак подразумева обимна експериментална истраживања на коришћеној алатној машини чији је циљ одређивање утицаја различитих извора топлоте на положај осе резног алата у простору. Други корак представља израду управљачког система који ће на основу измерене температуре у одређеним зонама алатне машине претпоставити настала термичка ширења и приликом позиционирања алата узети у обзир настале промене [Gangwei Cui (2012); Li Yang (2015)].

Поред грешке услед термичког ширења елемената система кретања машине на димензиону и геометријску тачност предмета обраде утиче и еластична деформација предмета обраде која настаје као последица облика стезача, распореда стезача, начина стезања, силе стезања, силе резања итд. Многи итраживачи широм света нумеричким и другим методама одређују облик и величину еластичне деформације танкозидних предмета обраде у циљу предвиђања грешке која ће се јавити у процесу обраде [M. Estrems (2015); U. Heisel (2010); Jans Sölter (2011)]. Утицај еластичне деформације цилиндричног предмета обраде, која је последица силе стезања, на грешке обрађеног цилиндра могуће је умањити али не и потпуно елиминисати системом адаптивне контроле силе стезања, чијим се развојем баве многи истраживачи [U. Župerl (2010); Dirk Stöbener (2013)].

Стезање танкозидних предмета обраде универзалним стезним прибором као што је стезна глава са три елемента за стезање, која се у пракси најчешће користи, такође изазива еластичну деформацију предмета обраде. Након базирања и стезања предмета обраде, резном алату се задаје дубина резања која је променљива због елиптичног облика предмета обраде. Разлика у дубини резања условиће разлике у дебљини зида предмета обраде, па ће по нестанку силе стезања нестати и еластичне деформације дела што ће узроковати девијацију кружности обрађене површине. Промена облика цилиндричног предмета обраде у свакој фази процеса обраде унутрашње цилиндричне површине приказана је на слици 1.

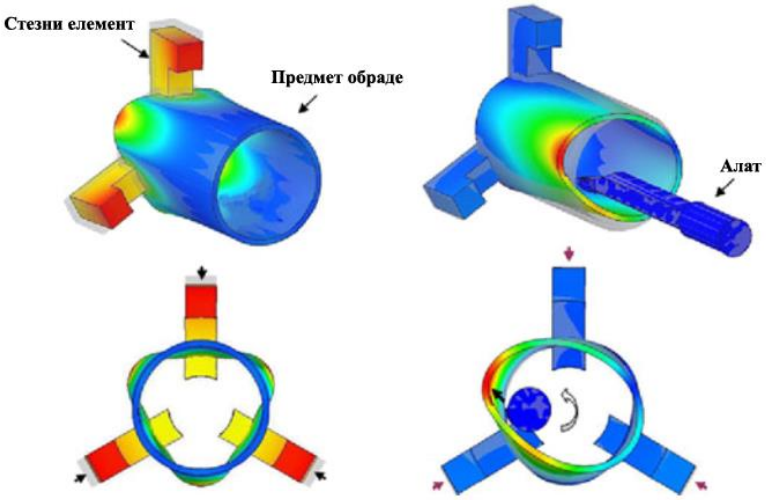


Пре обраде Стегнут Обрађен Финални производ

Слика 1 – Промене облика танкозидног цилиндра током процеса обраде [V. Kocovic (2022)]

На слици 1 приказан је пример обраде унутрашње цилиндричне површине, при чему се обрадак стеже по спољашњој цилиндричној површини. Анализиране еластичне деформације настају и у случају обраде спољашње цилиндричне површине обрадка који је стегнут са три стезна елемента преко унутрашње цилиндричне површине.

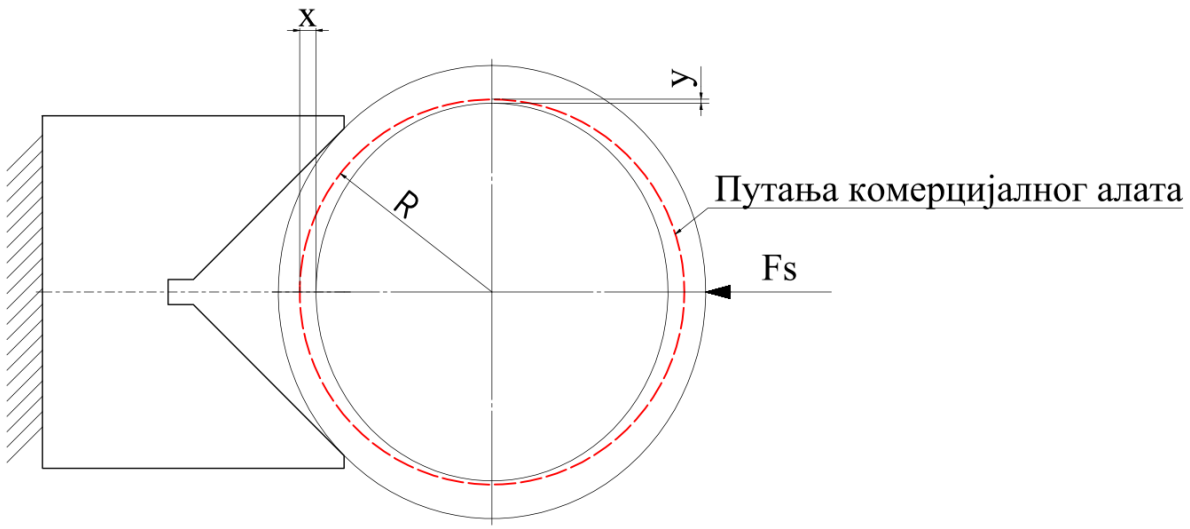
Димензиона тачност предмета обраде зависи и од еластичних деформација које настају као последица силе продирања алата у материјал предмета обраде. Нумеричка анализа насталих деформација танкозидних предмета обраде током процеса обраде резањем показује утицај силе стезања и силе резања на деформацију предмета обраде (слика 2).



Слика 2 – Деформације танкозидног цилиндра током процеса обраде [U. Heisel (2010)]

Истраживања које су спровели U. Heisel & C. Kang (2010), недвосмислено указују на грешке облика цилиндричних танкозидних предмета обраде које настају као последица силе стезања и задате дубине резања. Са смањењем дебљине зида предмета обраде и модула еластичности материјала предмета обраде, смањује се крутост дела и овећавају грешке израде. Разлика у оствареној и задатој дубини резног алата настаје као последица геометрије резног алата, стања алата, режима обраде итд. Описани проблеми израде танкозидних предмета мале крутости јасно указују на потребу за променом начина постизања жељене дубине резања.

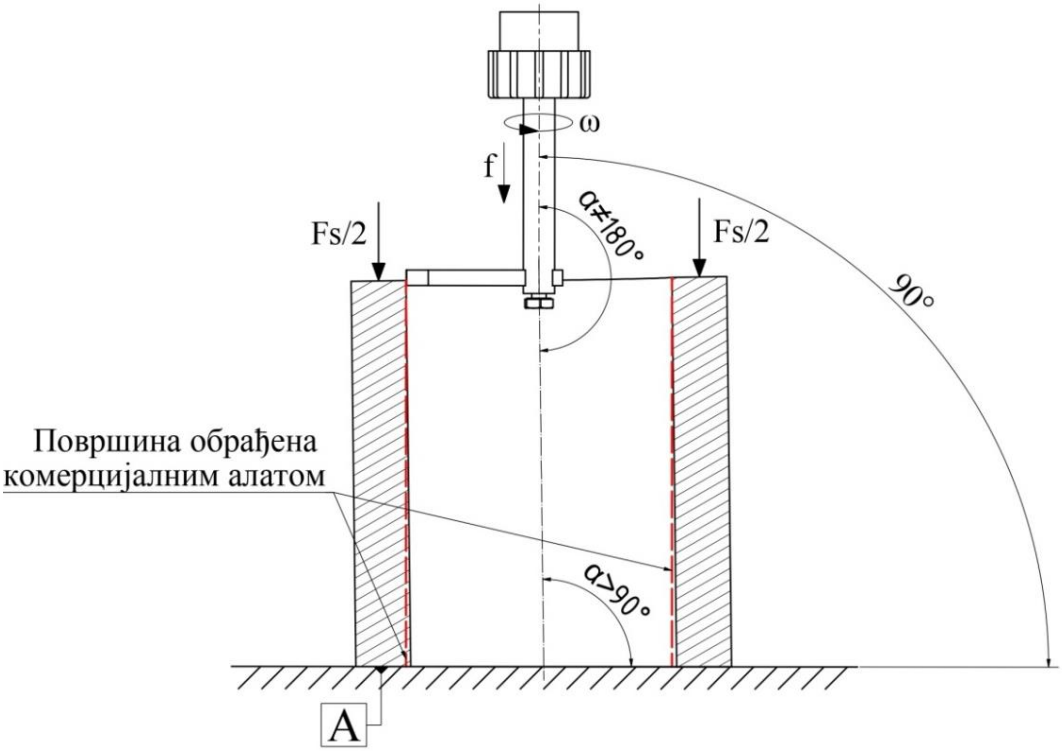
На слици 3 шематски је приказана грешка дубине резања настала као последица силе стезања цилиндричног предмета обраде у призми.



Слика 3 – Шематски приказ промене дубине резања услед еластичних деформација предмета обраде [V. Kocovic (2020)]

Како се стезање цилиндричних предмета обраде обично врши у призмама одговарајуће величине и угла, сила стезања обезбеђује добро налегање предмета обраде на базне површине приликом процеса обраде. У току процеса обраде интензитет, правац и смер силе резања се мења па се сила стезања бира тако да се у најнеповољнијим условима динамичког напрезања обезбеди једнозначно дефинисан положај предмета обраде. Задатак силе стезања је уравнотежење сила резања. Реална вредност силе стезања треба да буде знатно већа од прорачунате вредности због многобројних утицајних фактора који прорачуном силе стезања нису обухваћени (храпавост базних површина предмета обраде, стање резног алата, режими обраде, прекидно или непрекидно резање, дозвољено одсупање силе стезања, итд) [B. Tadić (2013)]. Међутим, утицај интензитета силе стезања, танкозидних цилиндричних предмета обраде опада са порастом пречника и смањењем дебљине зида предмета обраде. Еластичне деформације које настају овим начином стезања значајно мењају облик танкозидних предмета обраде великог пречника [M. Maračeková (2012)]. Тако предмет обраде кружног попречног пресека поприма облик елипсе, при чему је велика полуоса елипсе управна на силу стезања. Промена облика попречног пресека предмета обраде узрокује минималну дубину резања у правцу велике полуосе и максималну дубину резања у правцу мале полуосе при унутрашњој цилиндричној обради. При обради спољашње цилиндричне површине максимална дубина резања јавиће се у правцу велике полуосе а минимална у правцу мале полуосе. Кружна путања комерцијалног резног алата приказана је црвеном испрекиданом линијом на слици 3. Разлика у дубини резања доводи до разлике у дебљини зида предмета обраде након процеса обраде. Након извршене обраде, предмет обраде се растерећује при чему нестају еластичне деформације. Релаксација материјала мења кружни облик попречног пресека обрађеног цилиндра у елиптични. Приказани пример јасно показује грешке обраде комерцијалним резним алатима узроковане силом стезања танкозидних цилиндричних предмета обраде.

У циљу елиминисања грешке облика која је последица обраде еластично деформисаног танкозидног цилиндричног предмета обраде, предмет обраде се може ослањати по базној површини *A* а стезати управно на ту површину (слика 4).

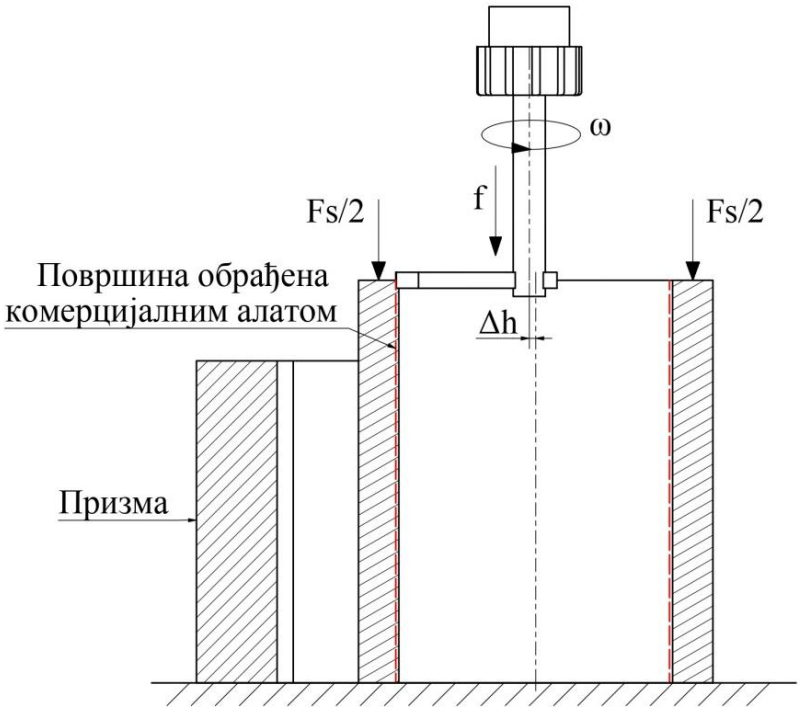


Слика 4 – Шематски приказ одступања дубине резања услед грешака базирања [V. Kocovic (2020)]

На слици 4 приказан је случај обраде унутрашње цилиндричне површине комерцијалним алатом, при чему оса предмета обраде и оса вретеништа машина заклапају угао различит од 180°. Овај угао може бити последица: оштећења базних површина, нечистоће, као и грешака претходне обраде цилиндра одсецањем. Осе тела ексцентичног резног алата и цилиндра предмета обраде секу се само у равни у којој се врши подешавање алатне машине за обраду одабраним алатом. Обрада резањем се изводи ротацијом ексцентричног резног алата угаоном брзином ω и посмаком f. Продирање алата у дубину обрађиваног цилиндра доводи до већег мимоилажења осе алата и осе обрађиваног цилиндра, што наводи на закључак да се са повећањем дужине цилиндра грешка облика повећава. Површина обрађена комерцијалним алатом у описаном случају приказана је испрекиданом црвеном линијом на слици 4 [V. Kocovic (2022)]. Идентична грешка израде јавља се и при обради спољашње цилиндричне површине.

Дозвољено одступање величине спољашњег пречника цилиндричног предмета обраде које се базира у призми, може довести до грешке базирања услед пропадања или издизања предмета обраде из призме.

Ова промена пречника доводи до мимоилажења осе цилиндра и осе вретена машине за вредност *„Δh“* што је шематски приказано на слици 5. Несаосност предмета обраде и вретеништа алатне машине доводи до разлике у дубини резања по обиму цилиндра. Несаосност већа од жељене дубине резања условљава прекидно резање, тј. обраду дела цилиндричне површине било да се ради о унутрашњој или спољашњој цилиндричној површини.



Слика 5 – Шематски приказ обраде унутрашње цилиндричне површина резањем при мимоилажењу оса вретеништа машине и предмета обраде [V. Kocovic (2020)]

Црвеном испрекиданом линијом приказана је површина коју описује резни алат. С обзиром да је мимоилажење оса вретеништа машине и предмета обраде веће од жељене дубине резања део цилиндричне површине није обрађен (слика 5, десна испрекидана црвена линија), док је део обрађен дубином већом од жељене (слика 5, лева испрекидана црвена линија).

Грешке облика и димензије предмета обраде настале обрадом цилиндричних предмета у приказаним случајевима су уобичајене и врло честе при обради комерцијалним методама. Унапређење поступка обраде може умањити описане грешке али недовољно. У циљу минимизације описаних грешака потребно је развити нову методу обраде, при чему се не задаје дубина резања коју је немогуће остварити због описаних проблема, већ се дубина остварује и контролише силом продирања резног алата у материјал предмета обраде. Сила продирања ће у том случају бити функција материјала предмета обраде, храпавости површине предмета обраде, облика резног алата, геометрије резног алата, стања резног алата, итд. Због великог броја утицајних величина неоходно је извести опсежна експериментална истраживања која ће претходити индустријској примени предложене методе. Фундаменталне промене су настале као последица несавршености комерцијалних метода и немогућности постизања димензионе и геометријске тачности. Овај проблем је посебно изражен код малих и средњих предузећа која поседују машине старије генерације, чија је тачност смањена због дугог периода експлоатације. Један од циљева предложене методе је и омогућавање постизања задовољавајуће димензионе и геометријске тачности израде на машинама смањене тачности у циљу повећања конкурентности мањих и предузећа са ограниченим економским капацитетима.

2. СТАЊЕ РЕШЕНОСТИ ПРОБЛЕМА У СВЕТУ

Савремена индустрија последњих година улаже велике напоре у усавршавање постојећих и проналажење нових начина завршне обраде метала. Најчешће коришћени видови завршне обраде представљају изузетно „прљаве“ и еколошки неприхватљиве методе, којима се обрада може изводити само на макро нивоу. Због строгих еколошких прописа и непрестане тежње за смањењем димензија машинских делова на најмању могућу меру, тако да оно ни на који начин не утиче на функционалност, јавља се потреба за развојем еколошки прихватљивог алата за завршне обраде на микро нивоу. Развој ових алата представља услов за будући технолошки развој широког спектра производа. Развијени алати морају компензовати све несавршености у системима кретања машина, због којих се јављају озбиљна димензиона одступања предмета обраде. Другим речима развијени алати за микро обраду се морају суштински разликовати од конвенционалних алата и принципа обраде. Међутим, постоје изазови и ограничења у микро обради па се микро обрада не може посматрати као смањени процес макро обраде.

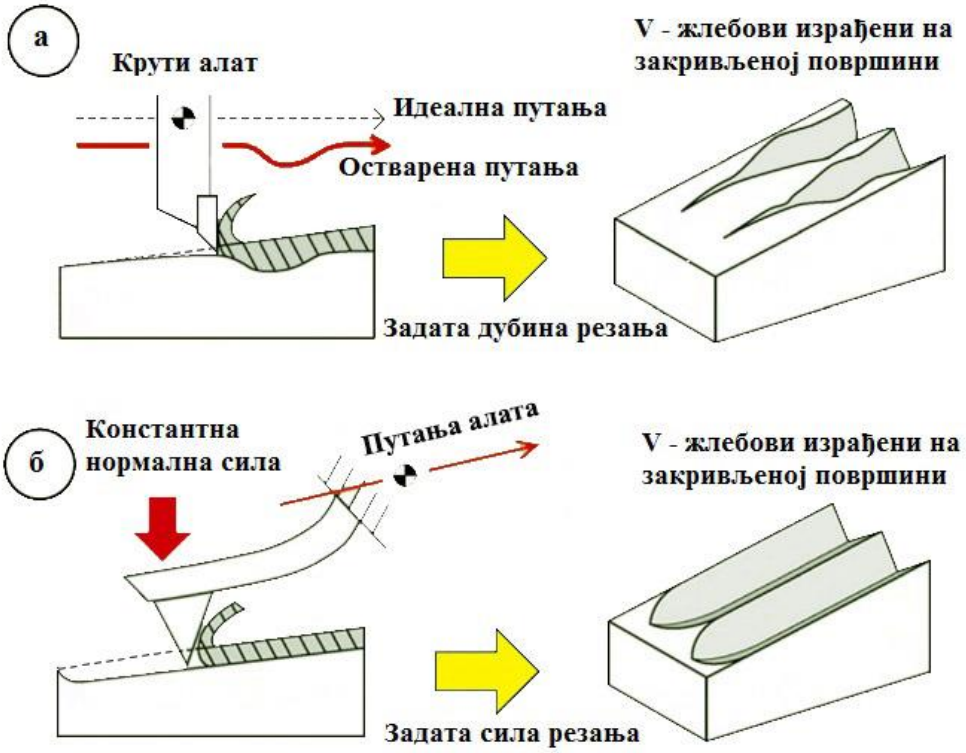
Процеси микро резања су веома ефикасне методе код производње делова малих димензија који се користе у микро електро-механичким системима (engl. Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS). Основни проблем у обради минијатурних делова процесом микрорезања је непостојање адекватних микро алата. За поједине поступке обраде материјала, као што су брушење и други, није могуће израдити алат за микро обраду који ће бити одговарајуће димензије и крутости. Ограничење димензије (пре свега пречника) носача алата узрокује веома малу крутост алата који не може да издржи динамичка напрезања током процеса обраде. Због смањене крутости микро алата јавила се потреба за проналажењем алтернативних процеса обраде, као што су обрада електро-пражњењем (engl. Electrical Discharge Machining, EDM), обрада електро жицом, обрада ласерским зрацима, обрада фокусираним јонима, итд. [M. Ganesh (2017)].

Проблеме који се јављају да би се осигурала успешна индустријска примена микро обраде треба у што краћем року и решити. На пример, иако се алати са малим пречником могу произвести напредним техникама за производњу алата, радијус резног алата се не смањује пропорционално са пречником алата. Дебљина струготине у процесу микро резања је обично мала, па се однос дебљине струготине и радијуса врха резне плочице разликује неколико пута у поређењу са процесом макро обраде [Y. Altintas (2011)].

Да би постојала серијска производња микро делова, то захтева поуздану опрему и прецизне алате. Зато се многи истраживачи баве изучавањима различитих процеса добијања микро компоненти. Неке од најчешће истраживаних метода су: LIGA (germ. Lithographie, Galvanoformung, Abformung) и већ горе поменуте обраде јонским, ласерским, ултразвучним снопом, и методе обраде микро електро пражњењем, за производњу комерцијално одрживих микро компоненти [M. J. Madou (1997); L. Alting (2003); T. Masuzawa (2000)]. Ове методе не доживљавају широку комерцијалну примену пре свега због цене коштања, ниске продуктивности, немогућности производње малих серија, ограничења броја материјала који се могу обрађивати, итд.

Последњих година развијено је неколико техника које користе дијамантске алате за израду микроструктура и микро жлебова [J. M. Lee (2010); G. D. Kim (2010); J. Yan (2010); J. Yan (2012); T. Moriya (2010); E. Brinksmeier (2010); E. Brinksmeier (2012)]. Већина ових техника обраде се може користити само за обраду равних површина, јер захтевају механизме за веома

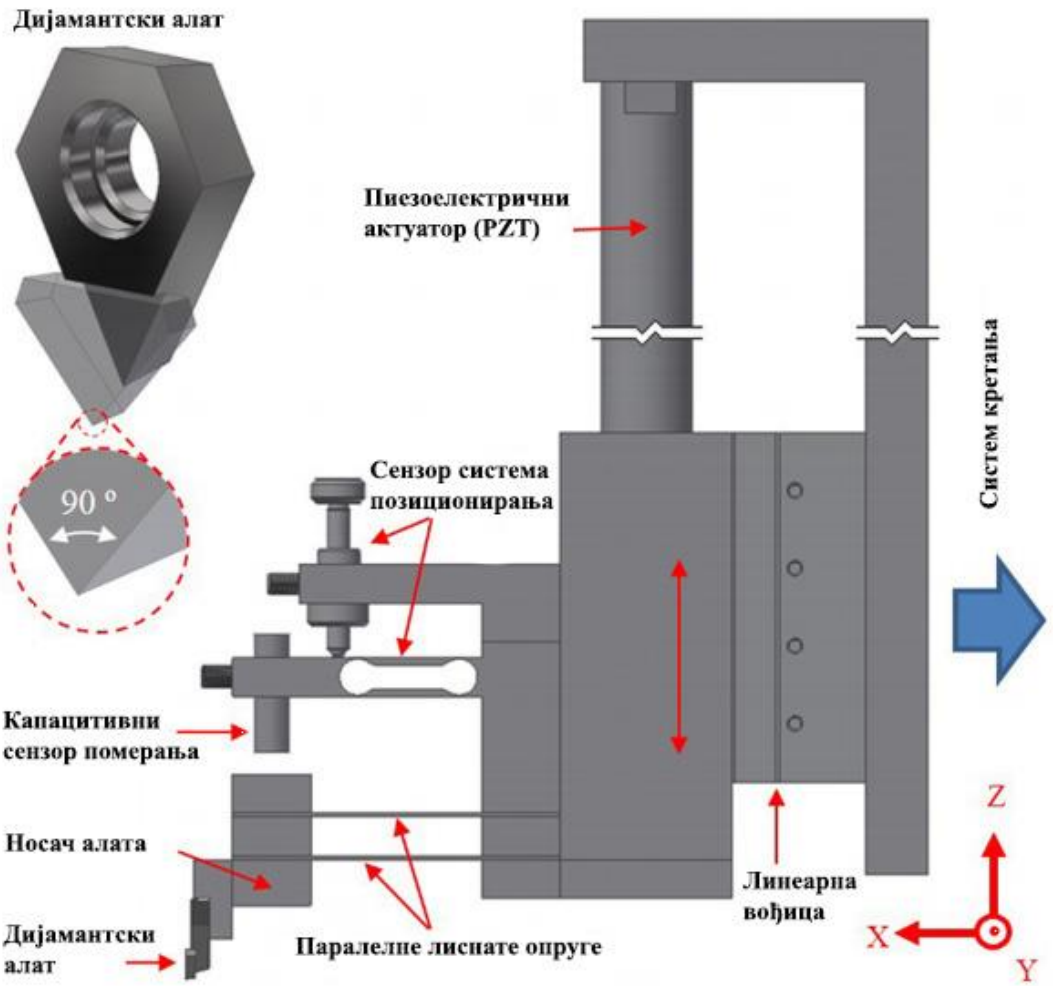
прецизно кретање под строгим условима околине, као и веома сложене системе управљања да би се добила потребна прецизност на нано/микро скали. Конвенционалне обрадне машине подешавају дубину резања помоћу њихових система кретања (engl. Constant Feed Cutting, CFC), тако да тачност произведеног дела зависи директно од тачности машине на којој се врши обрада, тј. од похабаности и зазора спрегнутих елемената система кретања (слика 6а). Једно од решења за овај проблем је процес примене константне силе резања (engl. Constant-Load Cutting, CLC) (слика 6б), чији је циљ контрола нормалне силе резања [K. Ashida (2011); G. H. Granados (2012)].



Слика 6 – Приказ ефеката различитих принципа резања (а) Константна дубина резања и (б) Константна сила резања [G. H. Granados (2014-2)]

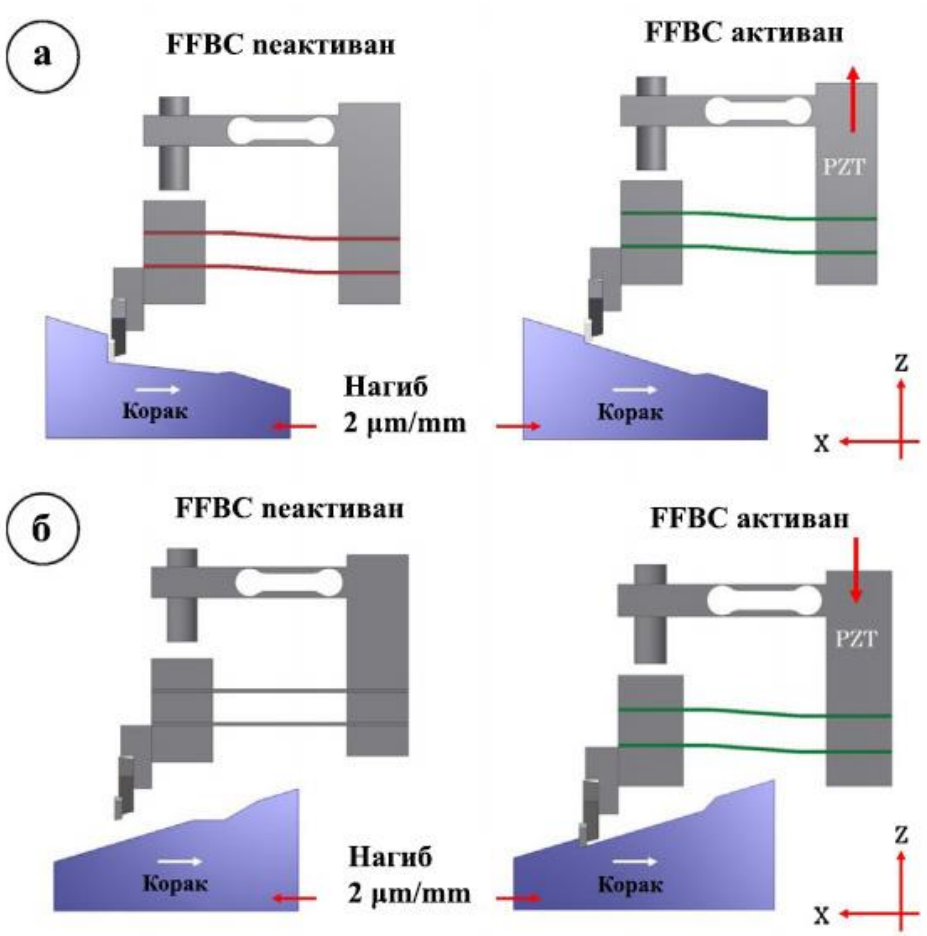
Пример CLC процеса је нано-резна техника која користи механизам микроскопа атомске силе (engl. Atomic Force Microscope, AFM), међутим, због ограниченог хода употребљеног пиезо скенера и ниске крутости конзолног носача, овај процес нема могућност практичне примене [K. Ashida (2001); N. Kawasegi (2006); Y. Yan (2007); S. H. Lee (2012); J. Shimizu (2013)].

G. H. Granados и сарадници (2014-1), су развили нови механизам резања за израду микро жлебова. Принцип рада се заснива на техници обраде микро резањем помоћу дијамантског резног алата, али тако да се током обраде одржава константна сила резања (слика 7). Код овог механизма алат је монтиран на конзолу, која се током процеса резања еластично деформише што је неопходно за примену система контроле силе. Конзола није круто тело, тако да је потребно проучити како силе резања утичу на њену деформацију. Циљ рада био је да се анализира ефекат геометрије алата на деформацију конзолог носача алата.



Слика 7 – CLC механизам резања са контролом силе током резања (engl. *Force Feedback Controller, FFBC*) [G. H. Granados (2014-1)]

Користећи технику нано резања применом AFM-а и предности дијамантних алата, G. H. Granados и сарадници (2014-1) су код микро машинске обраде увели еластичан механизам резања. Механизам се састоји од једног дијамантског алата који се монтира на конзолни носач и помоћу оптичке методе процењује укупна сила резања мерењем увијања и савијања конзолног носача (правац резања мора бити нормалан на најдужу страну конзолног носача). У истом раду дат је приказ модификованог механизма, где се применом паралелног конзолног система лиснатих опруга и сензора за линеарно померање, деформација конзоле узрокована нормалном компонентом силе резања може проценити и користи за имплементацију система за контролу силе резања FFBC. G. H. Granados и сарадници (2016), су експерименталним истраживањима доказали да се коришћењем FFBC система контроле нормалне силе резања могу израђивати жлебови захтеване дубине на закривљеним и косим површинама са позитивним или негативним углом нагиба што је приказано на слици 8, при чему нису потребне информације о геометрији површине пре обраде.



Слика 8 – Израда микро жлебова на површинама са позитивним и негативним углом нагиба применом FFBC система [G. H. Granados (2016)]

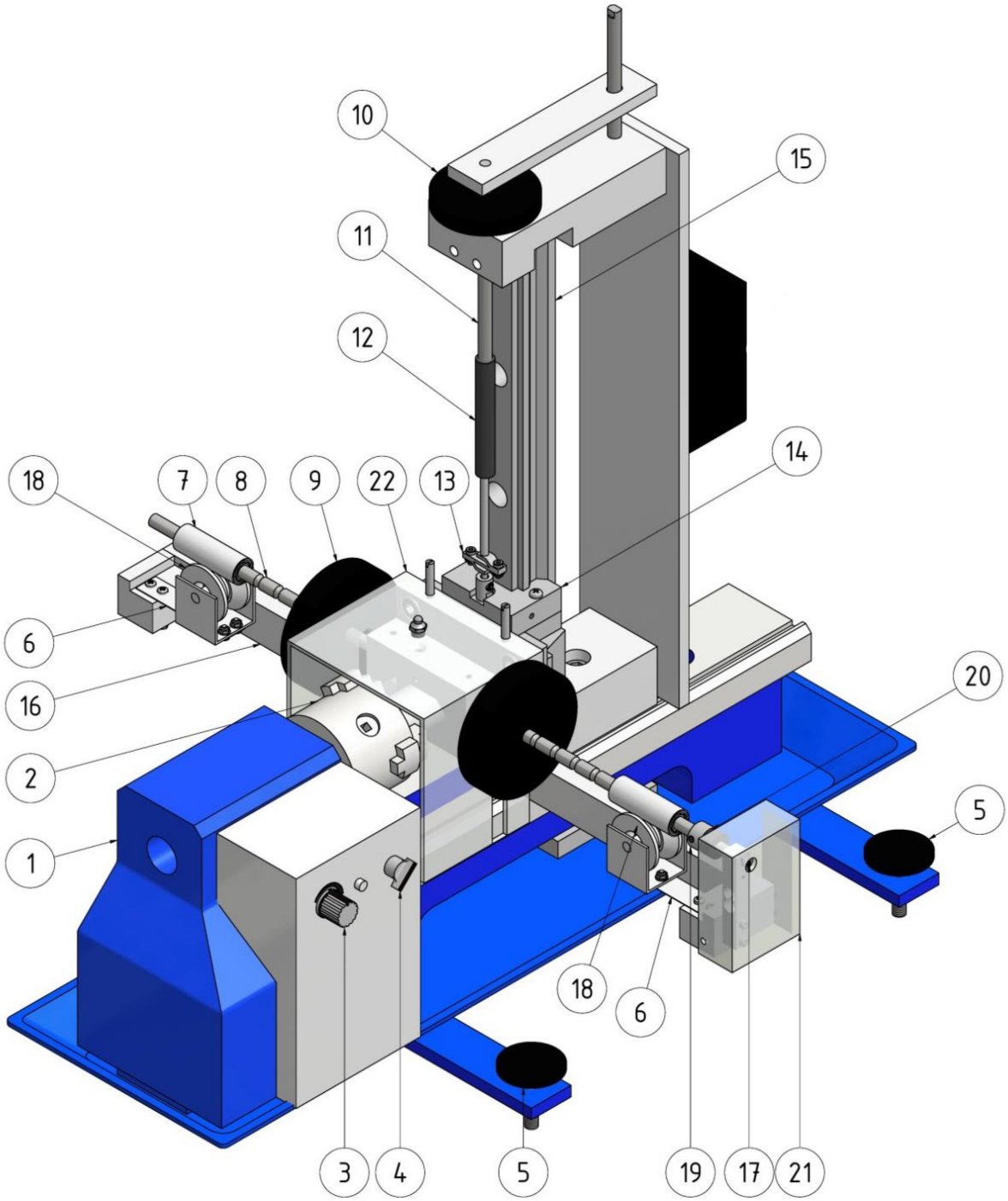
3. СУШТИНА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Техничко решење припада области производног машинства и бави се унапређењем процеса завршне обраде у циљу повећања димензионе и геометријске тачности цилиндричних предмета обраде. Конвенционалне методе обраде најчешће подразумевају задавање кретања резном алату у циљу остварења жељене дубине резања. Овај приступ засигурно доводи до разлике између остварене и задате дубине резања. Колика разлика ће настати зависи од: тачности система кретања алатне машине, термичких напрезања елемената система кретања, система стезања, резног алата и предмета обраде, крутости машине, крутости предмета обраде, крутости носача резног алата, похабаности елемената система кретања алатне машине, искуства оператера, врсте материјала, итд.

Грешке облика и димензије предмета обраде настале обрадом цилиндричних предмета у приказаним случајевима су уобичајене и врло честе при обради комерцијалним методама. Унапређење поступка обраде не може значајно умањити ове грешке. У циљу остварења значајног смањења описаних грешака потребно је развити нови метод обраде који се заснива на задавању силе продирања резног алата којом се регулише дубина резања. Фундаменталне промене су настале као последица несавршености комерцијалних метода и немогућности постизања задовољавајуће димензионе и геометријске тачности а све у циљу веће конкурентности малих предузећа чије машине су старе и недовољно прецизне да задовоље све захтевније тржиште. Развијени уређај омогућује завршну обраду спољашњих цилиндричних површина мале површинске храпавости и изузетно високе димензионе тачности (приближно 1μm). Развијени концепт је модуларан, па се може монтирати како на CNC тако и на универзалне машине. То повећава тачност и квалитет израде, смањује проценат шкарта и тиме повећава конкурентност предузећа.

4. ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Како је детаљно описано у претходним поглављима евидентно постоји проблем индустријских система у погледу димензионе и геометријске тачности цилиндричних предмета обраде. Овим техничким решењем се предлаже нова метода обраде у циљу смањења објашњених грешака израде а све у циљу повећања конкурентности привредних субјеката. У том циљу, развијен је уређај приказан на слици 9.



Слика 9 – Развијени уређај за есперименталнo испитивање резања константном силом, тј. трибометар за испитивање кинематског коефицијента трења

Елементи уређаја за есперименталнo испитивање резања константном силом су:

1) Универзални струг
2) Стезна глава
3) Потенциометар
4) Прекидач
5) Ослони завртањ
6) Измењива опруга
7) Котрљајна цев
8) Носач алата
9) Тег
10) Завртањ
11) Навојно вретено
12) Еластична спојница
13) Динамометар
14) Колица
15) Клизна стаза
16) Носећа конструкција носача алата
17) Динамометар за мерење силе резања(силе трења)
18) Кружна призма
19) Носач амортизера
20) Амортизер
21) Заштита бочног динамометра
22) Провидна заштита

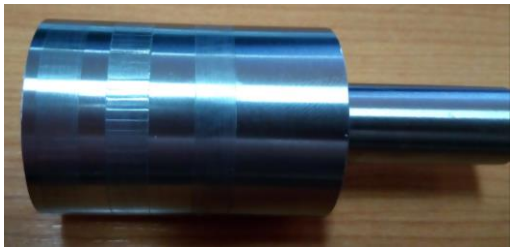
За основу уређаја искоришћен је универзални струг (Позиција 1) чије су карактеристике дате у табели 1.

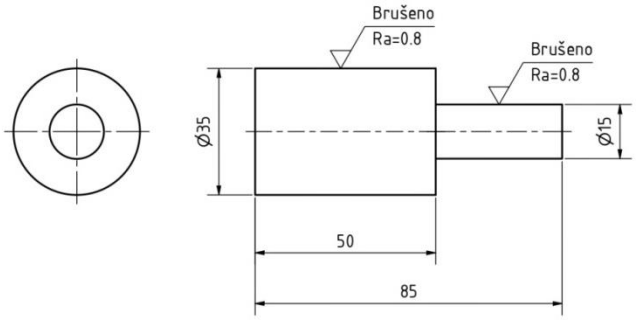
Табела 1 – Карактеристике универзалног струга

Модел	CJ0618/A/BX200/X300/X350
Максимални пречник обраде Ø	180 mm
Пречник стезне главе	80 mm
Отвор вретена	20 mm
Брзина вретена	50–2500 o/min варијабилно
Снага мотора	550 W монофазни
Напон/фреквенција	220 – 240 V (50 Hz)
Маса	38 kg
Димензије	760 x 305 x 315 mm

Као што се види из табеле 1 струг има могућност подешавања брзине резања (брзине клизања у случају испитивања кинематског коефицијента трења) променом броја обртаја стезне главе (Позиција 2) преко потенциометра (Позиција 3), као и промену смера окретања преко прекидача (Позиција 4). С обзиром да се брзина окретања стезне главе може подесити у интервалу од 50 до 2500 o/min, то значи да се време обраде (испитивања) као и дубина обраде може веома ефикасно регулисати променом броја обртаја. Предмет обраде (Елемент 1 контактног пара) који се позиционира и стеже у стезној глави преко цилиндра пречника 15 mm и дужине 35 mm је кружног попречног пресека, слика 10. Величина, врста материјала, површинска храпавост, тврдоћа и друге карактеристике предмета обраде (Елемента 1 контактног пара) се могу разликовати у зависности од циља испитивања.

У случају испитивања кинематског коефицијента трења, са елементом 1 контактног пара приказаним на слици 10, контакт остварује елемент 2 контактног пата (блок). Како је ширина блока 6mm а дужина цилиндра за испитивање 50 mm може се закључити да се на истом елементу 1 контактног пара експеримент може поновити више пута при чему је неопходно заменити елемент 2. Димензије блока су: дужина 20mm, висина 15mm, ширина 6mm.



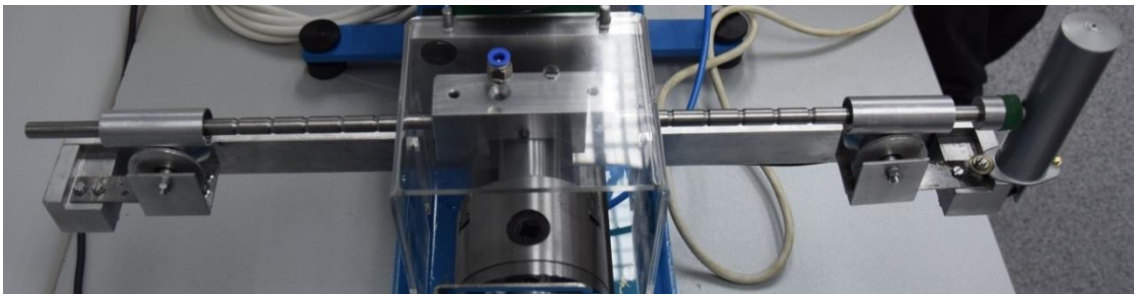


Слика 10 – Пример предмета обраде (елемента 1 контакног пара)

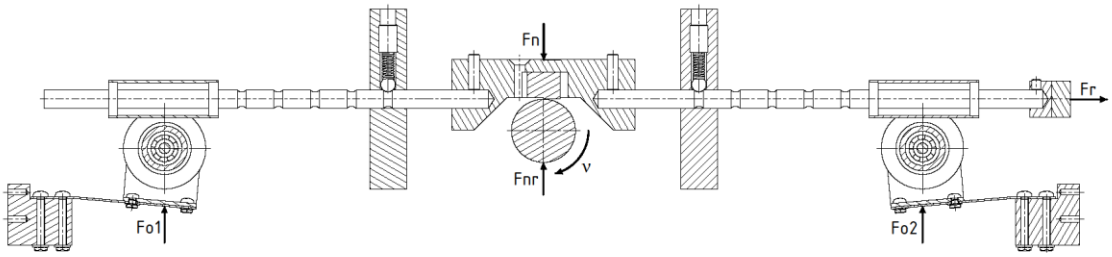
Након базирања и стезања предмета обраде треба нивелисати уређај помоћу ослоних подесивих завртњева (Позиција 5). Веома је важно правилно одабрати нормално оптерећење, као и крутост опруга (Позиција 6) преко којих се носач алата заједно са системом који омогућава правилно налегање резне ивице целом дужином на предмет обраде ослања. Правилно налегање резне ивице на површину предмета обраде остварено је преко једног степена слободе кретања и то, ротације око осе носача алата. Окретање резног алата око осе носача алата омогућује цев са два котрљајна лежаја (Позиција 7) који су постављени на носач алата који се приликом позиционирања тегова веома лако демонтирају. Захваљујући овом систему, резна ивица алата (елемент 2 контакног пара, блок) ће увек бити целом својом дужином у контакту са предметом обраде. Нормално оптерећење остварује се додавањем тегова (Позиција 9) на носач алата (Позиција 8). Маса носача алата заједно са масом додатих тегова дефинише максималну нормалну силу (силу продирања алата у материјал предмета обраде) која се у том тренутку може остварити. Фино подешавање нормалне силе врши се правилним одабиром крутости опруга (Позиција 6) преко којих се ослања носач алата са теговима. У случају када је потребно остварити нормално оптерећење мање од максималног, потребно је одузети нормалну силу напрезањем опруга (Позиција 6). Наиме, приликом припреме уређаја за испитивање неопходно је преко завртња (Позиција 10) и навојног вретена (Позиција 11) које је преко еластичне спојнице (Позиција 12) спојено са динамометром (Позиција 13) подићи колица (Позиција 14) која клизају по клизној стази (Позиција 15). За колица је крутом везом везана носећа конструкција носача алата (Позиција 16). Подизањем колица доћи ће до смањења силе продирања алата у материјал предмета обраде, јер опруге преузимају део нормалне силе. Када опруге преузму цео износ нормалне силе, то је тренутак када резна ивица (површина блока) више није у контакту са предметом обраде. Тај положај се може сматрати референтним и неопходно је ресетовати мерни систем како би нормална сила тада била једнака нули. Мерни систем се састоји од динамометра за мерење нормалне силе, динамометра за мерење силе резања (силе трења, при испитивању кинематског коефицијента трења) (Позиција 17), рачунарске јединице која прикупља измерене вредности и прослеђује их централном рачунару у коме се подаци приказују и складиште. Након повезивања система за аквизицију података, лаганим одвртањем завртња (Позиција 10), се носећа конструкција резног алата спушта а резни алат приближава предмету обраде. Када алат оствари контакт са предметом обраде тај тренутак се уочава порастом нормалне силе која се очитава на централном рачунару. Вредност силе продирања алата у материја предмета обраде (нормалне силе) се регулише завртњем, тј. положајем носача алата у односу на носећу конструкцију носача алата, односно напрезањем опруга. У тренутку остваривања контакта резне ивице алата и предмета обраде, јавиће се и сила резања која ће условити аксијално померање носача алата ротацијом носећих кружних призми (Позиција18). Аксијално померање има мали пређени пут који се завршава ударом носача алата у динамометар за мерење силе резања (силе трења) (Позиција 17). С обзиром да ова

сила има динамички карактер, у циљу смањења удара и пригушења осцилација силе испред динамометра је преко носача (Позиција 19) постављен гумени амортизер (Позиција 20), који представља механички филтер сигнала силе резања (силе трења). Како би се избегла случајна оштећења динамометра за мерење силе резања (силе трења) постављена је заштита (Позиција 21). Контакт динамометра и гуменог амортизера остварује се по малој површини, преко челичне куглице како би се избегла грешка мерења услед промене крака силе на динамометру. У циљу повећања нивоа безбедности оператера преко обртне масе налази се провидна заштита (Позиција 22).

На слици 11 дат је детаљан приказ носача алата са алатом у захвату са назначеним силама у процесу обраде.



а)



б)

Слика 11 – Фотографски приказ носача алата (а), шематски приказ носача алата са системом за регулацију нормалне силе (б)

Укупна расположива нормална сила која може деловати преко резне ивице алата на предмет обраде једнака је:

$$F_n = (m_t + m_n) \cdot g \ \ [N] \tag{1}$$

При чему је:

m_t [kg] – маса тегова,

m_n [kg] = const – маса носача алата,

g = 9.81 [$\frac{m}{s^2}$] = const – убрзање земљине теже.

Из израза 1 може се закључити да је укупна расположива нормална сила константна вредност и да дирекно зависи од масе тегова јер се маса носача алата не може мењати.

У случају када није потребно деловати максималном силом на предмет обраде преко резне ивице алата, носач алата ће се спустити у одговарајући положај при чему ће се део нормалне силе потрошити на напрезање опруга, па ће укупна нормална сила бити једнака:

$$Fn = F_{o1} + F_{o2} + F_{nr}\,[N] \qquad (2)$$

При чему је:

F_{o1} [N] – сила у опрузи 1,

F_{o2} [N] – сила у опрузи 2,

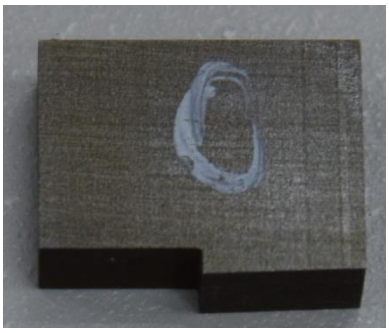
F_{nr} [N] – резултујућа нормална сила

Из израза 2 се може закључити да са спуштањем носача алата, тј. смањењем силе у опругама F_{o1} и F_{o2} повећава резултујућа нормална сила, која преко резне ивице алата делује на предмет обраде. С обзиром да су тегови исте масе и да се налазе на истом краку од осе предмета обраде, силе у опругама ће бити једнаке уз услов да су опруге једнаке крутости.

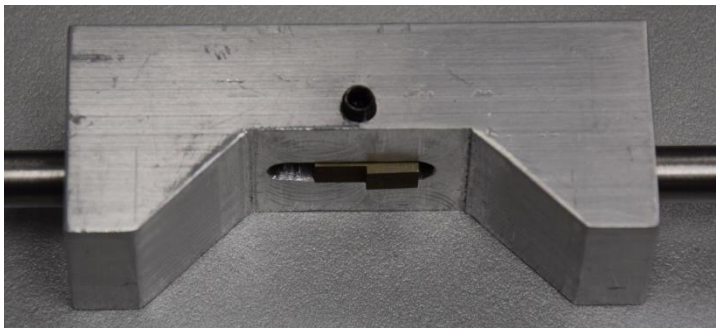
Носач алата са резним алатом приказан је на слици 12.

Слика 12 – Носач алата са резним алатом

На слици 13а приказан је специјално дизајниран резни алат са грудним углом 0° и леђним углом 2°. Резни алат је израђен од брзорезног челика непознатог хемијског састава.



а)



б)

ц)

Слика 13 – Специјални резни алат (а) са носачем алата (б)

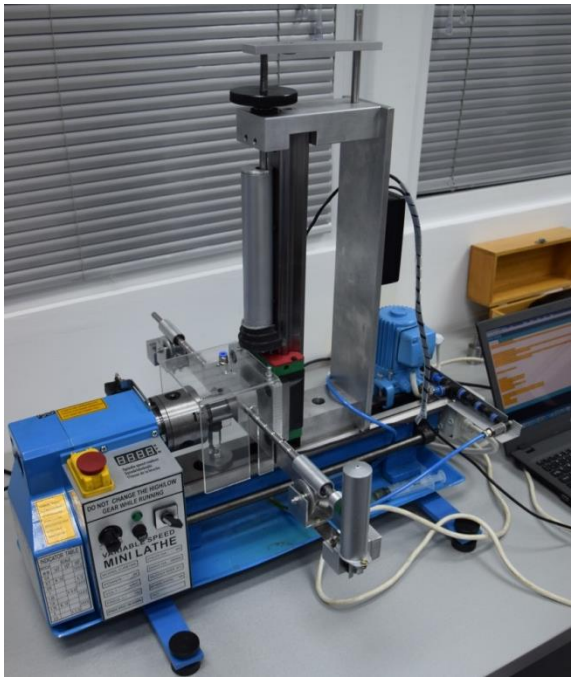
Базирање резног алата врши се преко његове две веће површине, док се стезање врши завртњем (слика 13б). На слици 13ц приказан је носач са позиционираним телом 2

контактног пара (блоком) у случају да се уређај користи за испитивање кинематског коефицијента трења клизања.

Пре задавања нормалног оптерећења неопходно је задати жељену брзину резања (брзину клизања) правилним одабиром броја обртаја вретеништа машине, тј. предмета обраде (елемента 1 контакног пара).

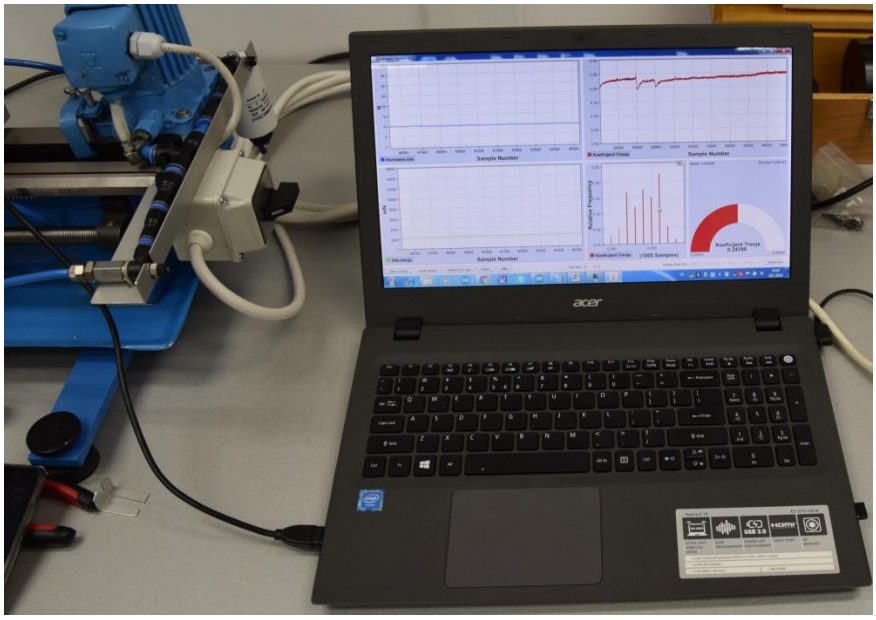
Фотографски приказ развијеног уређаја дат је на слици 14.

Важно је нагласити да развијени уређај може служити и за испитивање кинематског коефицијента трења клизања. Триболошка испитивања се могу извести варирањем услова контакта са аспекта облика, димензија и материјала елемената контактног пара, брзине клизања и нормалног оптерећења. Како развијени уређај поседује рециркулациону пумпу и систем за довод средства за подмазивање, испитивања се могу извести у условима са и без подмазивања. У том случају уместо резног алата у носач се поставља блок који је израђен од материјала чије се трибомеханичке карактеристике испитују. Блок се позиционира и стеже на исти начин као и резни алат. Принцип задавања нормалног оптерећења се не мења са променом намене уређаја. Под дејством резултујуће нормалне силе остварује се контакт блока са цилиндром који ротира око сопсвене осе. Тренутак остварења контакта манифестује се растом силе трења коју мери динамометар (Позиција 17). Мерење нормалне силе и силе трења врши се за време трајања испитивања. Прикупљене вредности сила систем за аквизицију података обрађује и користи за прорачун и приказ тренутне вредност коефицијента трења (слика 15).



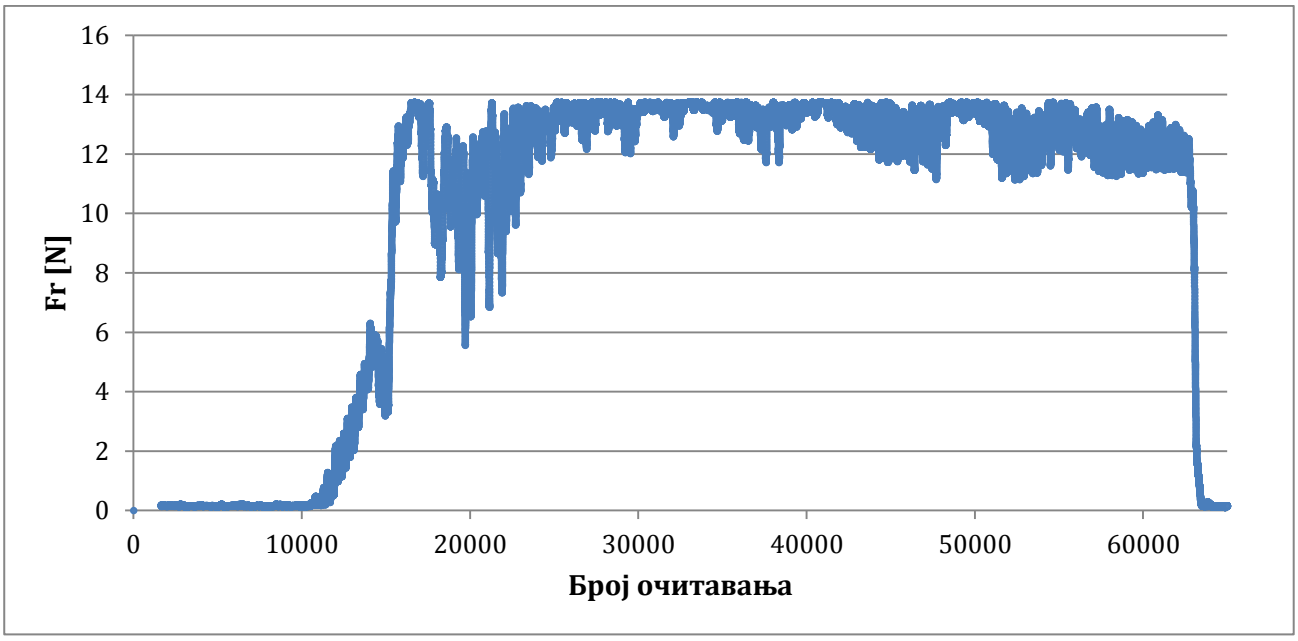
Слика 14 – Специјално дизајниран уређај за испитивање резања константном силом

Вредност нормалне силе и силе резања (силе трења) прати се системом за аквизицију података који на монитору централног рачунара приказује тренутне вредности сила (Слика 15). Вредности очитаних сила сачуване су након завршетка испитивања. Систем за аквизицију података након завршетка експеримента чува измерене вредности сила у времену.

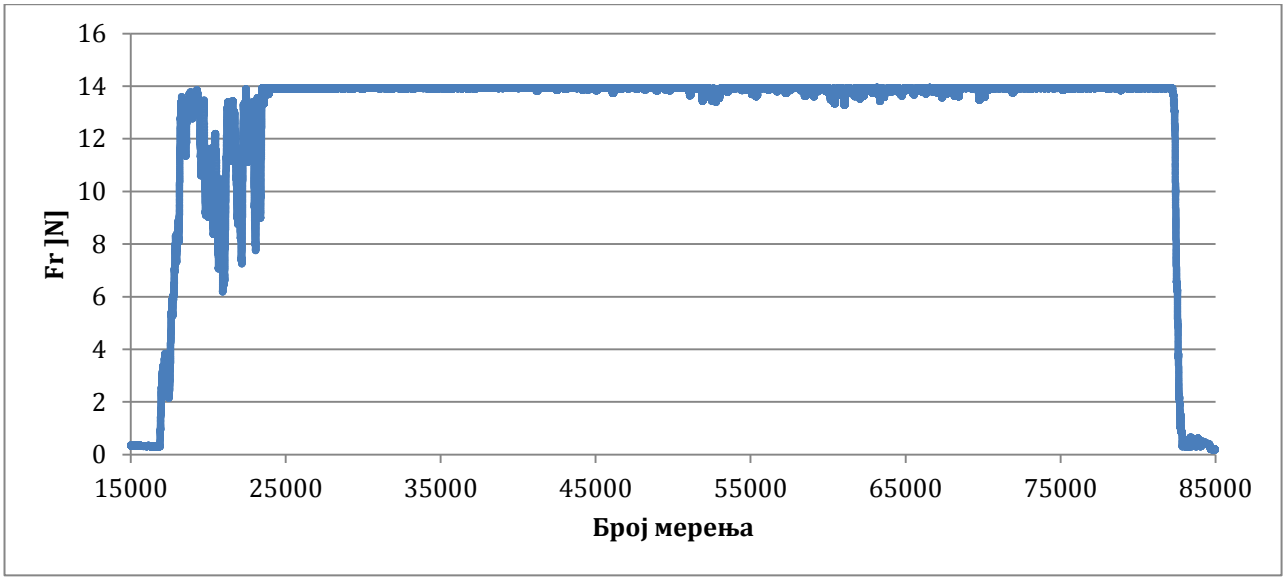


Слика 15 – Приказ вредности нормалне силе и силе резања

Коришћени уређај за испитивање пружа могућност мерења силе резања (слике трења) током испитивања. Овај дигаграм је изузетно добар показатељ правилног одабира режима обраде при испитивању процеса резања константном силом. Утицај режима обраде јасно се види поређењем два записа силе који су дати у наставку.



Слика 16 – Запис силе резања (Fr) 1



Слика 17 – Запис силе резања (Fr) 2

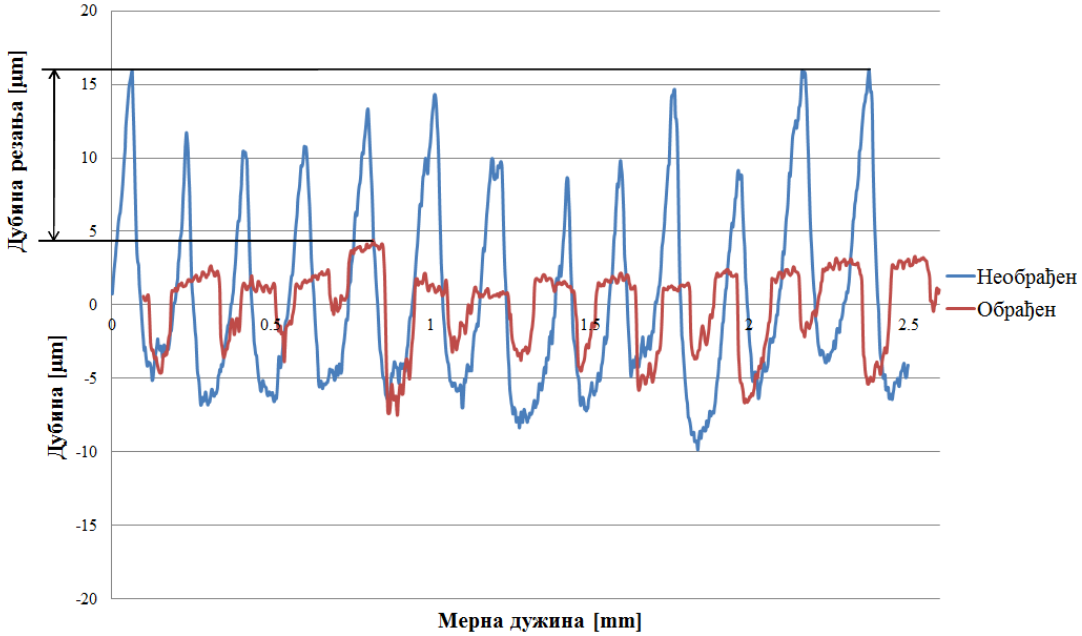
Упоредном анализом приказаних записа силе резања јасно се закључује да правилно одабрани режим обраде може значајно смањити осцилације силе резања а самим тим и вибрације што ће условити бољи квалитет обрађене површине.

Као што је приказано на слици 9, основу овог уређаја представља универзални струг који је надограђен модулом за задавање и праћење нормалне силе и силе трења у случају да се уређај користи као трибометар, тј силе продирања алата у материјал предмета обраде и силе резања у случају испитивања процеса завршне обраде задатом силом продирања. Дакле уређај се може користити и као трибометар и као уређај за испитивање резања константном силом продирања алата у материјал предмета обраде. Модуларност развијеног уређаја омогућује постављање модула за задавање и праћење сила на било који универзални или CNC струг и на тај начин унапреди производни процес и повећа тачност машине на коју је постављен.

Анализа предности и недостатака предложеног оквира

Приказани уређај пружа могућност микро машинске обраде цилиндричних макро делова. За разлику од конвенционалних метода које жељени пречник најчешће остварују задавањем дубине резања ова метода пречник регулише интензитетом силе продирања резног алата у материјал предмета обраде. Утицај свих грешака у систему кретања алатне машине овај начин обраде своди на минимум. Ово значајно повећава конкурентност малих привредних субјеката који због лоше економске ситуације нису у могућности да издвоје значајна материјална средства за замену старих машина како би повећали геометријску и димензиону тачност обрадака. Истраживања која су аутори техничког решења публиковали на тему обраде задатом силом продирања алата доказују да се оваквим системима могу обезбедити боља димензиона и геометријска тачност, смањење површинске храпавости и обезбеде повољнији профили ношења обрађене површине. Развијена метода нарочито погодује појединачној и малосеријској производњи због својих малих почетних улагања.

Како развијена методе спада у матоде завршне обраде метала резањем, овим поступком обраде није могуће остварити значајније промене пречника предмета обраде. Промена пречника је ограничена висином врхова неравнина површине која се обрађује. Како је основни циљ анализираног система постизање високе димензионе и геометријске тачности, контакт резног алата и предмета обраде остварује се по врховима неравнина при дејству силе мање од 4 N (за челик). Вредности силе до 4 N (за челик) обезбеђује микро резање предмета обраде при чему је због мале дубине резања тешко измерити насталу промену пречника. Поређењем максималне висине неравнина пре и након извршене обраде микро резањем уочава се дубина резања (слика 18). Настала промена пречника једнака је двострукој измереној дубини резања.



Слика 18 – Микро геометрија површина пре и након обраде микро резањем

Такође, испитивања изведена на развијеном уређају доказују да испитивана метода даје боље резултате са повећањем тврдоће материјала, тј може се очекивати нешто лошији квалитет обраде са повећањем дуктилности материјала.

5. ЗАКЉУЧАК

Повећање димензионе и геометријске тачности као и смањење површинске храпавости обрађеног комада представља важан циљ савремених индустријских система. Овом циљу тежи како наука тако и привреда. Непрестана тежња за унапређењеењем конвенционалних резних алата и алатних машина довела је до значајног повећања димензионе и геометријске тачности предмета обраде. Међутим даља унапређења традиционалних начина обраде поред великих напора не доводе до значајнијег побољшања тачности израде.

Због ограничења тачности алатних машина истраживачи широм света изучавају нове начине управљања процесом резања. Један од најзначајнијих начина управљања је управљање силом резања. Иако постоји много начина управљања дубином резања преко силе продирања алата у материјал предмета обраде, сви до сада приказани системи захтевају значајна финсијска улагања и немају могућност индустријске примене. Такође већина решења приказана у научној литератури представљају независне системе које није могуће по потреби инсталирати на машину алатку. На крају, ови системи захтевају употребу специјално развијених резних алата и носача алата.

Један део техничких решења који се срећу у научној литератури није јавно доступан, тако да је и њихова индустријска примена упитна.

Предложена метода резања константном силом продирања алата и материјал предмета обраде пружа могућност постизања изузетно велике димензионе тачности (око 1μm), што конвенционалним начином обраде није могуће остварити. Поред високе димензионе тачности, завршна обрада на развијеном уређају обезбеђује смањење девијације кружности, смањење површинске храпавости и повољнији профил ношења обрађене површине. Развијени систем управљања је индустријски примењљив и може се поставити како на универзалним тако и на CNC струговима. У зависности од величине обрађиваних цилиндара врши се замена носача резног алата. Осетљивост система за задавање силе продирања подешава се правилним одабиром опруга.

Дакле развијени систем пружа могућност завршне обраде спољашњих цилиндричних површина са тачношћу од око 1μm без ограничења у величини предмета обраде и машини на којој је ту обраду могуће извести.

Како је уређај мултифункционалан, може се ефикасно користити и за лабораторијска испитивања кинематског коефицијента трења при чему се уместо резног елемента у носач поставља блок чије су димензије дате у одељку 4. Испитивање кинематског коефицијента трења могуће је извести у условима са у без подмазивања, без ограничења у пређеном путу и времену трајања испитивања. Маскимална нормална сила износи 120 N, док опсег брзина зависи од пречника елемента 1 и задатог броја обртаја (од 50 o/min до 2500 o/min).

6. ЛИТЕРАТУРА

1. **B. Polyakov (2012),** S. Vlassov, M. L. Dorogin, P. Kulis, I. Kink, R. Lohmus, *The effect of substrate roughness on the static friction of CuO nanowires,* Surface Science, Vol. 606, No. 17-18, pp.1393-1399,2012.
2. **B. Tadić (2013)**, Đ Vukelić, Z. Jurković: *Alati i pribori*, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, 2013.
3. **D. H. Cho (2016),** B. Bhushan, J. Dyess, *Mechanisms of static and kinetic friction of polypropylene, polyethylene terephthalate, and high-density polyethylene pairs during sliding*, Tribology International, Vol. 94, pp. 165-175, 2016.
4. **Dirk Stöbener (2013)**, Björn Beekhuis, Application of an in situ measuring system for the compensation of wall thickness variations during turning of thin-walled rings, CIRP Annals, Vol. 62, No. 1, pp. 511–514, 2013.
5. **D. Vukelic, (2021),** P.Todorovic, K. Simunovic, J. Miljojkovic, G. Simunovic, I. Budak, B. Tadic, *A Novel Method for Determination of Kinetic Friction Coefficient using Inclined Plane*, Tehnički vjesnik, Vol. 28, No. 2, pp. 447-455, 2021.
6. **E. Brinksmeier (2010)**, O. Roemer, R. Glaube, B. Lunemann, C. V. Kopylow, C. Dankwart, *Submicron functional surfaces generated by diamond machining*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 59, No. 1, pp. 535–538, 2010.
7. **E. Brinksmeier (2012)**, R. Glabe, L. Schonemann. *Review on diamond-machining processes for the generation of functional surface structure*s, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 5, pp. 1-7, 2012.
8. **E. L. Deladi (2006),** *Static Friction in Rubber-Metal Contacts with Application to Rubber Pad Forming Processes*, PhD thesis, Twente: University of Twente.
9. **G. D. Kim (2010)**, B. G. Loh, *Machining of micro-channels and pyramidal patterns using elliptical vibration cutting*, International Journal Adv Manuf Technol, Vol. 49, No. 9-12, pp. 961–968, 2010.
10. **G. H. Granados (2012)**, K. Ashida, I. Ogura, Y. Okazaki, N. Morita, L.R. Huerta, *Micro-groove cutting for different materials using an elastic leaf spring type tool holder*, Key Engineering Materials, Vol. 523–524, pp. 93–98, 2012.
11. **G. H. Granados (2014-1)**, K. Ashida, I. Ogura, Y. Okazaki, N. Morita, H. Hidai, *Development of a non-rigid micro-scale cutting mechanism measuring the cutting force using an optical lever*, International Journal of Automation Technology, Vol. 8, No. 6, pp. 903-911, 2014.
12. **G. H. Granados (2014-2)**, K. Ashida, I. Ogura, Y. Okazaki, N. Morita, H. Hidai, S. Matsusaka, A. Chiba, *Effect of cutting angles during the microgroove fabrication process using a non-rigid cutting mechanism*, 9th International Workshop on Microfactories, pp. 108-115, 2014.
13. **G. H. Granados (2016)**, N. Morita, H. Hidai, S. Matsusaka, A. Chiba, K. Ashida, I. Ogura, Y. Okazaki, *Development of a non-rigid micro-scale cutting mechanism applying a normal cutting force control system*, Precision Engineering, Vol. 43, pp. 544–553, 2016.

14. **Gangwei Cui (2012)**, Yong Lu, Jianguang Li, Dong Gao, Yingxue Yao, *Geometric error compensation software system for CNC machine tools based on NC program reconstructing*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 63, No. 1-4, pp. 169-180, 2012.

15. **H. D. Hwang (2003),** H. K. Zum Gahra, *Transition from static to kinetic friction of unlubricated or oil lubricated steel/steel, steel/ceramic and ceramic/ceramic pairs*, Wear, Vol. 255, No. 1-6, pp. 365-375, 2003.

16. **I. Dickey (2011),** D. R., Jackson, L. R., Flowers, T. G. *Measurements of the Static Friction Coefficient between Tin Surfaces and Comparison to a Theoretical Model*, Journal of Tribology, Vol. 133, No.3, 2011.

17. **J. M. Lee (2010)**, T.J. Je, D.S. Choi, S.W. Lee, D. Le, S.J. Kim, *Micro grooving simulation and optimization in the roughing stage*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 11, No. 3, pp. 361-368, 2010.

18. **J. P. Blau (2001)**, *The significance and use of the friction coefficient*, Tribology International, Vol. 34, No. 9, pp. 585-591, 2001.

19. **J. Shimizu (2013)**, L. Zhou, T. Yamamoto, H. Ojima, T. Onuki, H. Huang, *Mold pattern fabrication by nano scratching*, Int J Automat Technol, Vol. 7, No. 6, pp. 686-693, 2013.

20. **J. Yan (2010)**, Z. Zhang, T. Kuriyagawa, *Fabricating micro-structured surface by using single-crystalline diamond endmill*, Int J Manuf Technol, Vol. 51, pp. 957–964, 2010.

21. **J. Yan (2012)**, A. Horikoshi, T. Kuriyagawa, Y. Fukushima, *Manufacturing structured surface by combining micro indentation and ultraprecision cutting*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 5, pp. 41–47, 2012.

22. **Jans Sölter (2011)**, Christian Grote, Ekkard Brinksmeier, *INFLUENCE OF CLAMPING STRATEGIES ON ROUNDNESS DEVIATIONS OF TURNED RINGS*, Machining Science and Technology, Vol. 15, No. 3, pp. 338–355, 2011.

23. **K. Ashida (2001)**, N. Morita, Y. Yoshida. *Study on nano-machining process using mechanism of a friction force microscope*, JSME International Journal, Series C, Vol. 44, No. 1, pp. 244–253, 2001.

24. **K. Ashida (2011)**, G. Herrera, I. Ogura, Y. Okazaki, *Basic study of micro-groove cutting using an elastic leaf spring type tool holder*, Intl Conference on Micro Manufacturing, ICOMM, 2011.

25. **L. Alting (2003)**, F. Kimura, H. N. Hansen, G. Bissacco, *Micro engineering*, CIRP Annals, Vol. 52, No. 2, pp. 635-657, 2003.

26. **Lj. Brzakovic (2022),** V. Milovanovic, V. Kocovic, G. Simunovic, Dj. Vukelic, B. Tadic, *Relation between Kinetic Friction Coefficient and Angular Acceleration during Motion initiated by Dynamic Impact Force*, Technical Gazette, Vol. 29, No.5, pp. 1622-1628, 2022.

27. **L. Kogut, (2004)**, I. Etsion, *A Static Friction Model for Elastic-Plastic Contacting Rough Surfaces*, Journal of Tribology, Vol. 126, No. 1, pp. 34-40, 2004.

28. **Li Yang (2015)**, Zhao Wanhua, Lan Shuhuai, Ni Jun, Wu Wenwu, Lu, Bingheng, *A review on spindle thermal error compensation in machine tools*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 95, pp. 20–38, 2015.

29. **M. Estrems (2015)**, M. Arizmendi, A. J. Zabaleta, A. Gil, Numerical Method to Calculate the Deformation of Thin Rings during Turning Operation and its Influence on the Roundness Tolerance, Procedia Engineering, Vol. 132, pp. 872-879, 2015.

30. **M. Ganesh (2017)**, Ajay Sidpara and Sankha Deb, *Fabrication of Micro-cutting Tools for Mechanical Micro-machining*, Advanced Manufacturing Technologies, Chapter 1 Machining and Tribology, ISBN: 978-3-319-56098-4, pp. 3-21, 2017.

31. **M. I. Hutchings (2016),.** *Leonardo da Vinci 's studies of friction*, Wear, Vol. 360-361, pp. 51-66, 2012.

32. **M. J. Madou (1997)**, Fundamentals of Microfabrication, CRC Press, Boca Raton, 1997.

33. **M. Maračeková (2012)**, Marek Zvončan, Augustín Görög, *EFFECT OF CLAMPING PRESSURE ON PARTS INACCURACY IN TURNING*, Tehnički vjesnik, Vol. 19, No. 3, pp. 509-512, 2012.

34. **N. Kawasegi (2006)**, N. Takano, D. Oka, N. Morita, S. Yamada, K. Kanda, *Nanomachining of silicon surface using atomic force microscope with diamond tip*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 128, No. 3, pp. 723-729, 2006.

35. **Q. J. Guo (2010)**, J G. Yang, H. Wu, *Application of ACO-BPN to thermal error modeling of NC machine tool*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 50, No. 5, pp. 667–675, 2010.

36. **R. Ramesh (2000)**, M. Mannan, A. Poo, *Error compensation in machine tools—a review: Part I: geometric, cutting-force induced and fixture-dependent errors*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 40 No. 9, pp. 1235–1256, 2000.

37. **S. H. Lee (2012)**, *Analysis of ductile mode and brittle transition of AFM nanomachining of silicon*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 61, pp. 71-79, 2012.

38. **T. Masuzawa (2000)**, *State of the art of micromachining*, CIRP Annals, Vol. 49, No. 2, pp. 473–488, 2000.

39. **T. Moriya (2010)**, K. Nakamoto, T. Ishida, Y. Takeuchi, *Creation of V-shaped microgrooves with flat-ends by 6-axis control ultraprecision machining*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 59, pp. 61–66, 2010.

40. **T. Yue (2017),** A. M. Wahab, *Finite element analysis of fretting wear under variable coefficient of friction and different contact regimes*, Tribology International, Vol. 107, pp. 274-282, 2017.

41. **U. Heisel (2010)**, C. Kang, *Model-based form error compensation in the turning of thin-walled cylindrical parts*, Production Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 151–158, 2010.

42. **U. Župerl (2011)**, F. Čuš, Đ. Vukelić, *VARIABLE CLAMPING FORCE CONTROL FOR AN INTELIGENT FIXTURING*, Journal of Production Engineering, Vol. 14, No. 1, pp.19-22, 2011.

43. **V. Kocovic (2022)**, DJ. Vukelic, S Kostic, I. Bijelic, M. Prica, B. Tadic, Micro-cutting of holes by centrifugal force, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 124, pp. 1437-1455, 2022.

44. **V. Kocovic (2020)**, Razvoj alata za završnu obradu cilindričnih otvora inercijalnom silom, Doktorska disertacija, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu.

45. **Y. Altintas (2011)**, X. Jin, *Mechanics of micro-milling with round edge tools*, CIRP Annals, Vol. 60, No. 1, pp. 77-80, 2011.

46. **Y. Fujii (2008),** *Method for measuring transient friction coefficients for rubber wiper blades on glass surface*, Tribology International, Vol.41, No.1, pp. 17-23, 2008.

47. **Y. Yan (2007)**, T. Sun, Y. Liang, S. Dong, *Investigation on AFM-based micro/nano CNC machining system*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, pp. 1651–1659, 2007.

48. **Y. Zhang (2012)**, J. G. Yang, H. Jiang, *Machine tool thermal error modeling and prediction by grey neural network*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 59, No. 9, pp. 1065–1072, 2012.

49. **Y. Zhou (2015),** H. Zhu, X. Zuo, Y. Li, N. Chen, *The nonlinear nature of friction coefficient in lubricated sliding friction*, Tribology International, Vol. 88, pp. 8-16, 2012.

50. **Yuan Kang (2007)**, Chuan-Wei Chang, Yuanruey Huang, Chuag-Liang Hsu,I-Fu Nieh, *Modification of a neural network utilizing hybrid filters for the compensation of thermal deformation in machine tools*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 47, No. 2, pp. 376–387, 2007.

Прилози

уз пријаву Техничког решења категорије М82,

под називом „МУЛТИФУНКЦИОНАЛНИ УРЕЂАЈ ЗА МЕРЕЊЕ КИНЕМАТСКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА И ИСПИТИВАЊЕ ПРОЦЕСА МИКРОРЕЗАЊА“,

чији су аутори: др Владимир Кочовић, др Соња Костић, др Бојан Богдановић, др Сузана Петровић Савић, др Ђорђе Вукелић, др Бранко Тадић

достављају се следећи прилози:

Прилог 1 - Списак раније прихваћених техничких решења

Прилог 2 - Техничка документација техничког решења

Прилог 3 - Уговор о пословно техничкој сарадњи

Прилог 4 - Потврда о куповини и коришћењу

Прилог 1. Списак раније прихваћених техничких решења

- Аутор **др Владимир Кочовић** има следећа раније прихваћена техничка решења:
  - Категорија М82 (Ново техничко решење примењено на националном нивоу)
    1. **Кочовић В.**, Костић С., Петровић А., Вукелић Ђ., Тадић Б.: Мала лабораторијска кидалица за испитивање механичких карактеристика материјала затезањем, 2023.
  - Категорија М84 (Битно побољшано техничко решење на националном нивоу):
    1. Ранђеловић С., Вукелић Ђ., Тодоровић П., **Кочовић В.**, Богдановић Б., Ивановић Л., Тадић Б.: Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде, 2015.
    2. Тадић Б., Ранђеловић С., Тодоровић П., Вукелић Ђ., **Кочовић В.**, Богдановић Б., Јеремић М.: Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице, 2015.
  - Категорија М85 (Ново техничко решење у фази реализације):
    1. Вукелић Ђ., Живковић М., Миљојковић Ј., **Кочовић В.,** Будак И.: Уређај за испитивање апсорпције воде дрвених радних предмета, 2017.

- Аутор **др Соња Костић** има једно раније прихваћено техничко решење:
  - Категорија М82 (Ново техничко решење примењено на националном нивоу)
    1. Кочовић В., **Костић С.**, Петровић А., Вукелић Ђ., Тадић Б.: Мала лабораторијска кидалица за испитивање механичких карактеристика материјала затезањем, 2023.

- Аутор **др Бојан Богдановић** има следећа раније прихваћена техничка решења:
  - Категорија М84 (Битно побољшано техничко решење на националном нивоу):
    1. Ранђеловић С., Вукелић Ђ., Тодоровић П., Кочовић В., **Богдановић Б.**, Ивановић Л., Тадић Б.: Оптимизација процеса завршне обраде

котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде, 2015.

2. Тадић Б., Ранђеловић С., Тодоровић П., Вукелић Ђ., Кочовић В., **Богдановић Б.**, Јеремић М.: Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице, 2015.

- Категорија М83 (Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу):

  1. Тадић Б., Вукелић Ђ., Тодоровић П., Јеремић Б., Мачужић И., **Богдановић Б.**, Ново експериментално постројење за одређивање динамичке попустљивости стезних и ослоних елемената прибора, 2013.

- Аутор **др Сузана Петровић Савић** нема раније прихваћена техничка решења.

- Аутор **др Ђорђе Вукелић** има следећа раније прихваћена техничка решења:

  - Категорија М82 (Ново техничко решење примењено на националном нивоу):

    1. Будак И., Тадић Б., Јеремић Б., **Вукелић Ђ.**, Миљанић Д., Тодоровић П., Ходолич Ј., Индустријски прототип уређаја за испитивање статичке попустљивости и носивости споја елемената за стезање и радног предмета, ТР-35020, Металик ДОО, Никшић, Црна Гора, Нови Сад, 2012.

    2. Шокац М., Будак И., Јаковљевић Ж., **Вукелић Ђ.**, Сантоши Ж., Програмски систем за сегментацију снимака генерисаних применом компјутеризоване томографије, 2020.

    3. Кочовић В., Костић С., Петровић А., **Вукелић Ђ.**, Тадић Б.: Мала лабораторијска кидалица за испитивање механичких карактеристика материјала затезањем, 2023.

  - Категорија М83 (Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу):

    1. Тадић Б., Бабић М., Митровић С., Лазић М., **Вукелић Ђ.**, Универзални трибометар, 2010.

2. Ходолич Ј., Тадић Б., **Вукелић Ђ.**, Ново експериментално постројење за савијање танкозидних цеви применом топлоте генерисане трењем, 2011.

3. Тадић Б., **Вукелић Ђ.**, Тодоровић П., Јеремић Б., Мачужић И., Богдановић Б., Ново експериментално постројење за одређивање динамичке попустљивости стезних и ослоних елемената прибора, 2013.

- Категорија М84 (Битно побољшано техничко решење на националном нивоу):

  1. **Вукелић Ђ.**, Тадић Б., Ходолич Ј., Митровић Ј., Симеуновић Н.: Специјални модуларни систем стезних прибора за обрадни центар ХУРЦО-500, 2011.

  2. Ранђеловић С., **Вукелић Ђ.**, Тодоровић П., Кочовић В., Богдановић Б., Ивановић Л., Тадић Б.: Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде, 2015.

  3. Тадић Б., Ранђеловић С., Тодоровић П., **Вукелић Ђ.**, Кочовић В., Богдановић Б., Јеремић М.: Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице, 2015.

- Категорија М85 (Ново техничко решење у фази реализације):

  1. Тадић Б., Марјановић Н., **Вукелић Ђ.**, Галовић С.: Уређај за остваривање екстремно високих притисака, 2007 .

  2. Сантоши Ж., Будак И., Трифковић Б., Шокац М., **Вукелић Ђ.**, Хаџистевић М., Ходолич Ј.: Нова метода за аквизицију геометријских података у денталној протетици на бази блиско-предметне фотограметрије, 2015.

  3. Агарски Б., Будак И., Срђевић Б., **Вукелић Ђ.**, Илић Мићуновић М., Ходолич Ј.: Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса, 2015.

  4. **Вукелић Ђ.**, Живковић М., Миљојковић Ј., Кочовић В., Будак И.: Уређај за испитивање апсорпције воде дрвених радних предмета, 2017.

- Аутор **Бранко Тадић** има следећа раније прихваћена техничка решења:

  - Категорија М82 (Ново техничко решење примењено на националном нивоу):

1. Будак И., **Тадић Б.**, Јеремић Б., Вукелић Ђ., Миљанић Д., Тодоровић П., Ходолич Ј., Индустријски прототип уређаја за испитивање статичке попустљивости и носивости споја елемената за стезање и радног предмета, ТР-35020, Металик ДОО, Никшић, Црна Гора, Нови Сад, 2012.

2. Кочовић В., Костић С., Петровић А., Вукелић Ђ., **Тадић Б.**: Мала лабораторијска кидалица за испитивање механичких карактеристика материјала затезањем, 2023.

- Категорија М83 (Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу):

  1. **Тадић Б.**, Бабић М., Митровић С., Лазић М., Вукелић Ђ., Универзални трибометар, ТР 04, Лабораторија за трибологију Машинског факултета у Крагујевцу, Машински факултет, Крагујевац, 2010.

  2. Ходолич Ј., **Тадић Б.**, Вукелић Ђ., Ново експериментално постројење за савијање танкозидних цеви применом топлоте генерисане трењем, 2011.

  3. **Тадић Б.**, Вукелић Ђ., Тодоровић П., Јеремић Б., Мачужић И., Богдановић Б., Ново експериментално постројење за одређивање динамичке попустљивости стезних и ослоних елемената прибора, Крагујевац, 2013.

- Категорија М84 (Битно побољшано техничко решење на националном нивоу):

  1. Бобић И., Бабић М., Митровић С., Венцл А., Бобић Б., **Тадић Б.**, Керамички лонац електроотпорне пећи за извођење компокастинг поступка, ТР 08, Предузеће „РАР“, Батајница, Лабораторија за материјале, ИНН, „Винча“, 2008.

  2. Бобић И., Бобић Б., Бабић М., Митровић С., Венцл А., **Тадић Б.**, Електрична метода за контролу реолошког наношења полуочврслих растопа основних легура и композита при извођењу рео/комнокастинг поступка, ТР 07, Предузеће „РАР“, Батајница, Лабораторија за материјале, ИНН, „Винча“, 2009.

  3. Вукелић Ђ., **Тадић Б.**, Ходолич Ј., Митровић Ј., Симеуновић Н.: Специјални модуларни систем стезних прибора за обрадни центар ХУРЦО-500, 2011.

4. Ранђеловић С., Вукелић Ђ., Тодоровић П., Кочовић В., Богдановић Б., Ивановић Л., **Тадић Б.**: Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде, ТР 89/2015, Металик д. о. о., Требјешка 6/26, Никшић, Црна Гора, 2015.

5. **Тадић Б.**, Ранђеловић С., Тодоровић П., Вукелић Ђ., Кочовић В., Богдановић Б., Јеремић М.: Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице, ТР 88/2015, Металик д. о. о., Требјешка 6/26, Никшић, Црна Гора, 2015.

- Категорија М85 (Ново техничко решење у фази реализације):

1. **Тадић Б.**, Ивковић Б., Развој трибометра ТПД-93, Београд, 1993.

2. **Тадић Б.**, Ивковић Б., Развој трибометра ТПД-96, Волос-Грчка, 1996.

3. **Тадић Б.**, Развој машине за обликовање крајева лукова танкозидних цев, Крагујевац, 2000.

4. **Тадић Б.**, Ивковић Б., Тодоровић П., Развој трибометра ТПД-2000, Мондрагон, Шпанија, 2000.

5. **Тадић Б.**, Митровић Р., Развој машине за савијање танкозидних цеви, Крагујевац, 2000.

6. **Тадић Б.**, Реализована конструкција лаке нумеричке машине за обраду дрвета, пластике и осталих неметалних материјала, Крагујевац, 2004.

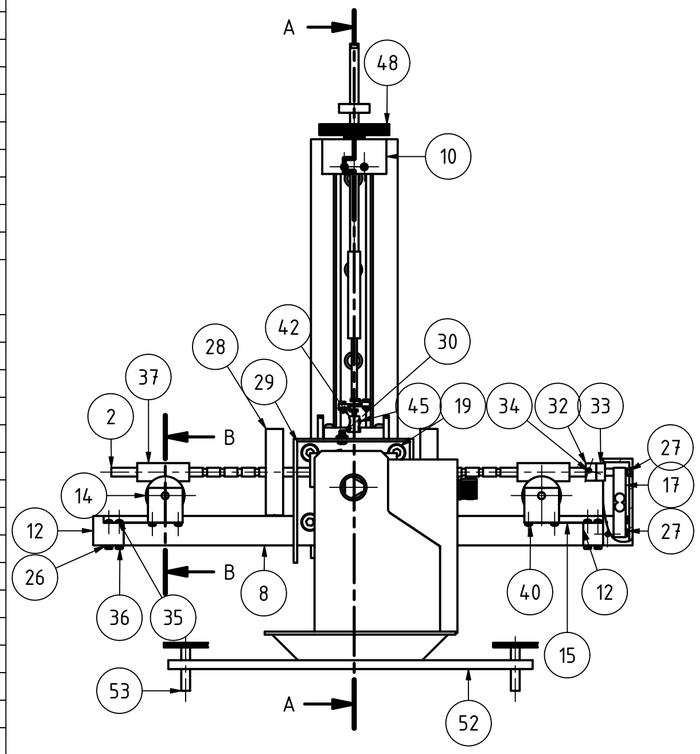
7. **Тадић Б.**, Марјановић Н., Вукелић Ђ., Галовић С.: Уређај за остваривање екстремно високих притисака, 2007.

8. **Тадић Б.**, Бабић М., Митровић С., Тодоровић П., Бобић И., Заједнички мерни систем за универзални трибометар-триболошки мерни центар, ТР 05, Лабораторија за трибологију Машинског факултета у Крагујевцу, Машински факултет, Крагујевац, 2010.

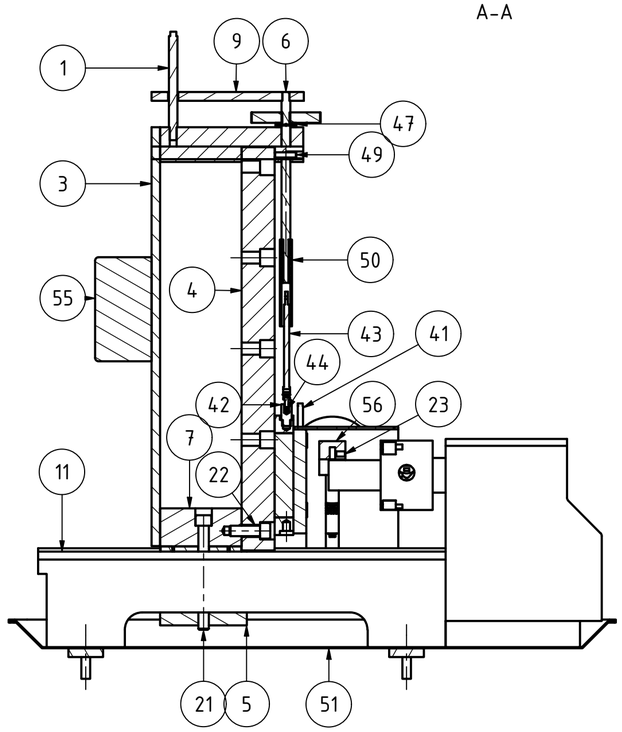
Прилог 2 - Техничка документација техничког решења

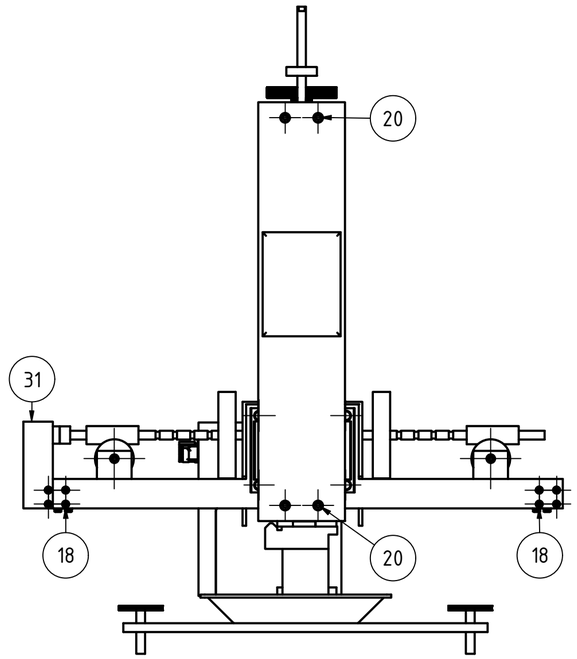
LISTA DELOVA

Pozicija	Količina	Naziv
1	1	Vođica dinamometra
2	2	Prohromska šipka
3	1	Vertikalna ploča
4	1	Klizna staza
5	1	Donja zatezna ploča
6	1	Nosač dinamometra
7	1	Oslona ploča sa klinom
8	1	Noseca ploča
9	1	Ploča za pomeranje
10	1	Nosač dinamometra gornji
11	1	Univerzalni strug
12	2	Nosač opruge
13	2	Osovina za prizmu
14	2	Rotaciona prizma
15	6	Opruga 0,5 mm
16	2	Čaura za prizmu
17	1	Dinamometar sile rezanja
18	8	DIN 7985 (H) - M4x20-H
19	4	DIN 7984 - M12 x 25
20	4	DIN 912 - M6 x 20
21	1	DIN 912 - M12 x 120
22	1	DIN 912 - M12 x 35
23	2	DIN 916 - M6 x 12
24	1	DIN 916 - M6 x 16
25	4	DIN 625 SKF - SKF 61800
26	12	DIN 125 - A 4.3
27	3	DIN 7985 (H) - M4x22-H
28	6	Teg
29	1	Zaštita 1
30	1	DIN 71412 - AM10 x 1 coned short
31	1	Zastita 2
32	1	Šešir šipke
33	1	Stabilizator
34	1	DIN 913 - M5 x 5
35	4	DIN 7985 (H) - M4x30-H
36	10	DIN 555-5 - M4
37	1	Cev za ležajeve
38	2	DIN 125 - A 5.3
39	2	DIN 555-5 - M5
40	6	DIN 7985 (H) - M4x8-H
41	2	Nosač zaštite
42	1	Veza dinamometra i kolica
43	1	Dinamometar normalne sile
44	1	ISO 7046-1 - M3 x 12 - 4.8 - H
45	1	DIN 555-5 - M3
46	1	DIN 5405 T2 - AXK1024 - 10 x 24 x 2
47	2	Aksijalni ležaj
48	1	Radlovani disk
49	2	DIN 913 - M6 x 25
50	1	Elastična veza
51	1	Korito
52	2	Oslonac
53	4	Osloni zavrtanj
54	2	DIN 625 SKF - SKF 626
55	1	Računarska jedinica
56	1	Nosač alata

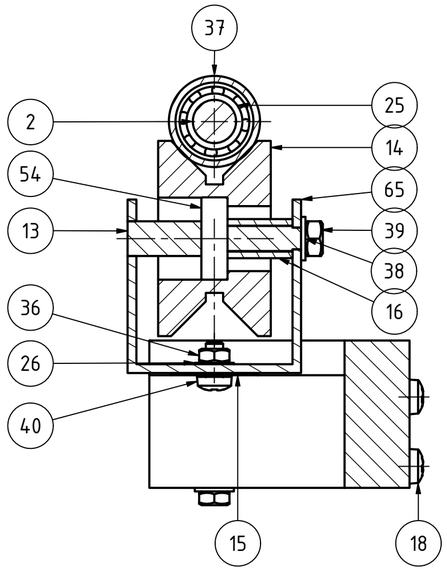


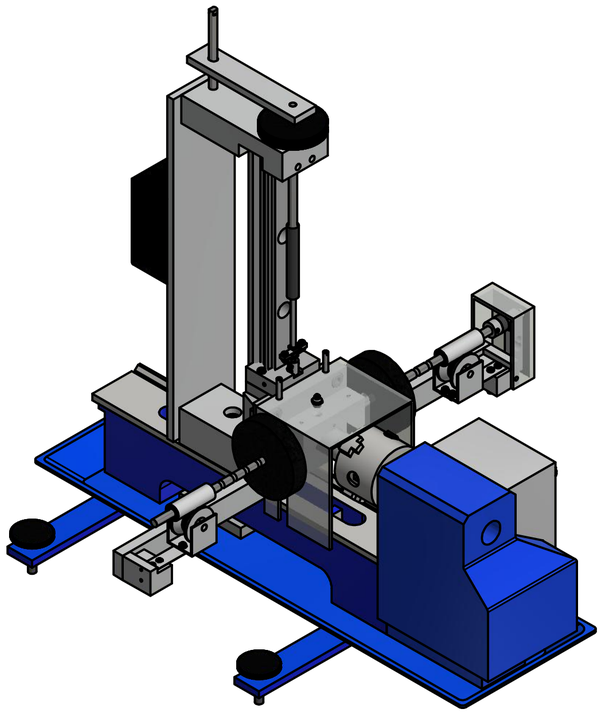
A-A



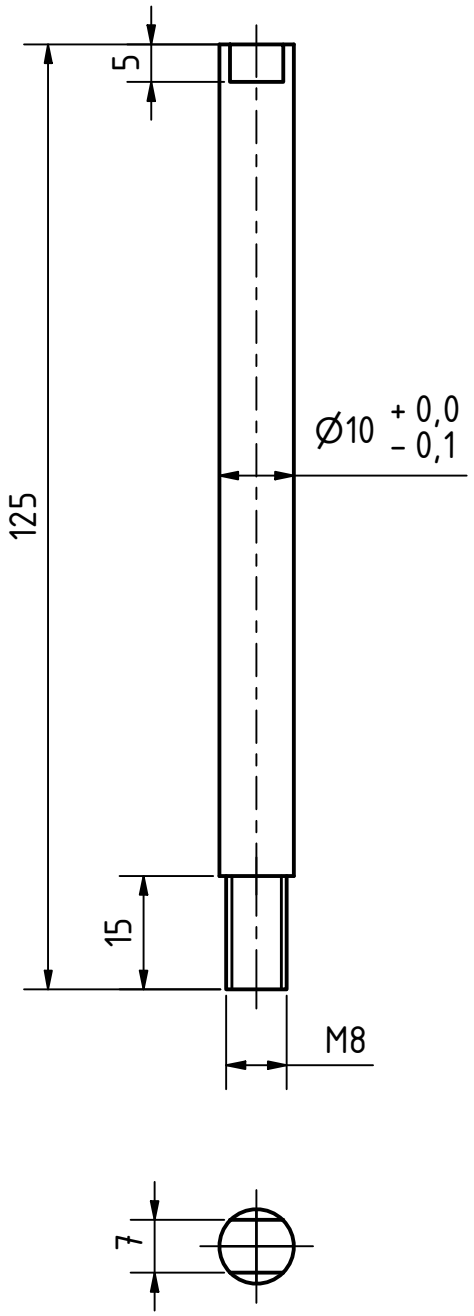


B-B (1 : 1)

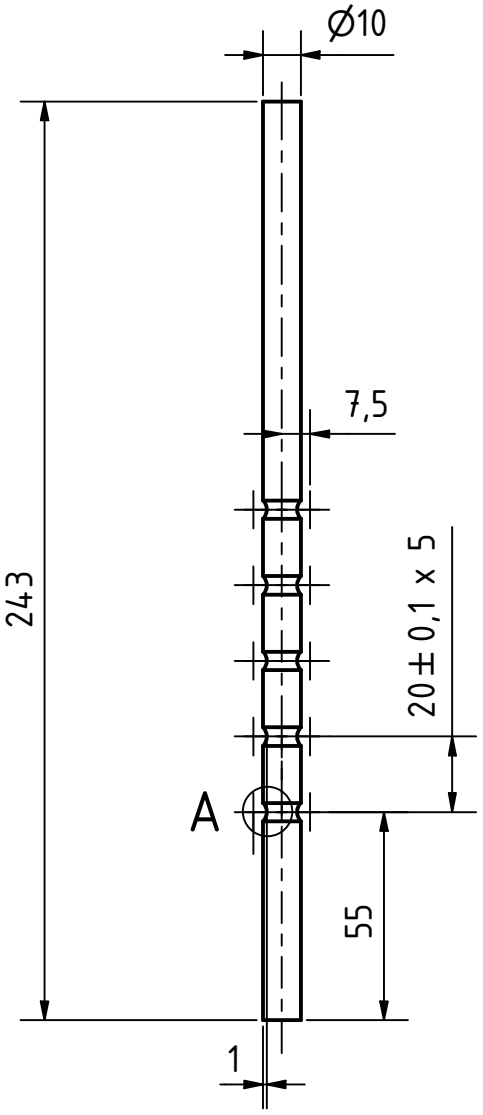




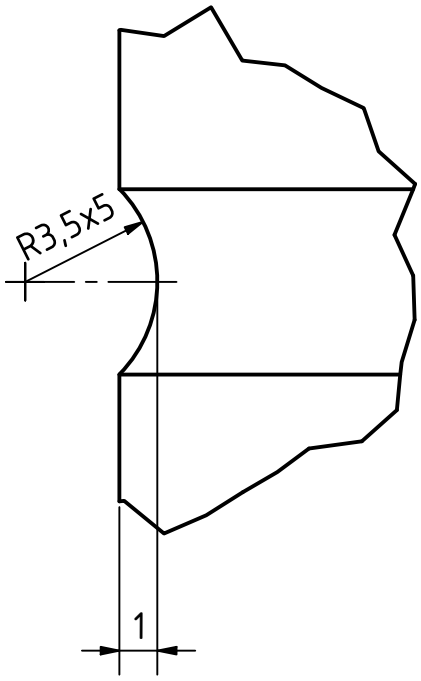
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal:		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 5
Datum:	11/6/2017	Naziv: Sklop uređaja za ispitivanje	
Obradio:	Vladimir Kočović		
Datum:	11/21/2017		
Odobrio:	Branko Tadić		
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka:	List: 1 / A2
Stare / Izmene / Datum / Ime			



Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: X5 CrNiMo 17-12-2		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Vodjica dinamometra	
Obradio: Vladimir			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 1	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			

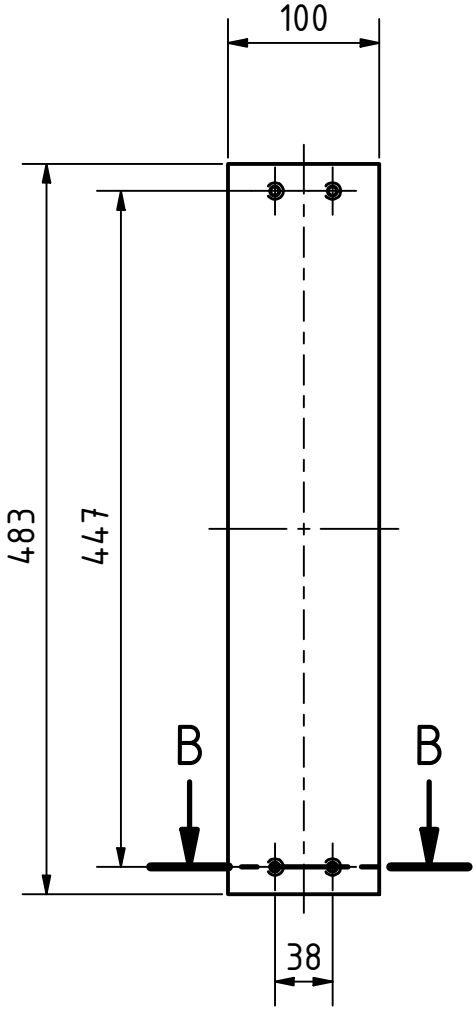


A (5 : 1)

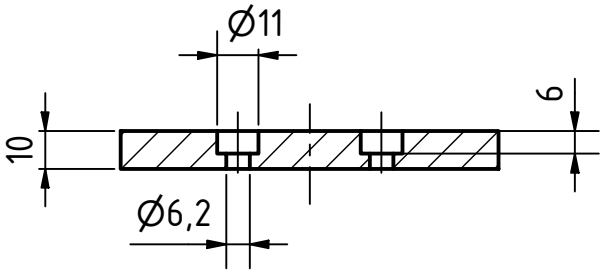


Napomena: Sve oštre ivice oboriti 0,5mm x 45°

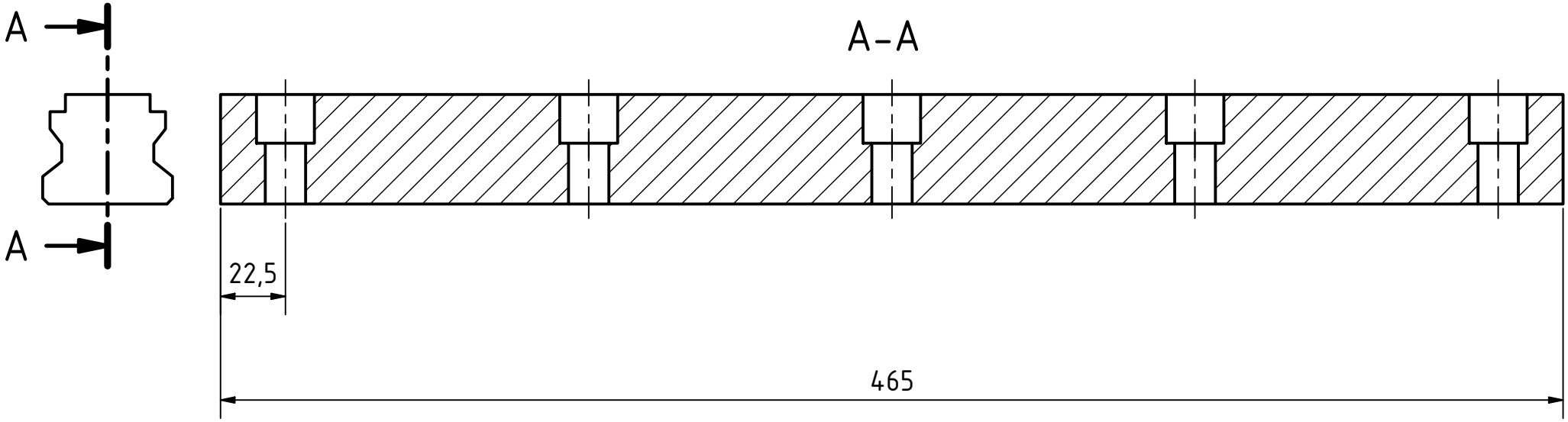
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: X5 CrNiMo 17-12-2		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/6/2017		Naziv: Prohromska šipka	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 2	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			



B-B (1 : 2)

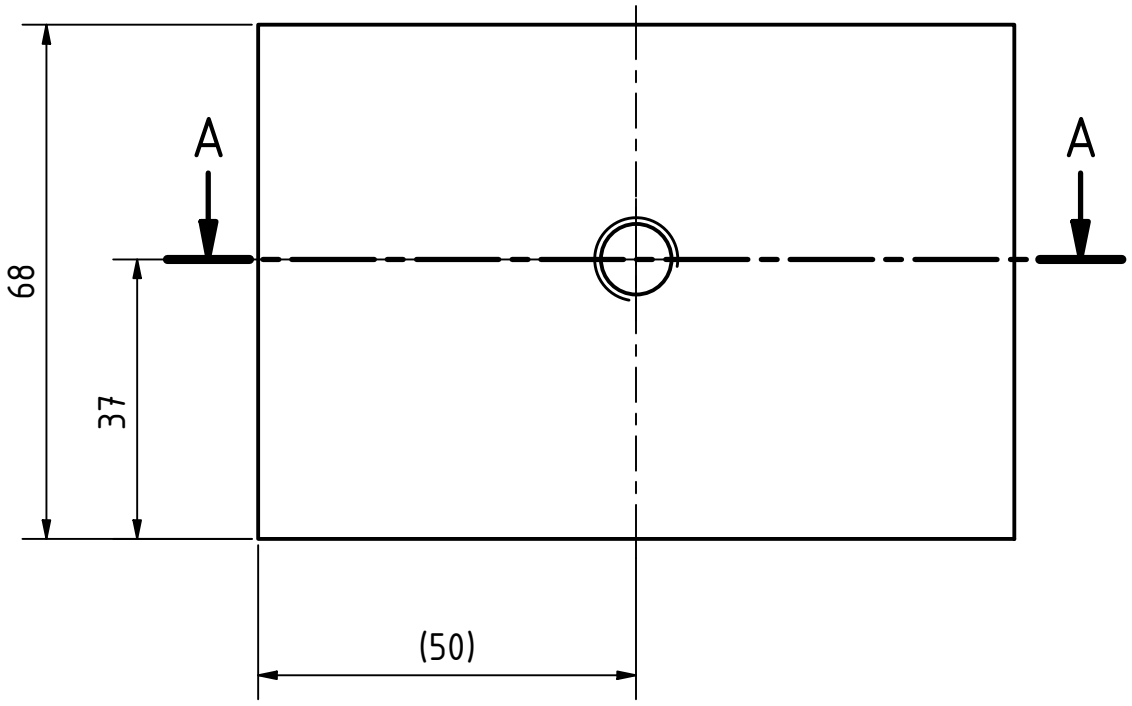


Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 5
Datum: 11/6/2017		Naziv: Vertikalna ploča	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 3	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			

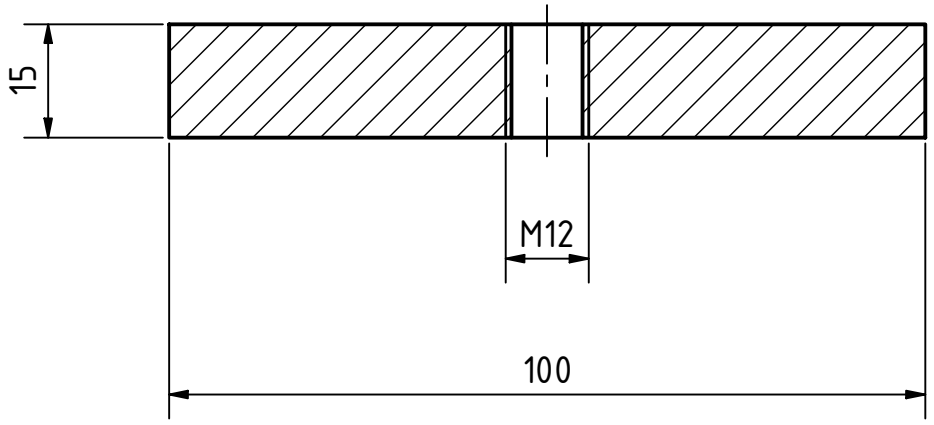


Napomena: Kliznu stazu HGH45CA odseći prema dostavljenim merama

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal:		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/6/2017		Naziv: Klizna staza HGH45CA	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 4	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			

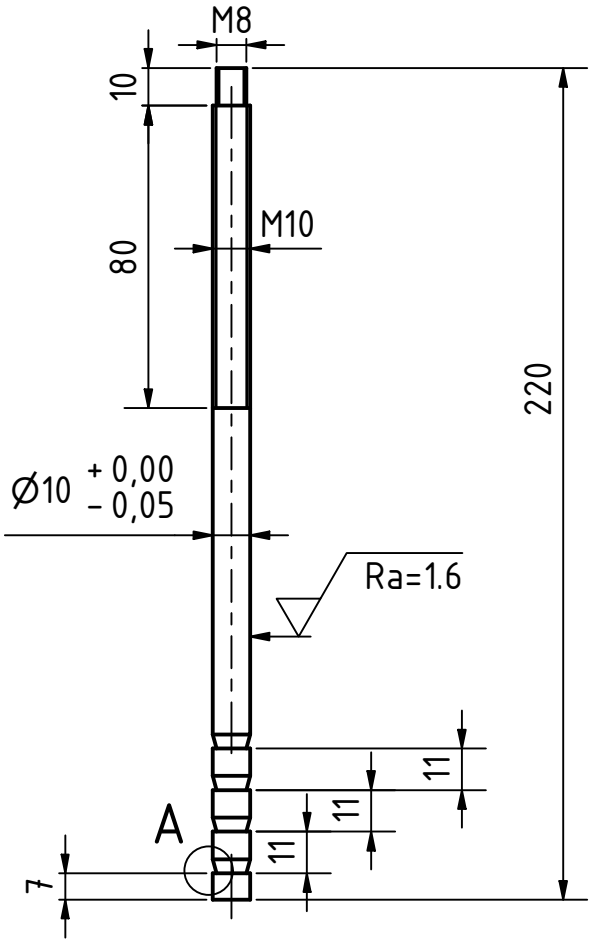


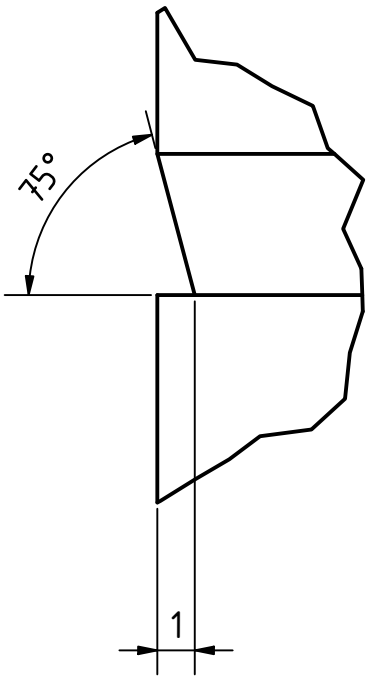
A–A



Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

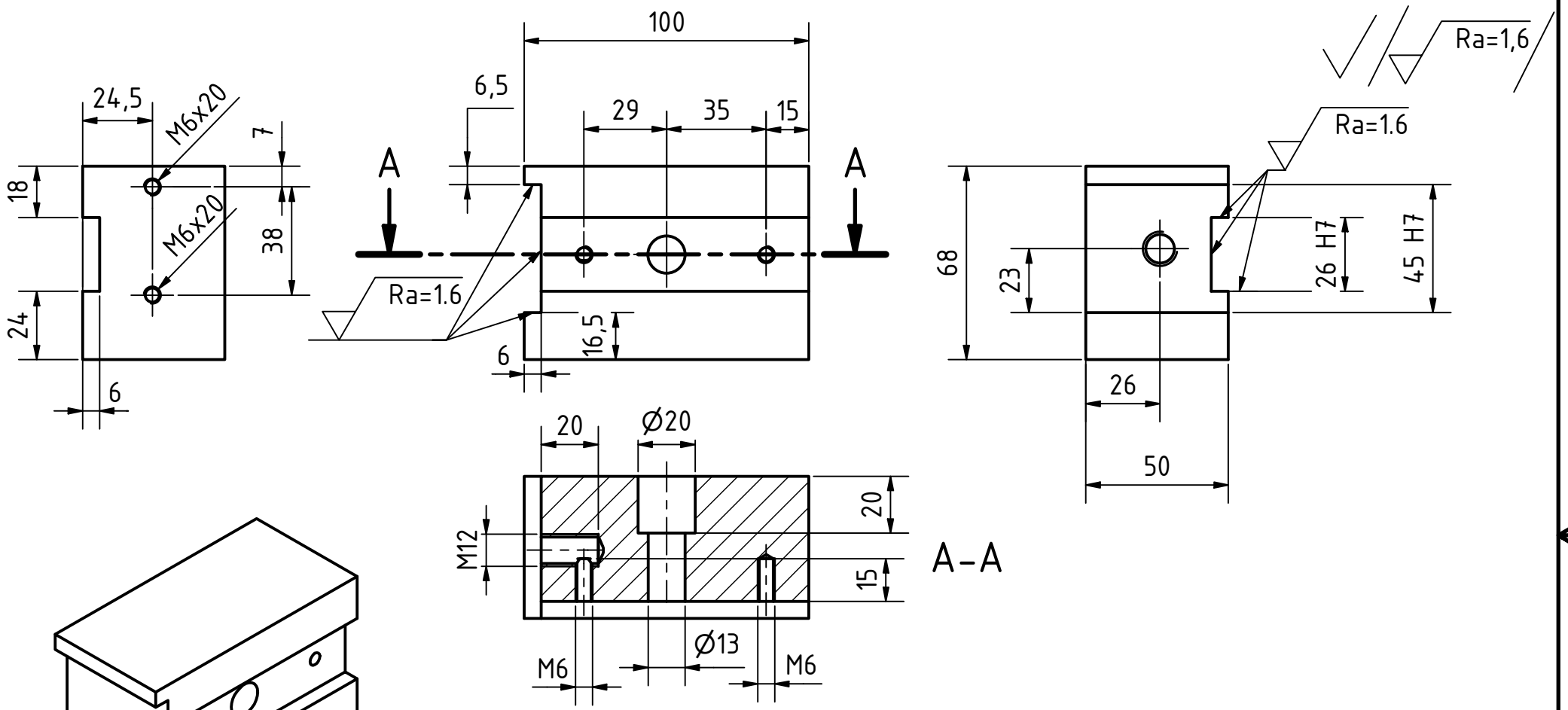
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:		Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi						Termička obrada:	
						Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 1
				Datum:	11/6/2017	Naziv: Donja zatezna ploča	
				Obradio:	Vladimir Kočović		
				Datum:	11/21/2017		
				Odobrio:	Branko Tadić		
				Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 5	List: 1 / A4
State	Izmene:	Datum:	Ime:				





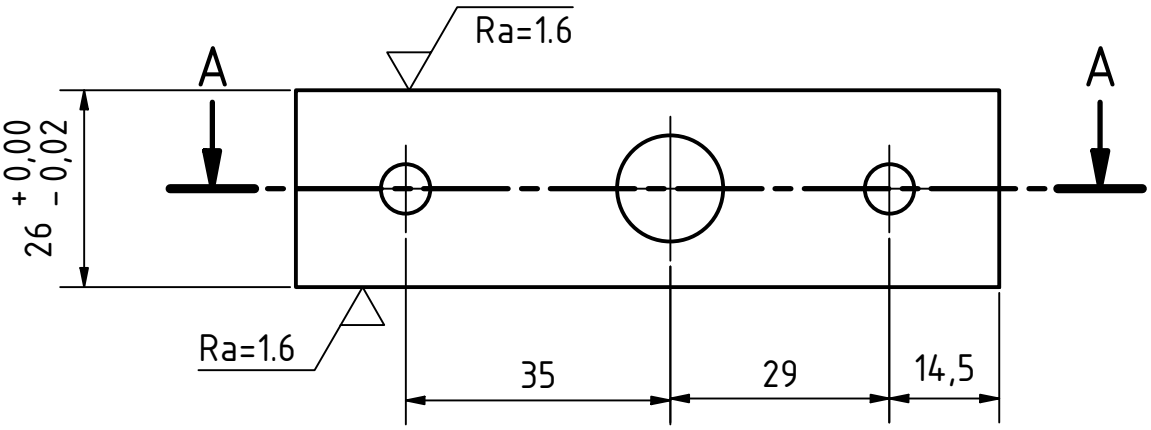
Ra=1,6

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: X5 CrNiMo 17-12-2		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/3/2017		Naziv: Nosač dinamometra	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 6	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

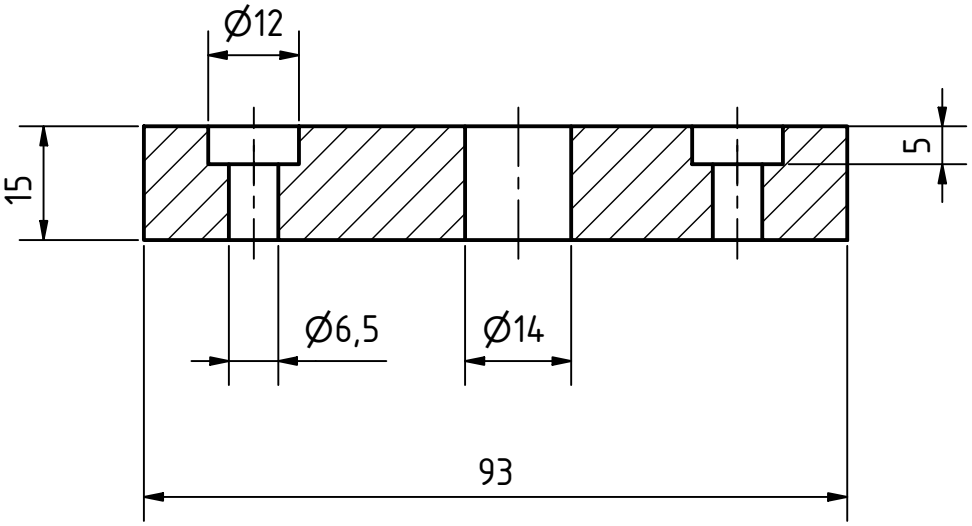


Napomene:
-Sve oštre ivice oboriti 0,5mm x 45°
-Otvore M6 (x2) i Ø13 bušiti u sklopu sa pozicijom 7/1

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/4/2017		Naziv: Oslona ploča	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 7	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

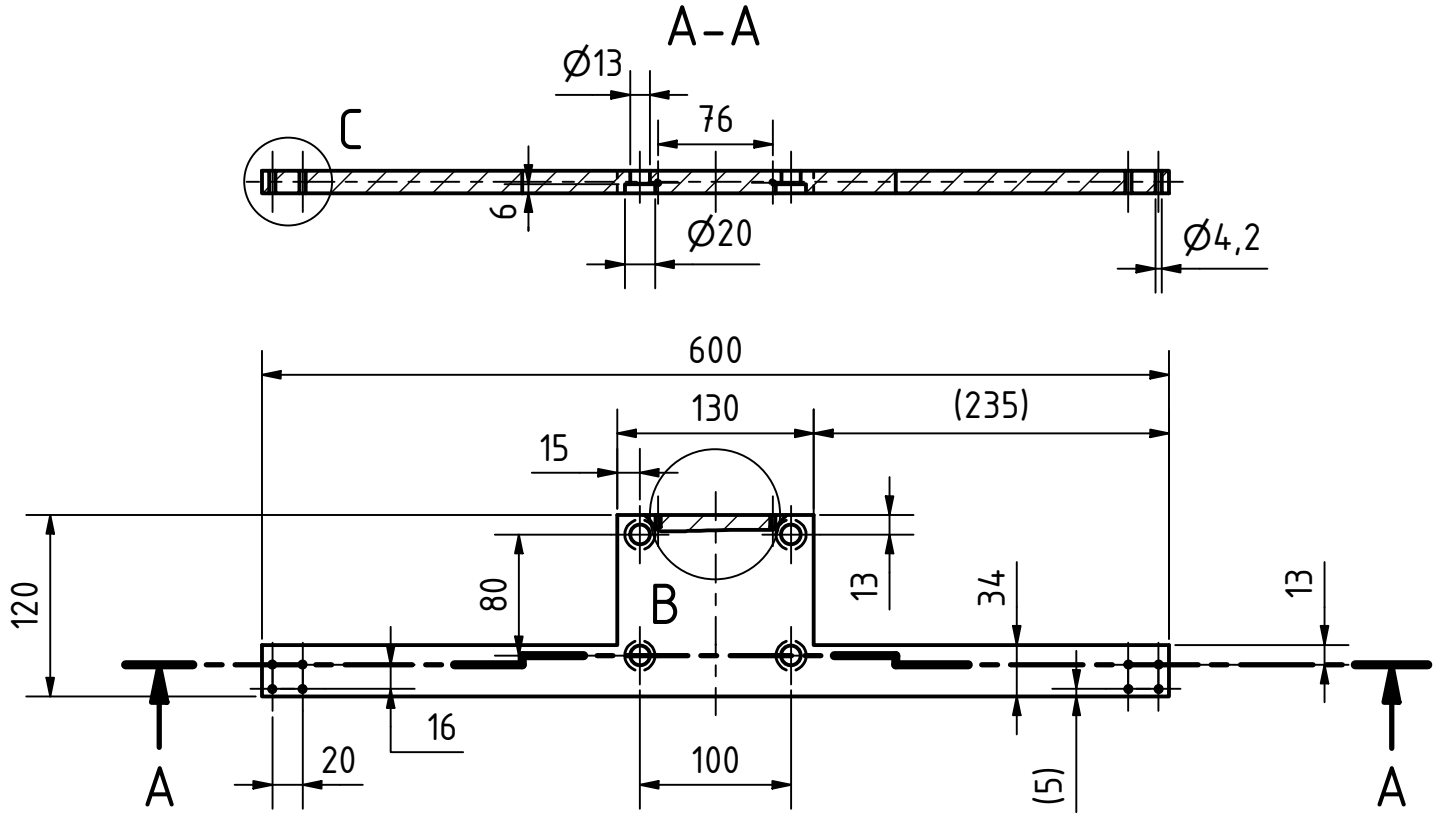


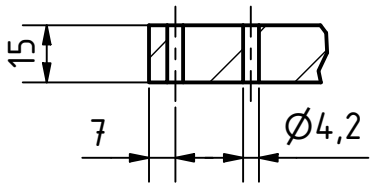
A–A

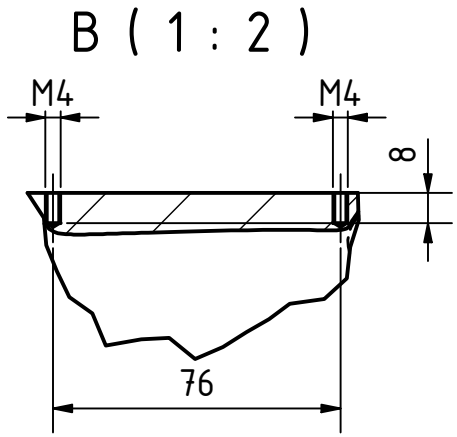


Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:
		Broj komada: 1 / Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum: 11/4/2017		Naziv: Klin za sto masine
Obradio: Vladimir Kočović		
Datum: 11/21/2017		
Odobrio: Branko Tadić		
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 7/1 / List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:		

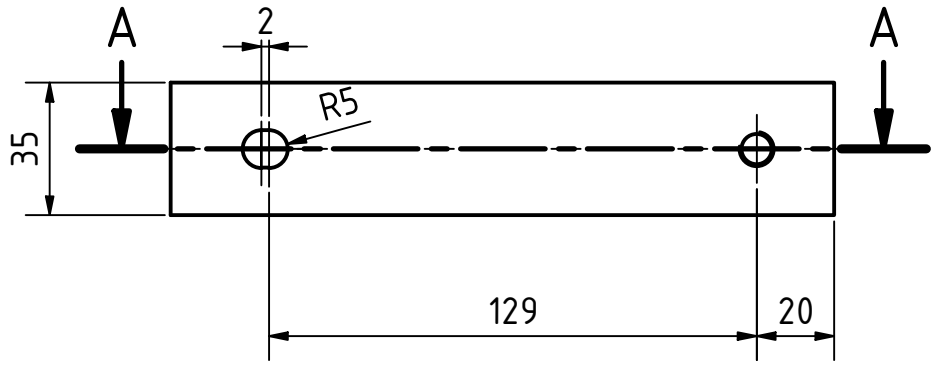




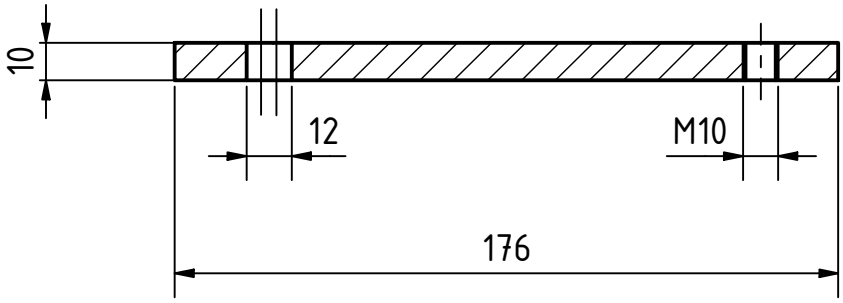


Napomena: Sve oštre ivice oboriti 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 5
Datum: 11/3/2017		Naziv: Noseca ploča	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 8	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			



A–A



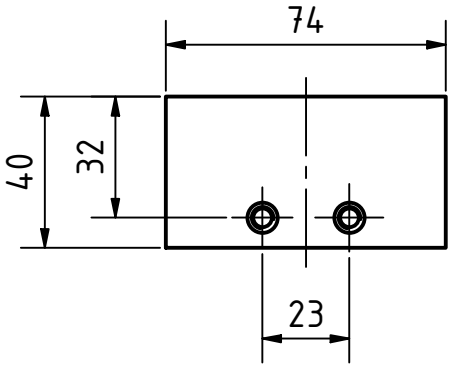
Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

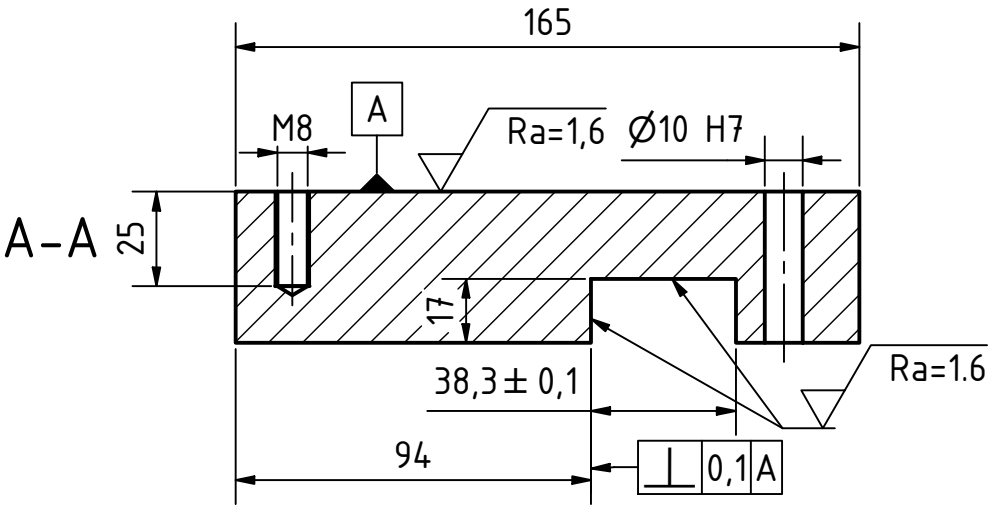
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:
		Broj komada: 1 / Masa: / Razmera: 1 : 2

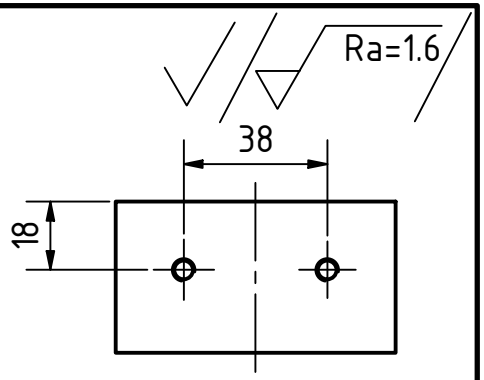
Datum:	11/3/2017	Naziv: Ploča za pomeranje
Obradio:	Vladimir Kočović	
Datum:	11/21/2017	
Odobrio:	Branko Tadić	

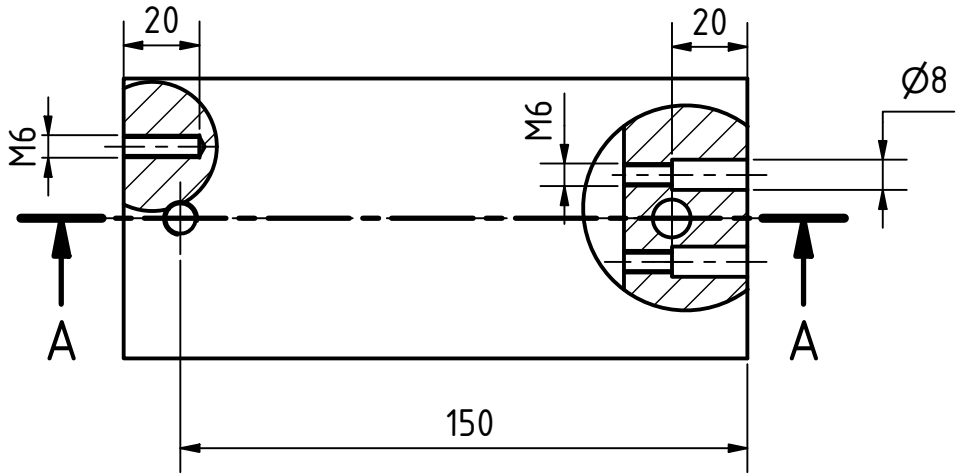
Fakultet inženjerskih nauka	Oznaka: Pozicija 9	List: 1 / A4

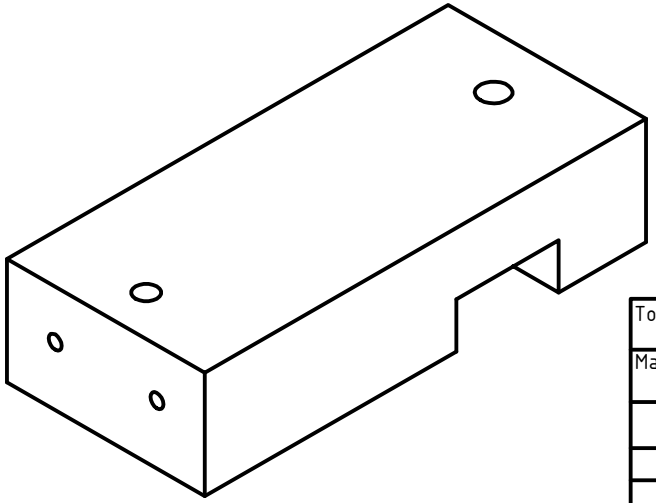
State	Izmene:	Datum:	Ime:





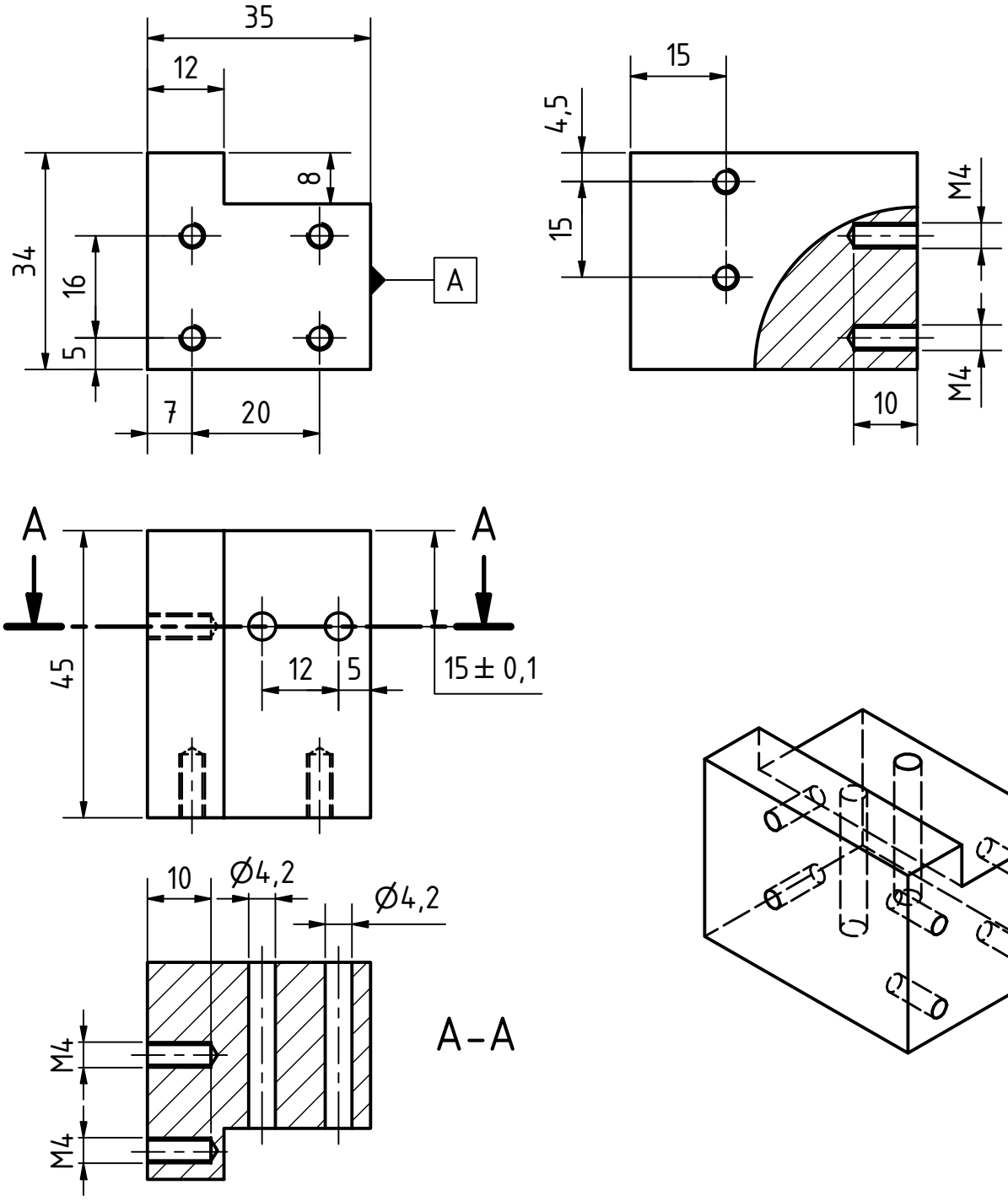






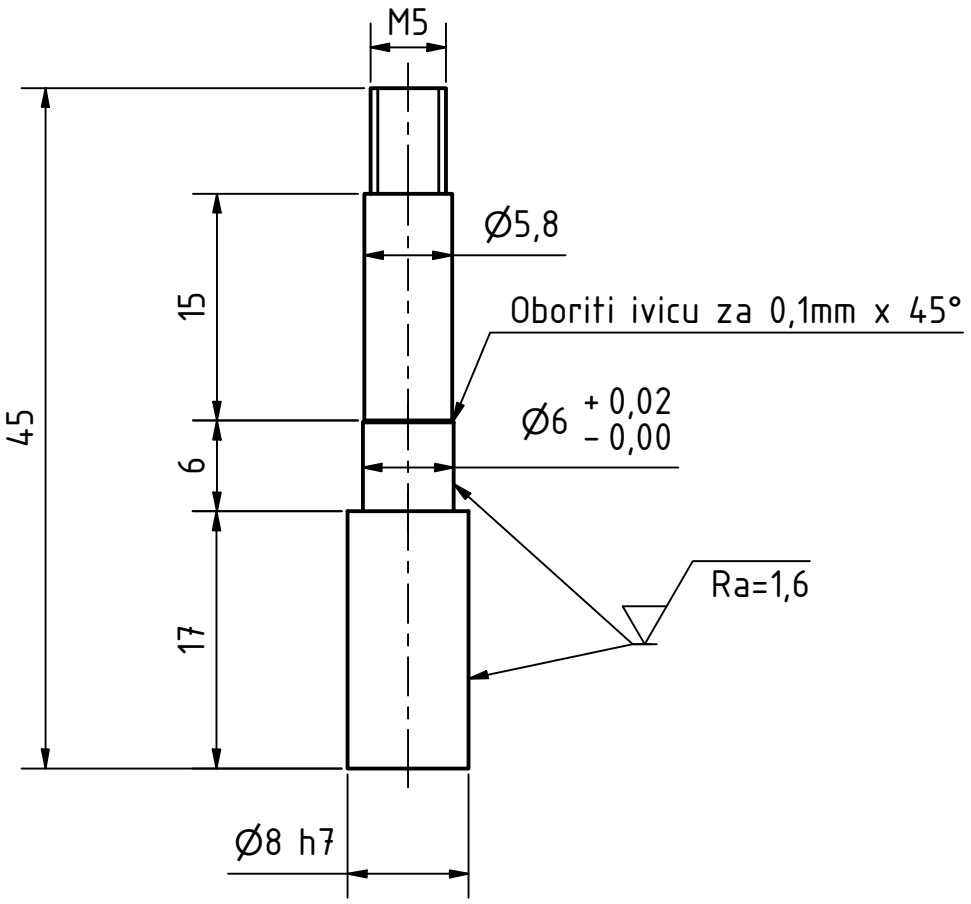
Napomena:
Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/3/2017		Naziv: Nosač dinamometra gornji	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 10	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

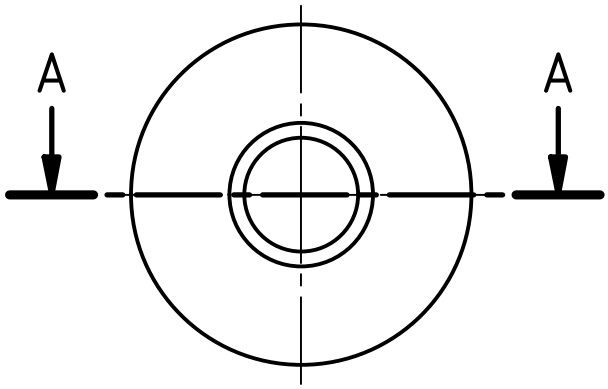


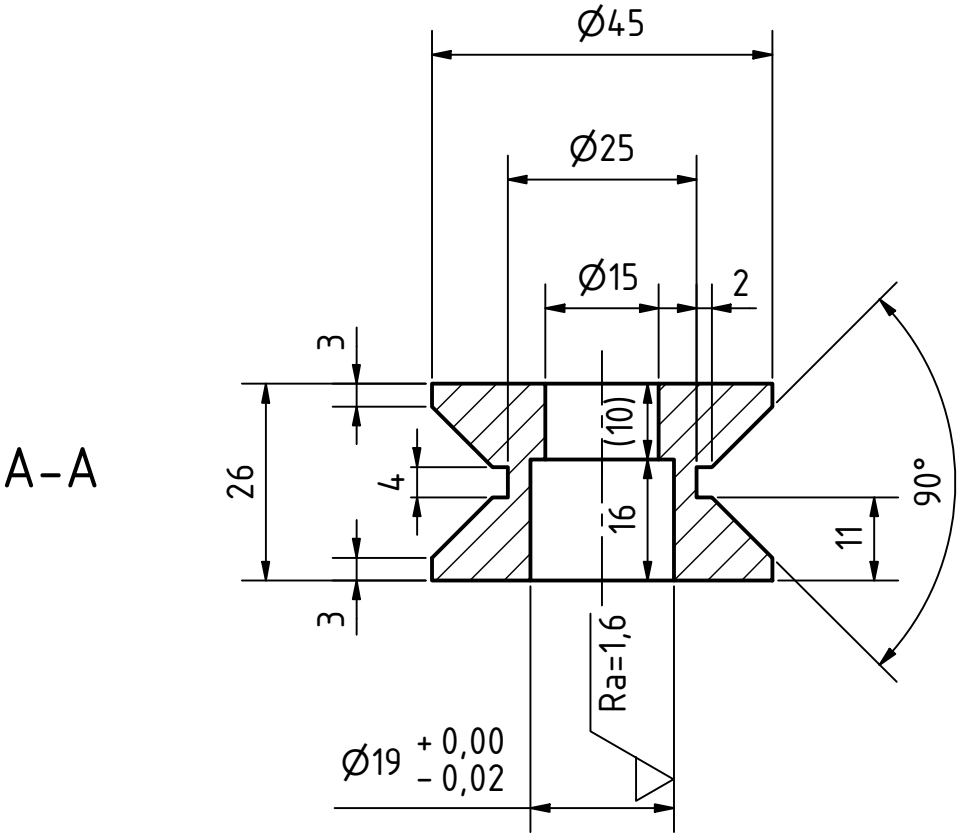
Napomene: - Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°
- Drugi komad je pogled u ogledalu prvog komada preko površine A
- Svi otvori na istoj stranici komada su istih dimenzija

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:		Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi						Termička obrada:	
						Broj komada: 2	Masa:	Razmera: 1 : 1
				Datum:	11/6/2017	Naziv: Nosač opruge	
				Obradio:	Vladimir Kočović		
				Datum:	11/21/2017		
				Odobrio:	Branko Tadić		
				Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 12	List: 1 / A4
State	Izmene:	Datum:	Ime:				



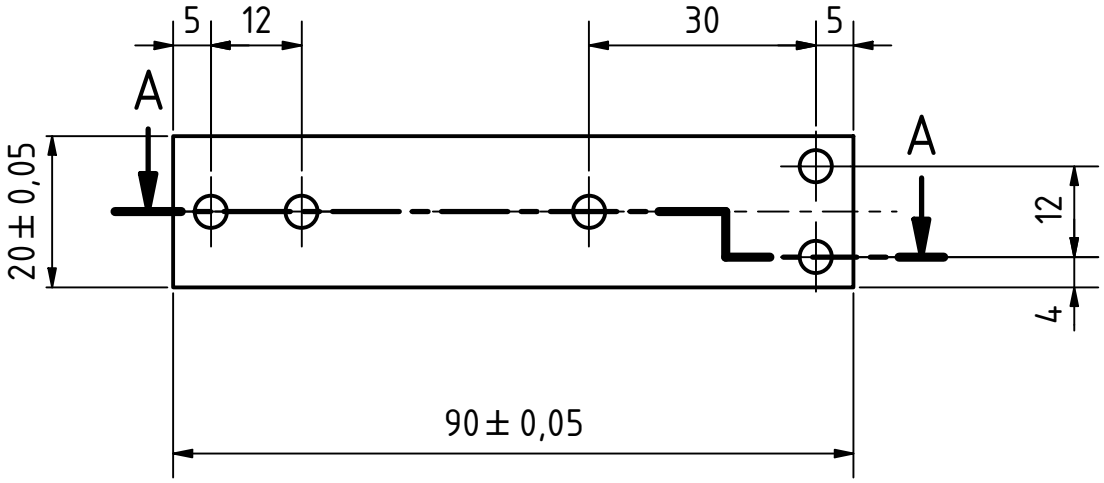
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 2	Masa: / Razmera: 2 : 1
Datum: 11/4/2017		Naziv: Osovina za prizmu	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 13	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			



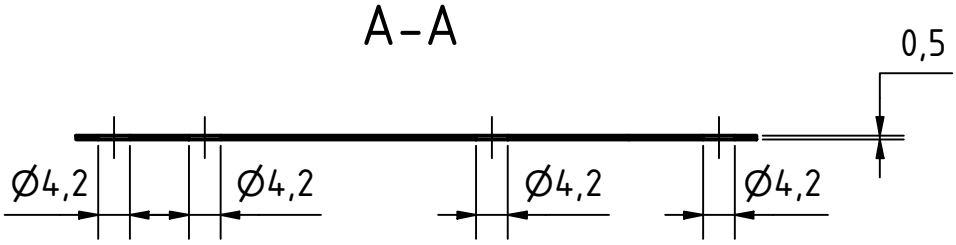


Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:		Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi						Termička obrada:	
						Broj komada: 2	Masa:	Razmera: 1 : 1
				Datum:	11/4/2017	Naziv: Rotirajuća prizma	
				Obradio:	Vladimir Kočović		
				Datum:	11/21/2017		
				Odobrio:	Branko Tadić		
				Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 14	List: 1 / A4
State	Izmene:	Datum:	Ime:				

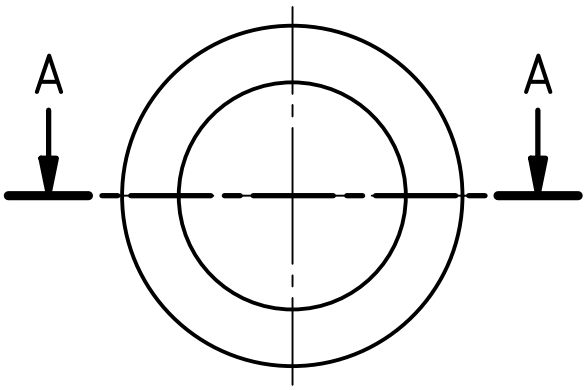


A–A

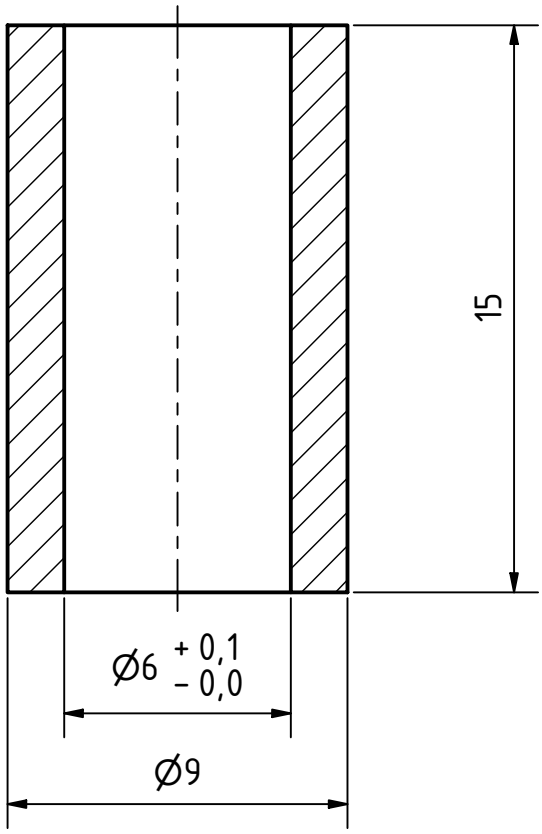


Napomena: Sve oštre ivice oboriti 0,1mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: 1 CS 60		Termička obrada:	
		Broj komada: 6	Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Opruga 0,5 mm	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2007			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 15	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

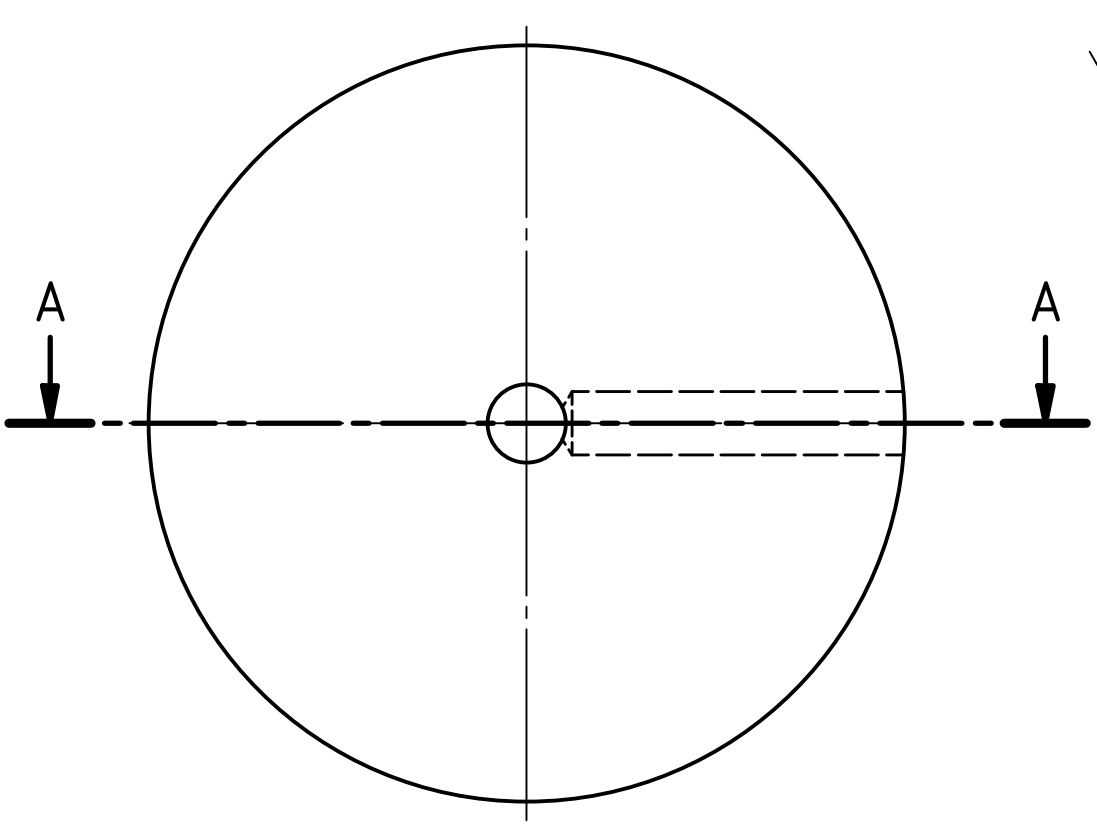


A–A

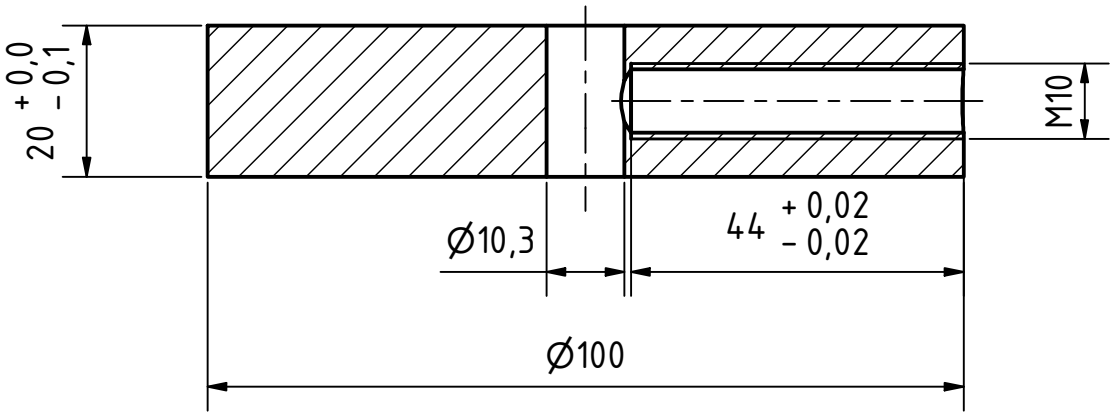


Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 2	Masa: / Razmera: 5 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Čaura za prizmu	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 16	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			

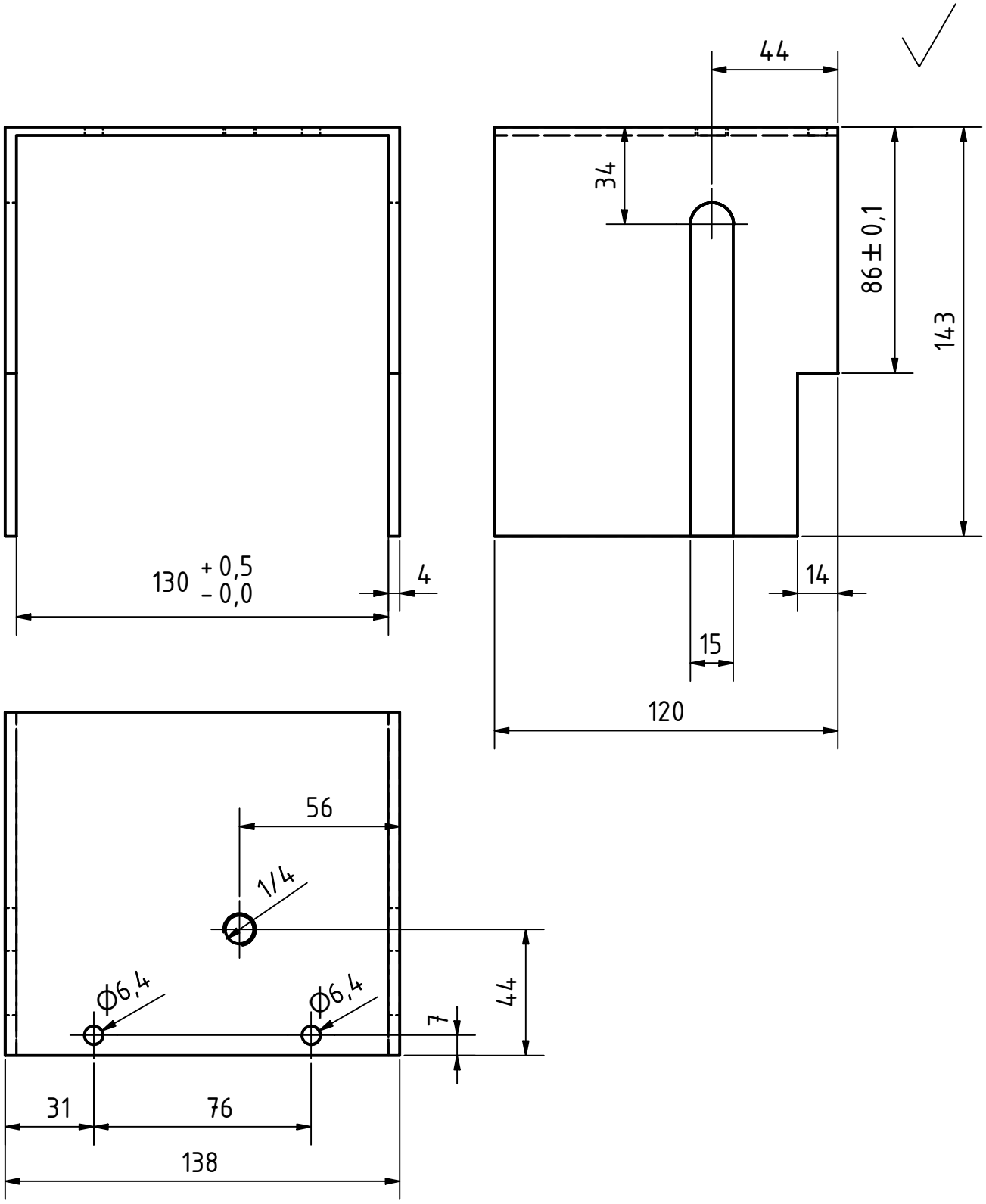


A–A

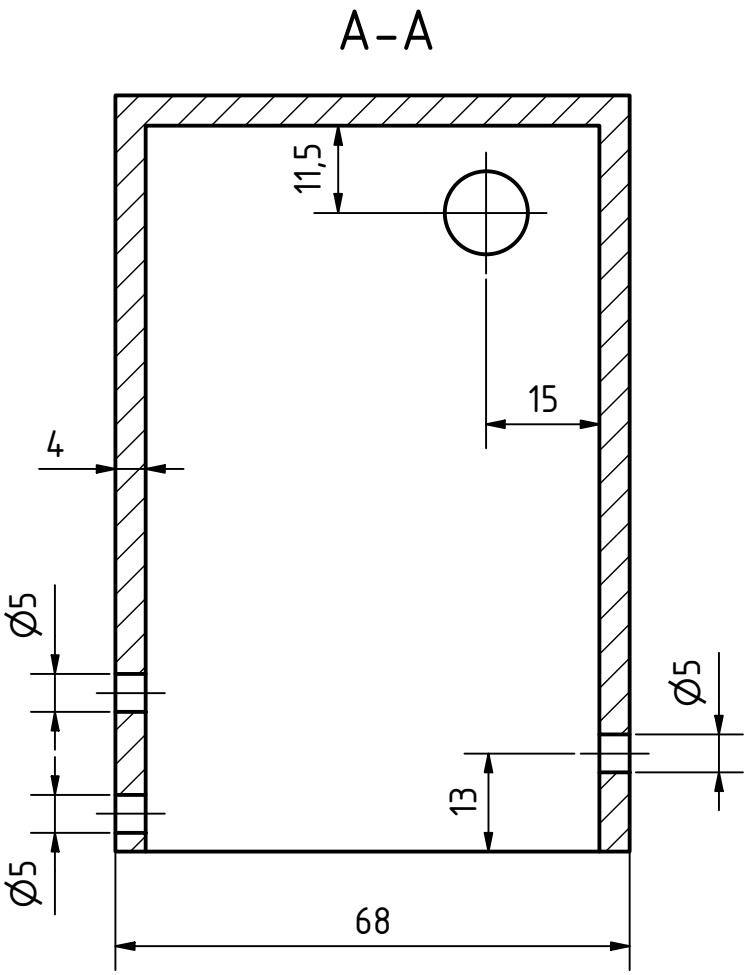


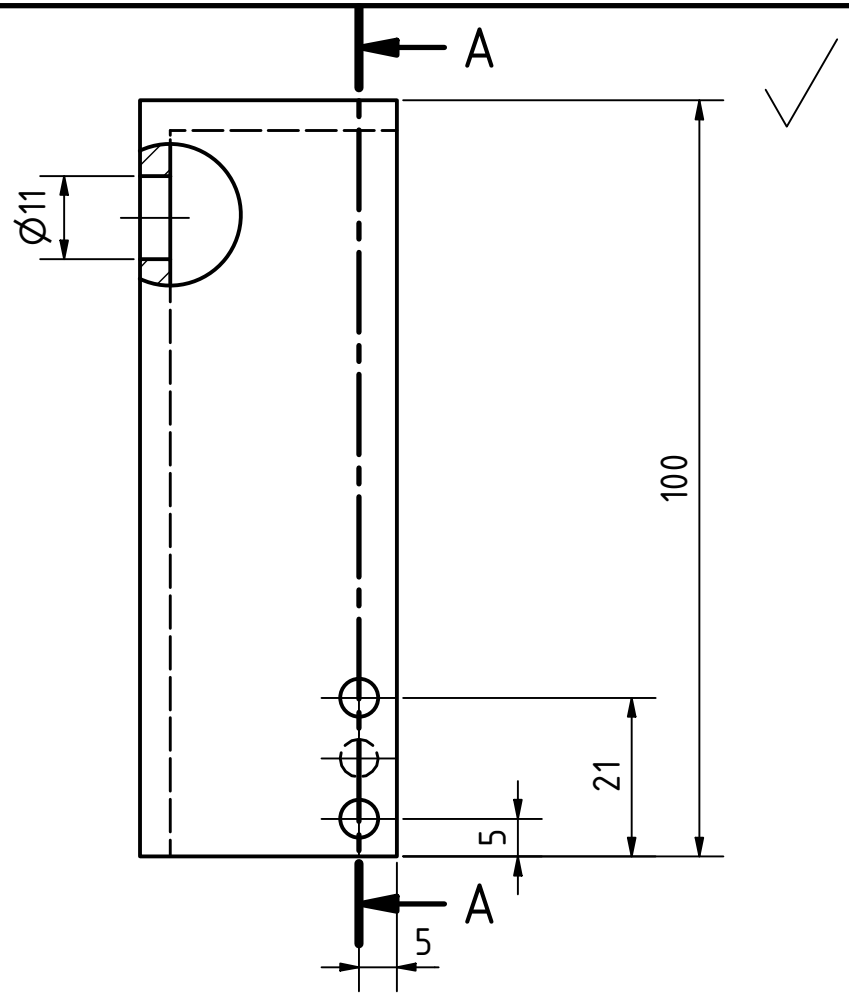
Napomene:
- Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°
- Svi tegovi moraju biti iste mase
- Masu tegova korigovati promenom prečnika

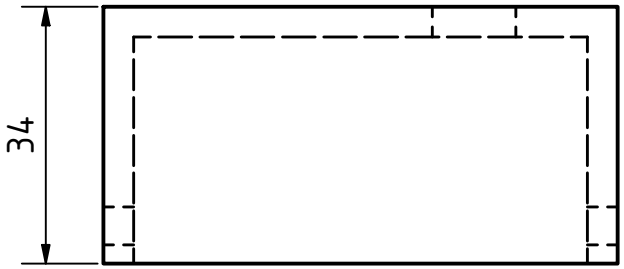
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: S235 JR		Termička obrada:	
		Broj komada: 6	Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Teg	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 28	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			



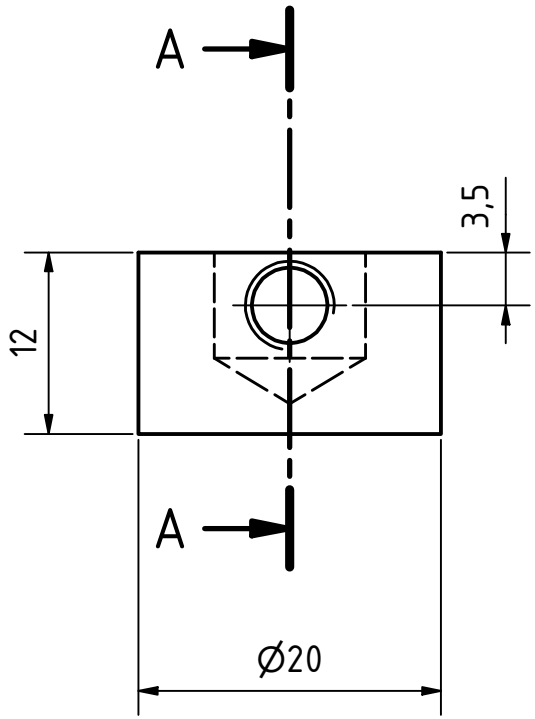
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: Pleksiglas providni		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/6/2017		Naziv: Zaštita	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 29	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

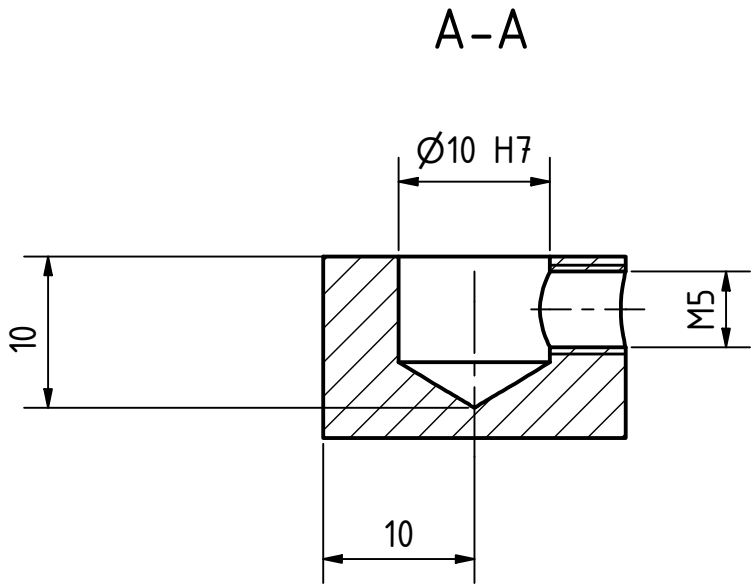




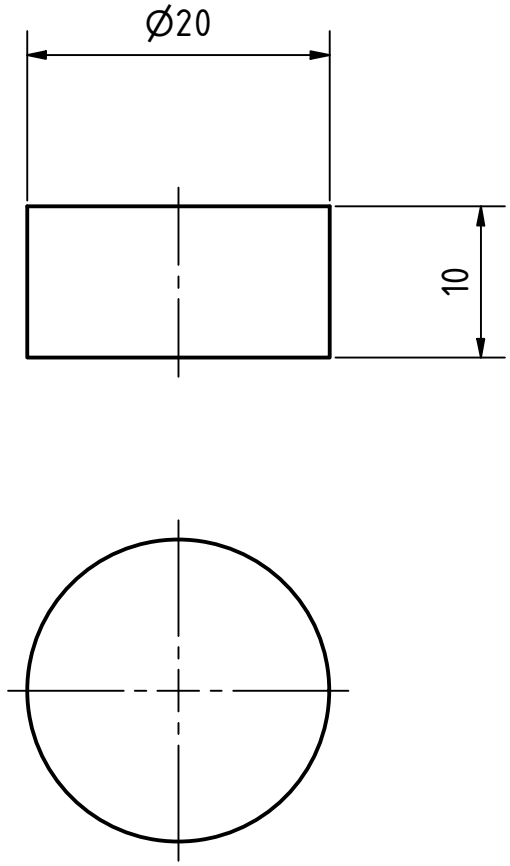


Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: Pleksiglas providni		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum:	11/6/2017	Naziv: Zaštita 2	
Obradio:	Kočović Vladimir		
Datum:	11/21/2017		
Odobrio:	Branko Tadić		
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 31	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			



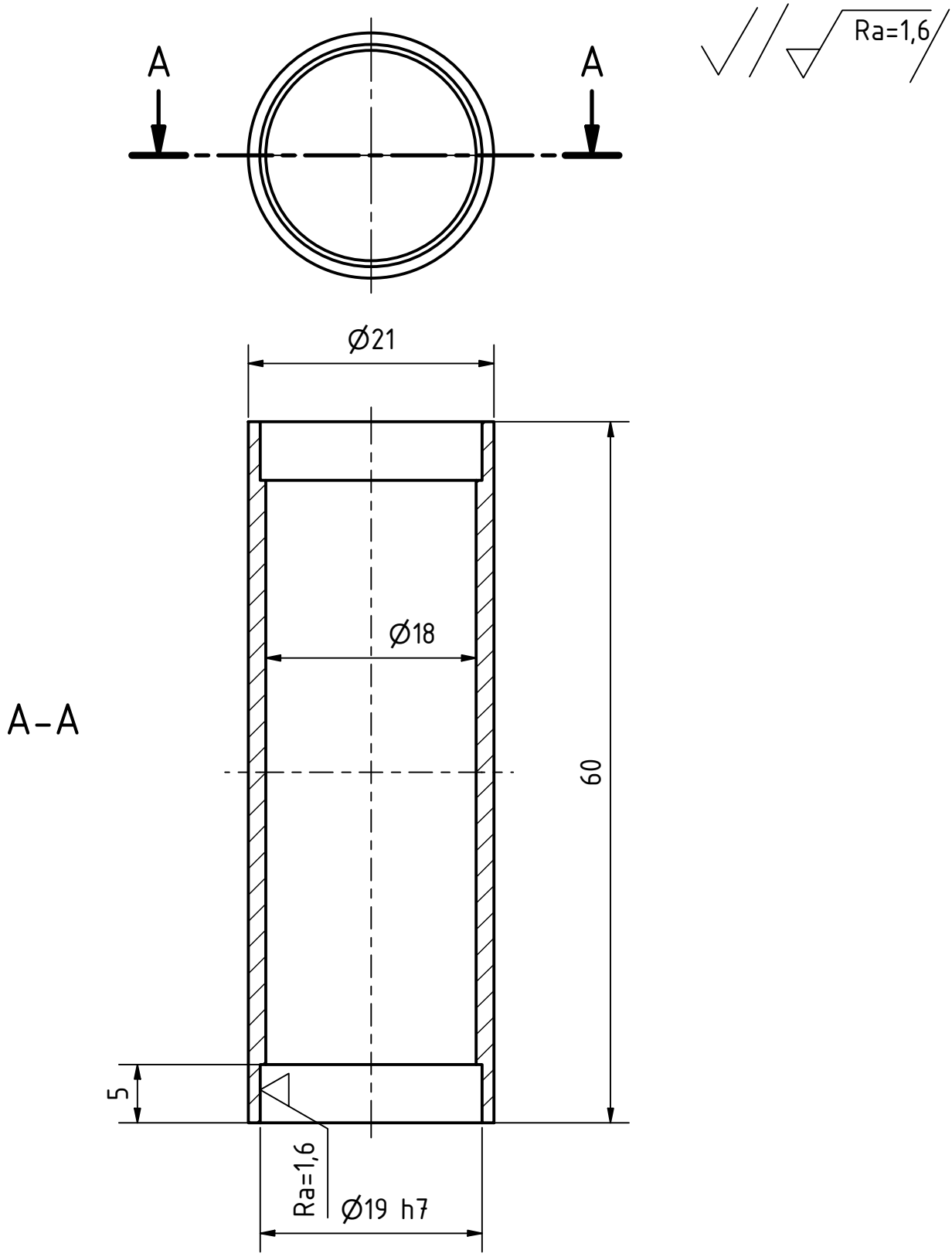


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:		Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi						Termička obrada:	
						Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 2 : 1
				Datum:	11/6/2017	Naziv: Šešir šipke	
				Obradio:	Vladimir Kočović		
				Datum:	11/21/2017		
				Odobrio:	Branko Tadić		
				Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 32	List: 1 / A4
State	Izmene:	Datum:	Ime:				

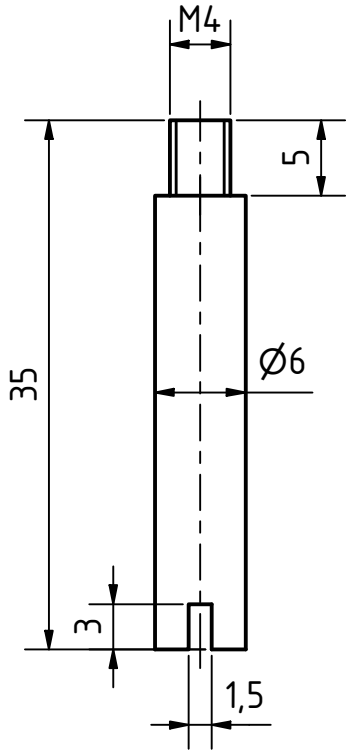


Napomena: Komad odseći od materijala FIBROELAST-Round rod 2531.4.020 prečnika Ø20 na potrebnu dužinu

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: Polyester		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 2 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Stabilizator	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 33	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			

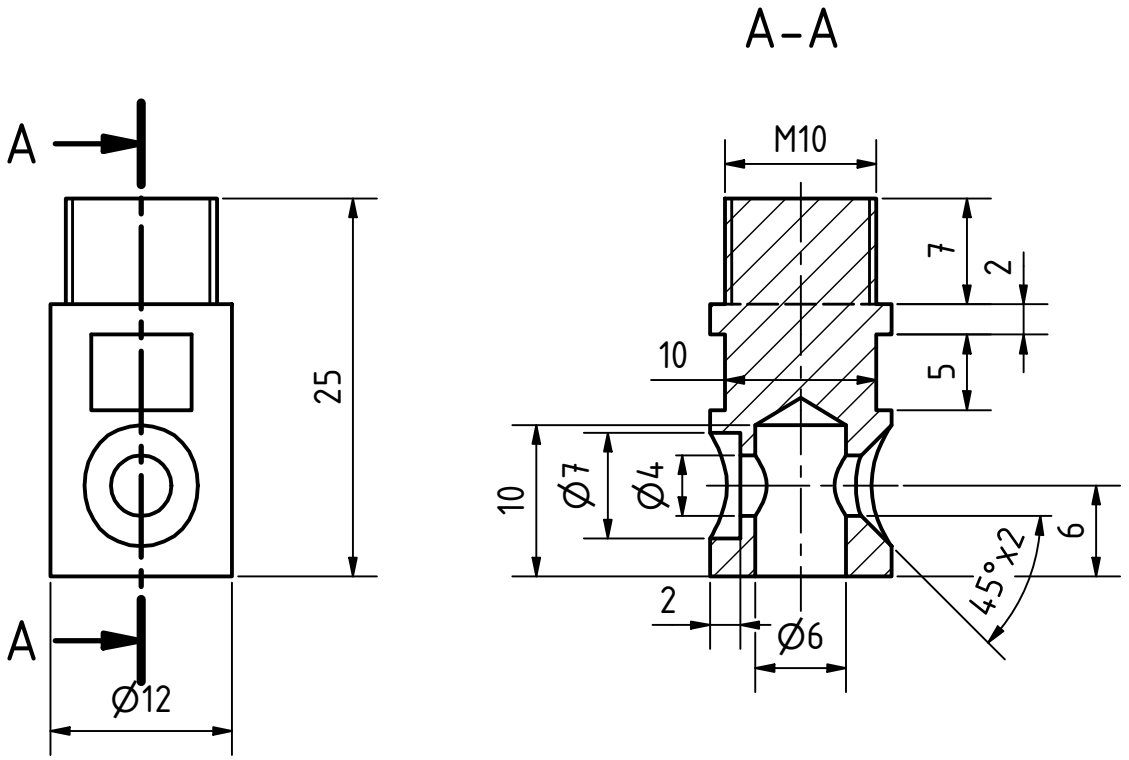


Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 2	Masa: / Razmera: 2 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Cev za ležajeve	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 37	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

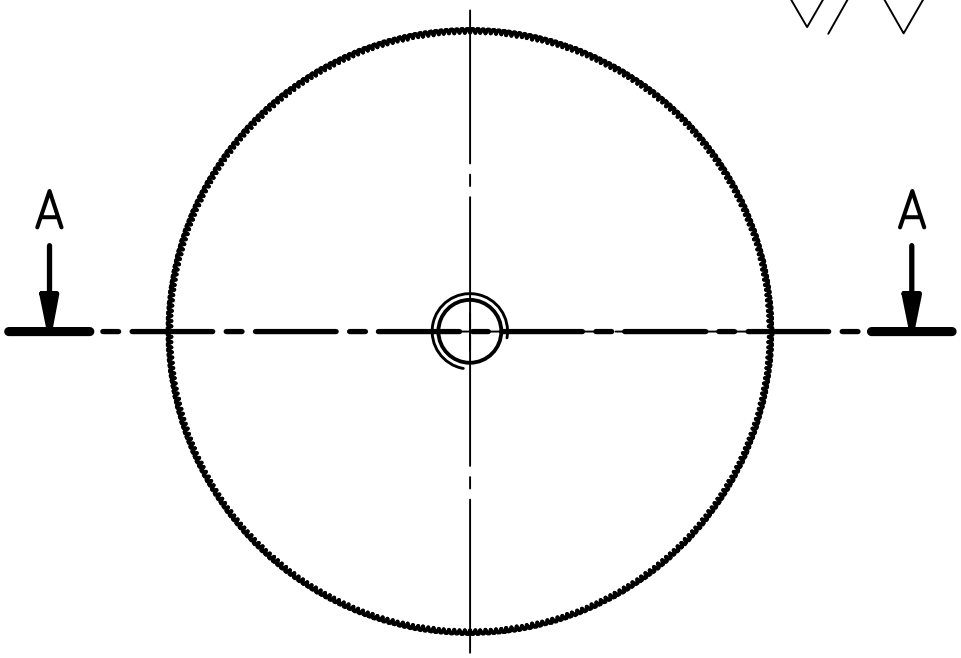


Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

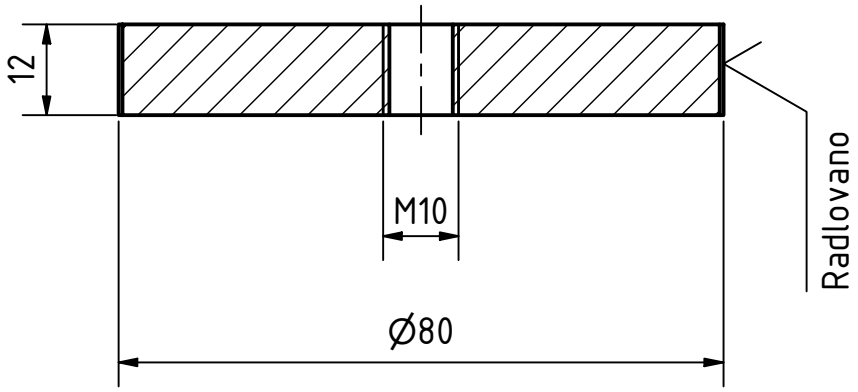
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:	
		Broj komada: 2	Masa: / Razmera: 2 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Nosač zaštite	
Obradio: Kočović Vladimir			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 41	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			



Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: S235JR		Termička obrada:	
		Broj komada: 1	Masa: / Razmera: 2 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Veza dinamometra i kolica	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2007			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 42	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			

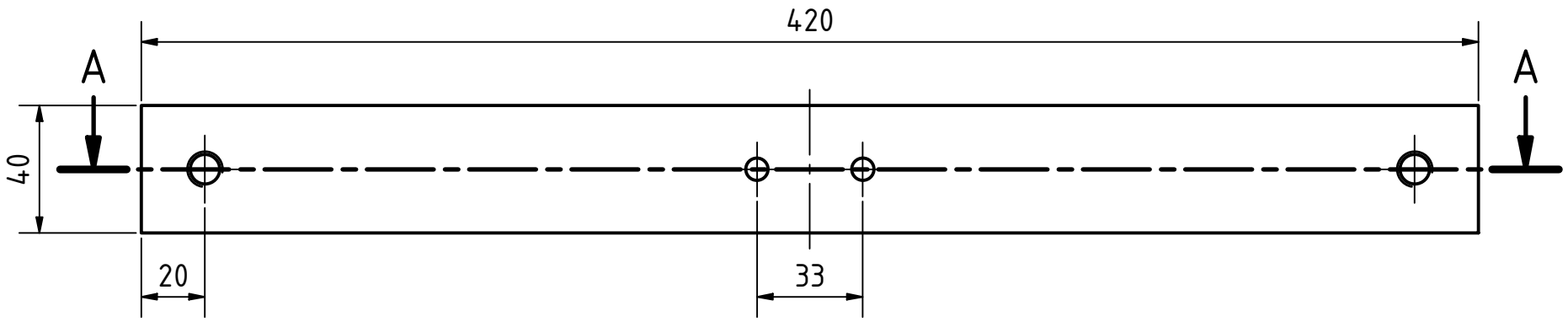


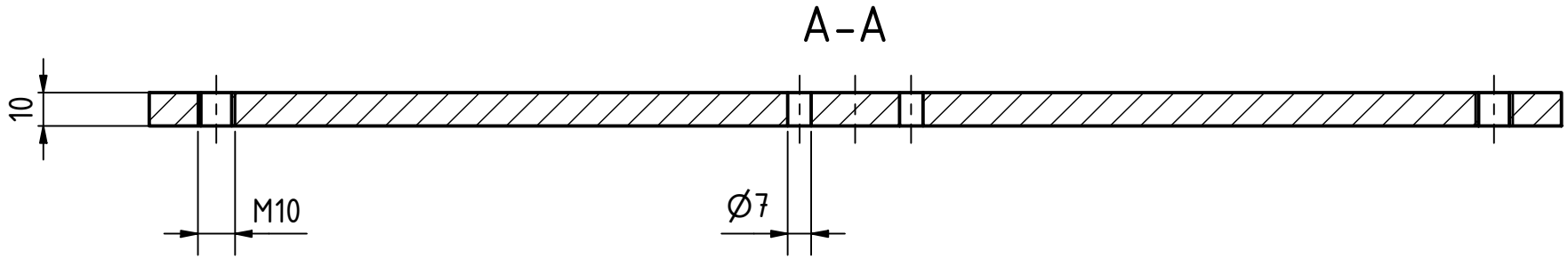
A–A



Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:		Površinska zaštita:	
Materijal: S235JR						Termička obrada:	
						Broj komada: 1	Masa:	Razmera: 1 : 1
				Datum:	11/6/2017	Naziv: Radlovani disk	
				Obradio:	Vladimir Kočović		
				Datum:	11/21/2017		
				Odobrio:	Branko Tadić		
				Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 48	List: 1 / A4
Stare	Izmene:	Datum:	Ime:				

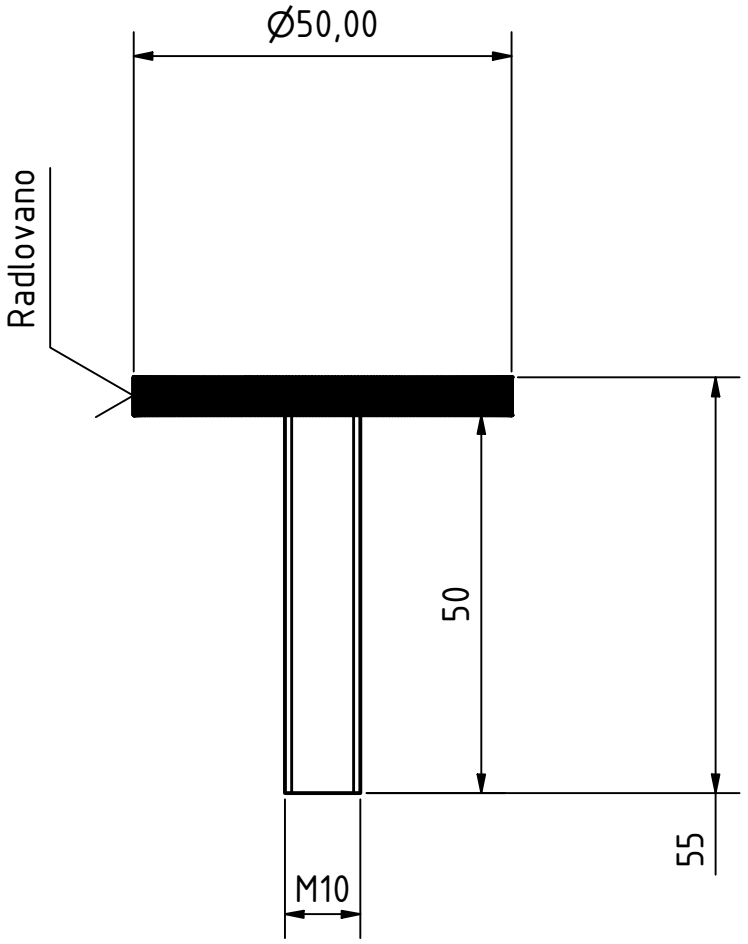




Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

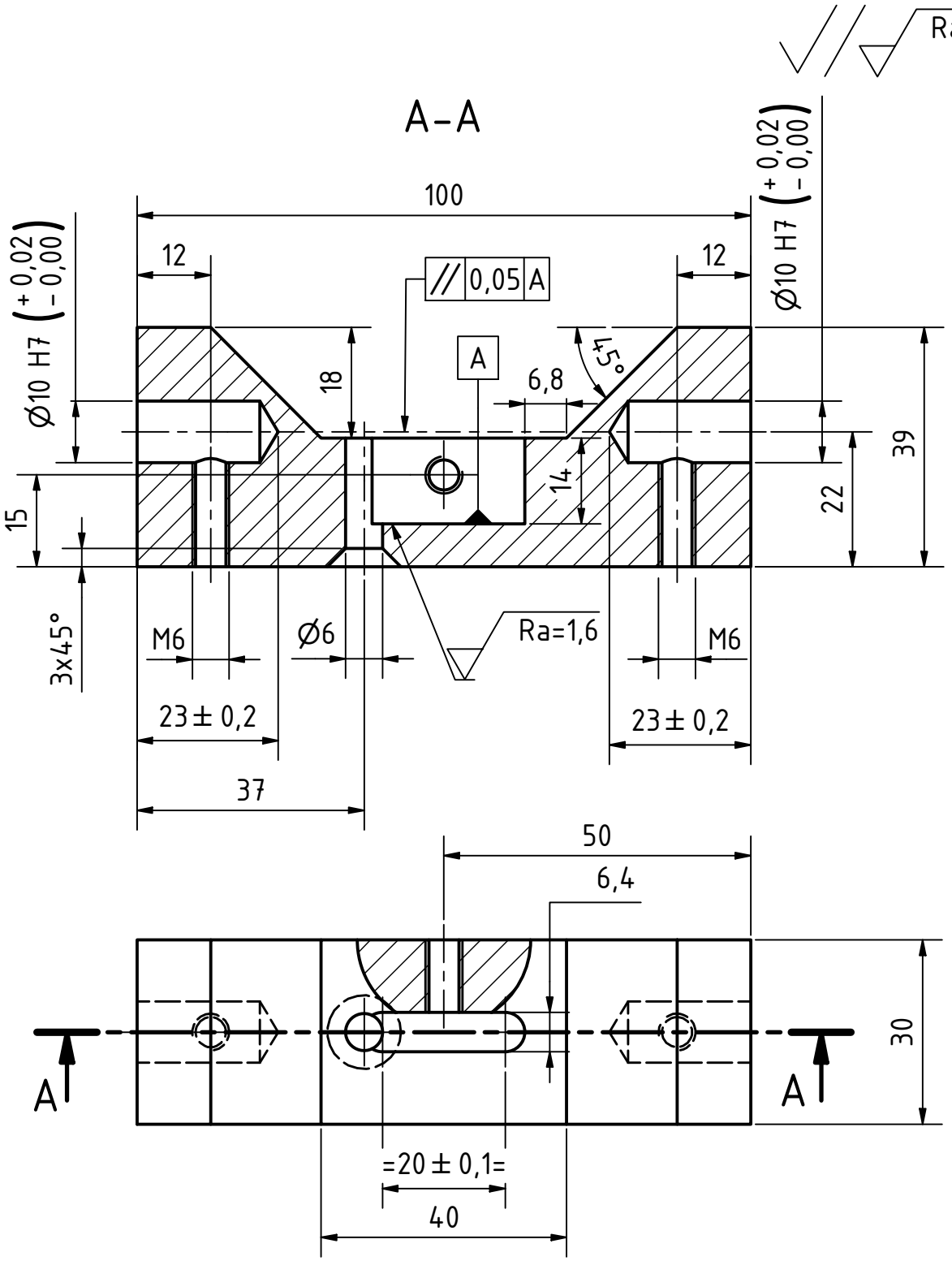
Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: S235JR		Termička obrada:	
		Broj komada: 2	Masa: / Razmera: 1 : 2
Datum: 11/6/2017		Naziv: Oslonac	
Obradio: Kočović Vladimir			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 52	List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:			

Radlovano



Napomene: -Sve oštre ivice oboriti 0,5mm x 45°
-Deo se može izraditi iz dva dela

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:	
Materijal: S235JR		Termička obrada:	
		Broj komada: 4	Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Osloni zavrtanj	
Obradio: Vladimir Kočović			
Datum: 11/21/2017			
Odobrio: Branko Tadić			
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 53	List: 1 / A4
State / Izmene: / Datum: / Ime:			



Napomena: Sve oštre ivice oboriti za 0,5mm x 45°

Tolerancije slobodnih mera:	Površinska hrapavost:	Površinska zaštita:
Materijal: AlCu5PbBi		Termička obrada:
		Broj komada: 1 / Masa: / Razmera: 1 : 1
Datum: 11/6/2017		Naziv: Nosač alata
Obradio: Vladimir Kočović		
Datum: 11/21/2017		
Odobrio: Branko Tadić		
Fakultet inženjerskih nauka		Oznaka: Pozicija 56 / List: 1 / A4
Stare / Izmene: / Datum: / Ime:		

Прилог 3 - Уговор о пословно техничкој сарадњи

1. SZR Mašing sa adresom Dragoslava Stefanovića 34, 34000 Kragujevac koju zastupa vlasnik Živadin Pavlović, dipl.maš.inž. (u daljem tekstu Mašing) i
2. FAKULTET INŽENJERSKIH NAUKA UNIVERZITETA U KRAGUJEVCU sa adresom Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac koga zastupa dekan Prof.dr Dobrica Milovanović, dipl. maš. inž. (u daljem tekstu Fakultet).

Zaključuju dana 13.11.2018.godine, u Kragujevcu

САМОСТАЛНА ЗАНАТСКА РАДЊА „МАШИНГ" Број 071/18 дана 14.11.2018 год. КРАГУЈЕВАЦ

UGOVOR
o poslovno tehničkoj saradnji

Бр. 04/4312 14.11. 2018 год. КРАГУЈЕВАЦ

Član 1

Predmet ovog ugovora je uspostavljanje zajedničke poslovno tehničke saradnje na razvoju ispitivanju, proizvodnji, promociji i prodaji školskih i fakultetskih učila iz oblasti tehnike.

Član 2

Obaveze Fakulteta odnosno Centra za revitalizaciju industrijskih sistema i Centra za terotehnologiju su:

- Razvoj i ispitivanje funkcionalnog modela i prototipa učila,
- Verifikacija svakog tipa učila sa aspekta funkcionalnosti i bezbednosti,
- Završna kontrola svakog prototipa učila i
- Naučno stručna promocija učila.

Član 3

Obaveze Mašinga su:

- Finansiranje poizvodnje učila,
- Izrada tehničke dokumentacije učila prema idejnim rešenjima koja dostavlja Fakultet - Centar za revitalizaciju industrijskih sistema i Centar za terotehnologiju,
- Montaža i ispitivanje funkcionalnosti učila i
- Plasman i distribucija - prodaja učila.

Član 4

Mašing za svako prodato učilo uplaćuje Fakultetu (Centru za revitalizaciju industrijskih sistema i Centru za terotehnologiju) iznos od 10 % (deset procenata u šta je uključen i PDV) od vrednosti cene prodaje učila i ustupa Fakultetu po jedan primerak od svakog razvijenog učila bez finansijke nadoknade.

Član 5

Ispred Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu na svakom tipu učila u svim aktivnostima iz člana 2 ravnopravno učestvuju Centar za revitalizaciju industrijskih sistema kojim rukovodi upravnik Prof. dr Milan Erić, dipl.maš.inž. i Centar za terotehnologiju kojim rukovodi upravnik Prof. dr Ivan Mačužić, dipl.maš.inž.

Član 6

Fakultet odnosno Centar za revitalizaciju industrijskih sistema i Centar za terotehnologiju zadržavaju kompletna autorska prava za svako razvijeno učilo koje će proizvoditi SZR Mašing.

Član 7

Ugovorne strane su obavezne da sve podatke koji su im saopšteni ili koje na drugi način saznaju u izvršenju ovog ugovora čuvaju kao poslovnu tajnu.

Član 8

Ovaj ugovor se zaključuje na vremenski period od 5 (pet) godina, s tim što se isti može produžiti nakon isteka vremena od 5 (pet) godina, ako za to postoji obostrani interes i potreba među ugovornim stranama.

Član 9

Ovaj ugovor se može menjati i dopunjavati samo uz pisanu saglasnost ugovornih strana.

Član 10

Obe ugovorne strane se u svemu obavezuju po ovom ugovoru i nastojaće da sve sporove, ako do njih dođe, reše sporazumno i u tom cilju mogu formirati arbitražnu komisiju.
Ako i pored toga nije moguće rešiti spor između ugovarača nadležan je Trgovinski sud u Kragujevcu.

Član 11

Ovaj ugovor je sačinjen u 4 (četiri) istovetna primeraka, od kojih svaka ugovorna strana zadržava po 2 (dva).

STR Mašing
direktor
Živadin Pavlović, dipl.maš.inž

FAKULTET INŽENJERSKIH NAUKA
dekan
Prof.dr Dobrica Milovanović, dipl. maš. inž.

PROIZVODNJA, REMONT I POPRAVKA MAŠINA, UREĐAJA I ALATA
Dragoslava Stefanovića 34,
34000 Kragujevac
Tel./Fax: + 381 (034) 383-118: 30-20-30
e-mail: masing@ptt.rs; www.masing.rs
Matični broj: 52254795; PIB: 101509043
Tekući račun: 160-24499-08

POTVRDA

da je Centar za revitalizaciju industrijskih sistema Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za firmu s.z.r. Mašing iz Kragujevca na osnovu ugovora o poslovno tehničkoj saradnji broj 071/18 razvio ***MULTIFUNKCIONALNI UREĐAJ ZA MERENJE KINEMATSKOG KOEFICIJENTA TRENJA.***

Potvrda se izdaje u svrhu prijave tehničkog rešenja.

Kragujevac
08.12.2023.

S Z R M A Š I N G
Živadin Pavlović dipl. inž.maš.

Прилог 4 - Потврда о куповини и коришћењу

Академија струковних студија Шумадија, одсек Крагујевац

Косовска 8

34000 Крагујевац

Број: 1469/2023-01

07.12.2023.

ПОТВРДА

Висока техничка школа струковних студија Крагујевац је 2018. године по рачуну 114/18 купила мултифункционални уређај за испитивање коефицијента трења од СЗР Машинг-а из Крагујевца.

Овим се потврђује да се уређај користи у едукативне и истраживачке сврхе, као уређај за испитивање коефицијента трења у Академији струковних студија Шумадија, одсек Крагујевац.

Председник Академије
струковних студија Шумадија

др Милан Ђорђевић, проф.с.с.