

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

Стефан Д. Илић

**Конструисање прогресивног алата за
пластичну обраду лимова у CAD
софтверима
мастер рад**

Крагујевац, 2016.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Примена рачунара у развоју производа

Број индекса: 338/2014

Стефан Д. Илић

**Конструисање прогресивног алата за
пластичну обраду лимова у CAD
софтверима**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Ненад Марјановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- Изврши пројектовање прогресивног алата за пластичну обраду лима;
- Креира 3Д модел и техничку документацију пројектованог алата у једном од популарних 3Д CAD софтвера по његовом избору.

Препоручена литература:

[1] Бинко Мусафија, *Обрада метала пластичном деформацијом*, четврто издање, Завод за уџбенике Сарајево, 1979.

[2] Србислав Александровић, Милентије Стефановић, *Технологија пластичног обликовања метала*, Машински факултет у Крагујевцу, 2010.

[3] Миленко Јовичић, Богољуб Кршљак, *Основе конструкција алата и прибора*, Научна књига, Београд, 1984.

[4] Никола Пргомелја, Симо Станчевић, *Конструкција алата и прибора за IV разред машинске школе*, пето издање, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2002.

Крагујевац, септембар 2016.

ментор:

Др Ненад Марјановић, редовни професор

РЕЗИМЕ

У оквиру овог рада извршено је пројектовање прогресивног алата за обраду лима пластичном деформацијом. Аналитичким прорачуном одређени су основни параметри полазних комада и радних елемената алата, а затим је извршено и креирање 3Д модела алата и пратеће техничке документације у софтверском пакету *SolidWorks*. Аналитички прорачун најкритичнијег пробојца на извијање додатно је проверен коришћењем *FEA* анализе у оквиру софтверског пакета *SolidWorks*. У финалном делу овог рада извршена је и анализа производног окружења са аспекта *WCM* методологије.

Кључне речи: *прогресиван алат, пластично деформисање лима, SolidWorks, WCM*

ABSTRACT

Within the scope of this paper, progressive tool die for sheet metal parts forming was designed. Using analytical calculation methods essential parameters of the workpieces and forming tool elements were determined, and then 3D model of the tool and following technical documentation were created in software package *SolidWorks*. Analytical calculation of the most critical punch was additionally checked using *FEA* analysis within software package *SolidWorks*. In the final part of this paper, analysis of the manufacturing environment from the aspect of *WCM* methodology was performed.

Keywords: *progressive tool, sheet metal plastic forming, SolidWorks, WCM*

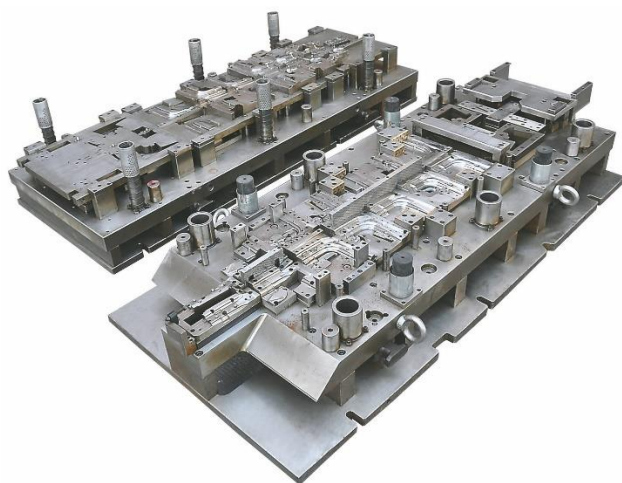
Садржај

1. Увод.....	1
1.1. Основне карактеристике алата за обраду лима и њихова подела	2
1.2. Основне операције обраде лима	5
2. Карактеристике полазних и готових комада	6
2.1. Материјали и облици полазних комада.....	6
2.2. Деформационо ојачање материјала	7
2.3. Технолоичност делова од лима	9
2.4. Позиционирање делова на траци од лима	12
2.5. Материјали и карактеристике полазних комада	16
3. Одсецање.....	17
4. Пробијање и просецање.....	20
4.1. Теоријске основе извођења операција пробијања/просецања	20
4.2. Алати за пробијање и просецање.....	21
4.3. Основни делови алата	24
4.4. Обрасци потребни за прорачун алата за пробијање и просецање	27
5. Савијање.....	31
5.1. Теоријске основе извођења операција.....	31
5.2. Алати и радни органи процеса савијања	32
5.3. Обрасци потребни за прорачун алата за савијање	34
6. Конструкција алата	37
6.1. Одређивање димензија припремка	38
6.2. Ток израде анализираног дела од лима	44
6.3. Одређивање силе пресе	48
6.4. Провера пробојаца на извијање	55
6.5. Прорачун осталих елемената	63
6.6. Одабир пресе	68
6.7. Параметри алата и производног процеса	69
7. Остали аспекти пројектованог алата.....	70
7.1. Саставни делови пројектованог алата	70
7.2. FEA анализа пробојаца на извијање	75
7.3. Организовање производње применом WCM и Lean методологија	80
7.4. Индикатори производних перформанси.....	84
8. Закључак	88
Литература	89
Прилог А.....	90

1. Увод

Делови од лима чине интегрални део практично сваког савременог производа доступног на тржишту. Иако се ови делови могу израдити коришћењем великог броја производних поступака, у савременој индустријској производњи израда делова од лима најчешће се врши коришћењем специјалних алата и разних типова пресе. Овај начин производње је захваљујући својој изузетној економичности, ефикасности и поузданости нашао примену у свим гранама индустрије, [1] [2] [3] [4].

Као што је претходно напоменуто, две основне целине које су потребне за успешно извршавање овог типа обликовања су алати (слика 1.1. а)) и машине пресе (слика 1.1. б)). Алати, као што им и само име каже, у себи немају погонске уређаје, већ се они најчешће постављају у машину – пресу. Притискивач пресе врши померање горњег дела алата који заједно са геометријом у доњем делу алата врши обликовање полазног комада. Ова врста обраде најчешће се врши „на хладно“, док се у специјалним случајевима може вршити и на вишим температурама („на топло“), [1] [2] [3] [4].



а)



б)

Слика 1.1. Основне целине потребне за обликовање лима, алат (а), преса (б)

Поред две претходно напоменуте целине, потребно је обезбедити и материјал (припремак) који се обликује овим производним поступком. У индустрији се најчешће користи челични лим одговарајућих димензија, али се могу обрађивати и алуминијумски, бакарни и други лимови. Полазни комади могу бити траке од лима које су претходно одсечене из котура или табле лима, а примену налазе и припремци специјалних облика.

Делови од лима се скоро увек производе у неколико операција, при чему се њихово обликовање врши операцијама пробијања, просецања, савијања и дубоког извлачења итд. Обликовање се врши редно, односно поступно у одговарајућем броју операција. Делови од лима се могу израђивати и паралелно, при чему се истовремено редно врши обликовање већег броја готових комада. Паралелна израда делова захтева знатно компликованији и скупљи алат, па се из тог разлога алати овог типа примењују само у масовној производњи.

1.1. Основне карактеристике алата за обраду лима и њихова подела

Изузетно широка примена у индустрији, огроман број операција, најразличитији технички захтеви само су неки од фактора који утичу на разноврсност алата за обраду лима, али и на велики број параметара на основу којих се може извршити њихова подела. Генерално гледано, алати за обраду лима се најгрубље могу поделити у две основне групе, и то:

- Алати за аутомобилску индустрију;
- Прогресивни (корачни) алати.

Алати за аутомобилску индустрију врше формирање коначног дела или у једном ходу пресе на једном алату, или се пак формирање врши у неколико операција на неколико различитих алата. Овим алатима најчешће се формирају компликовани делови и облици каросерије аутомобила. Овакав приступ приступ изради може се првенствено квантификовати кроз изузетно велике притисне силе као и мањи број ходова преса (око 20 по минути) које се примењују у аутомобилској индустрији. Овим производним процесом постиже се изузетно економична и поуздана производња. У аутомобилској индустрији за каросеријске делове најчешће се користе пресерске линије које се састоје од неколико засебних преса спојених помоћним системима. Обрада се у овом случају истовремено врши у неколико алата великих габарита, при чему њихова дужина често износи и по неколико метара. Пресерска линија и алати који се користе при изради већих каросеријских делова у аутомобилској индустрији приказани су на *слици 1.2*.



Слика 1.2. Пресерска линија и алати за израду компликованијих каросеријских делова у аутомобилској индустрији

Целокупан производни процес у пресерском сектору једне типичне аутомобилске фабрике може се поделити у три фазе:

- 1) Припрема основног материјала и обликовање полазних комада (припремака);
- 2) Обликовање лима;
- 3) Складиштење и слање.

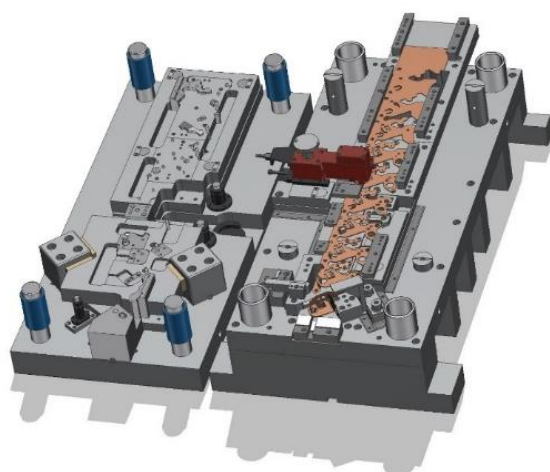
Прву фазу чине све операције које је потребно извршити у циљу формирања облика и димензија полазних комада. Основни материјал (лим) најчешће се од добављача добија у виду котурова. Лим се затим одмотава са котурова, чисти, исправља и сече на потребне димензије. Формиран припремак аутоматски се поставља у пресу коришћењем индустријског робота.

У другој фази процеса, преса (пресерска линија) и алат врше формирање лименог дела. Сложено обликовање се најчешће врши у неколико различитих операција (око пет), при чему излаз из линије представља готов комад. Конструкција пресерске линије омогућава изузетно брзу измену алата, при чему се на овај начин постиже изузетно флексибилна производња. Алати се најчешће транспортују од пресерске линије до места одлагања коришћењем мосних дизалица постављених унутар хале.

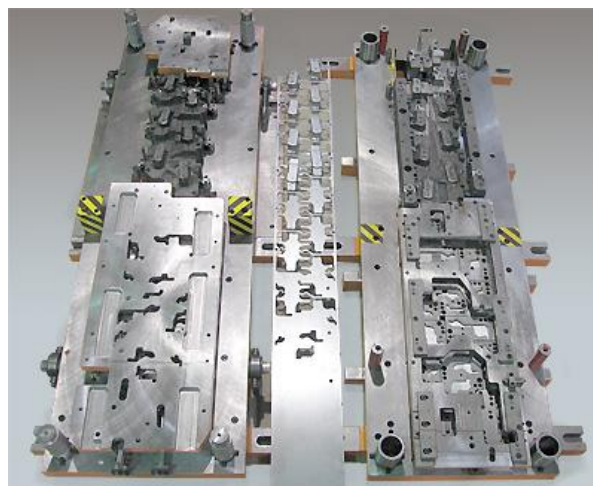
У трећој и финалној фази врши се контрола готових делова и њихов транспорт у друге секторе фабрике (каросерију), док се нешто ређе врши складиштење готових делова. Потребно је напоменути да је већина операција у све три производне фазе аутоматизована, па је у поређењу са неаутоматизованим пресерским окружењима остварена изузетно добра заштита на раду, при чему је могућност настанка повреда сведена на минимум.

Захваљујући својим импресивним габаритима и сложеној геометрији комада, алати за израду каросеријских делова у аутомобилској индустрији изузетно су скупи. У току експлоатације најчешће долази до хабања ових алата, при чему се накнадна дорада најчешће врши наваривањем. По извршавању операције наваривања потребно је извршити накнадну обраду (брушење, полирање, итд.) наварене површине, и то у циљу остваривања жељеног квалитета готових лимених комада.

Прогресивни (корачни) алати налазе широку примену у индустријској производњи. Користе се за обликовање комада мањих габарита у неколико различитих операција (корака), и то у једном алату. Пошто су у питању делови од лима мањих габарита, број удараца пресе по минути је знатно већи, а деформационе силе су знатно мање у односу на пресерске линије које се примењују у аутомобилској индустрији. Најчешћи облик полазног комада је лимена трака која се са сваким извршеним кораком аутоматски или ручно помера. Примери корачних алата приказани су на *сликама 1.3. а) и б)*, алат приказан на *слици 1.1. а)* је такође прогресиван (корачни).



а)



б)

Слика 1.3. Примери прогресивних алата за обраду лима

Због својих мањих габарита, прогресивни алати су знатно јефтинији од алата за обликовање каросеријских делова у аутомобилској индустрији. Велики број делова прогресивних алата је стандардизован и може се купити код већих светски познатих добављача алатне опреме, међутим сложене контуре комада скоро увек захтевају примену делова који се не налазе у каталозима већих добављача (специјални пробојци, просекачи, обликачи, итд.). Израда алата најчешће се врши на компјутерски вођеним машинама (eng. *CNC*), и то глодалицама, ерозиматима, и машинама за фино брушење. Израда ових алата није једноставна и генерално захтева знатну количину „машинског времена“. По завршеној машинској обради, потребно је извршити и термичку обраду појединих делова (најчешће радних делова). Нижи трошкови израде као и нижа цена алата постижу се тако што се неки некритични делови израђују од јефтинијих конструкционих челика, док се радни делови и друге функционалне компоненте израђују од скупљих челика.

Иако се селективном применом материјала остварују одређени новчани бенефити, финална цена алата је ипак изузетно висока, и често се креће у границама од неколико хиљада па до чак пар десетина хиљада евра. На изузетно високу цену утиче и чињеница да се сви делови алата израђују из пуног материјала, па стога није реткост да тежина прогресивних алата често износи и по неколико стотина килограма. Овакву изузетно робусну конструкцију карактеришу високи степени сигурности, а самим тим и изузетна поузданост у раду. У великосеријској и масовној производњи главницу трошкова не чине алати, већ материјал комада, па је из тог разлога потребно остварити максималну искоришћеност полазних комада (трака од лима или лимова специјалних облика).

Процес израде делова од лима коришћењем прогресивних алата најсликовитије се може приказати на самој траци од лима, као што је приказано на *слици 1.4*. На овај начин може се јасно уочити процес формирања сложене контуре финалног комада, али и која операција се извршава у ком кораку алата.



Слика 1.4. Процес израде комада приказан на траци од лима

1.2. Основне операције обраде лима

Поред претходно наведених основних операција обраде лима, у инжењерској пракси примену налази и велики број других мање познатих операција, нпр. засецање, рељефно обликовање, проширивање, сужавање, итд. Поред својих специфичности и карактеристика, све операције обраде лима могу сврстати у две основне групе, [3]:

- Операције обликовања раздвајањем (одсецање, просецање, пробијање, засецање, обрезивање, итд.);
- Операције обликовања пластичним деформисањем материјала (савијање, извлачење, итд.).

Код прве групе операција формирање жељене контуре лима добија се одвајањем једног дела материјала од другог без скидања струготине, односно локалном пластичном деформацијом материјала која у финалној фази доводи до кидања. Резултат одвајања су два дела, од којих је један готов комад (жељени производ), а други отпадак, [1] [2] [3].

Одсецање је операција потпуног одвајања по отвореној праволинијској или криволинијској контури, док су **пробијање** и **просецање** операције којима се врши одвајање лима по затвореној контури, [3].

Обрезивање/опсецање налази примену после операција савијања и извлачења и служи за одсецање деформисаних (неравних крајева), односно вишка материјала.

Делимичним просецањем/засецањем врши се делимично одвајање лима по отвореној контури при чему не долази до појаве отпатка, [3].

Калибрисање налази примену код делова код којих је потребно постићи високу тачност израде, као и знатно бољи квалитет површине, [3].

Операције обликовања пластичним деформисањем, врше формирање жељеног облика дела остваривањем процеса пластичног деформисања. Основна разлика у односу на прву групу је што не долази до кидања материјала. Савијањем се најчешће врши формирање профилисаних делова од равног припремка. Дубоким извлачењем се од равног припремка израђују просторни шупљи делови непрекидне геометрије, док се рељефним обликовањем врши формирање рељефа (испупчења и удубљења) на самој површини припремка. Операција рељефног обликовања врши се локалним истезањем материјала, [1] [2] [3].

2. Карактеристике полазних и готових комада

Пре детаљнијег разматрања алата за обраду лима, потребно је укратко анализирати основне карактеристике полазних комада, јер они заправо представљају „улаз“ у алат па самим тим и параметар процеса који се не може олако занемарити. У оквиру овог поглавља првенствено су анализирани материјали и типови полазних комада који се обрађују прогресивним (корачним) алатима. Укратко је анализирана и природа пластичне деформације металних материјала, и то првенствено челика, јер се исти најчешће обрађује овим технолошким поступком. Закључци изведени за челик могу се у одређеној мери узети у обзир и за друге релевантне металне материјале, нпр. алуминијум, нерђајуће челике, итд. У оквиру овог поглавља нису анализирани понашања материјала са аспекта кристалне решетке.

2.1. Материјали и облици полазних комада

Као што је претходно напоменуто, припремци у виду челичних лимова налазе најширу примену у индустрији, при чему се најчешће користе лимови без површинских превлака, као и лимови са различитим превлакама (цинка, калаја, итд.). У новије време све већу примену налазе и алуминијумски лимови, док се бакарни лимови примењују углавном за делове електро инсталација. У специјалним случајевима овом врстом обраде могу се обликовати и други материјали, нпр. картон, филц, итд.

Облик и димензије полазних комада (припремака) у највећој мери зависе од облика и димензија делова које је потребно обликовати на прогресивним алатима. Најчешће се користе припремци у виду дугачких лимених трака, при чему се овај облик припремка одсеца од табле лима коришћењем индустријских маказа. Облици полазних комада и иницијална табла лима приказани су на *слици 2.1*.

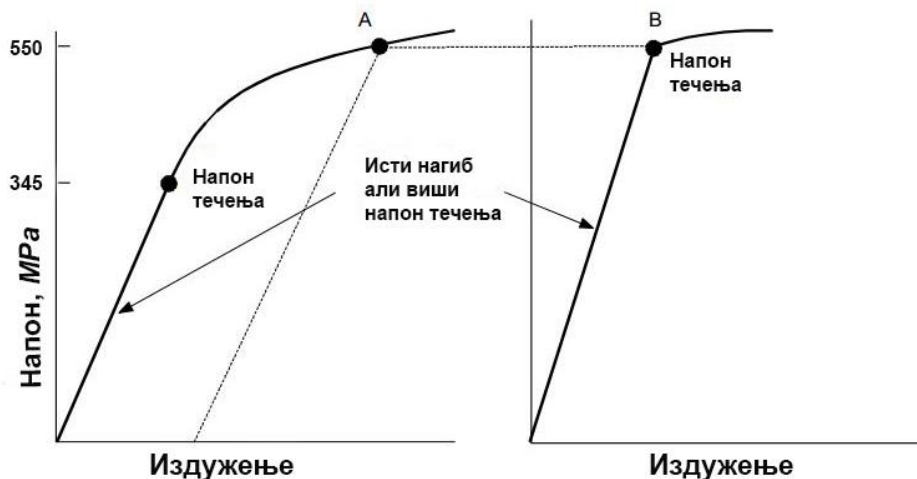


Слика 2.1. Разни облици припремака од лима

При изради сложенијих делова већих габарита, и то првенствено процесом дубоког извлачења, користе се припремци специјалне геометрије и облика и обично се називају развијено стање. Сложеније припремке потребно је претходно обрадити, при чему се овај процес најчешће врши одсецањем или просецањем. Потребно је напоменути да се понекад компликованији делови од лима не могу у целости обликовати у једном прогресивном алату, па тако припремак за други алат представља излаз из првог алата.

2.2. Деформационо ојачање материјала

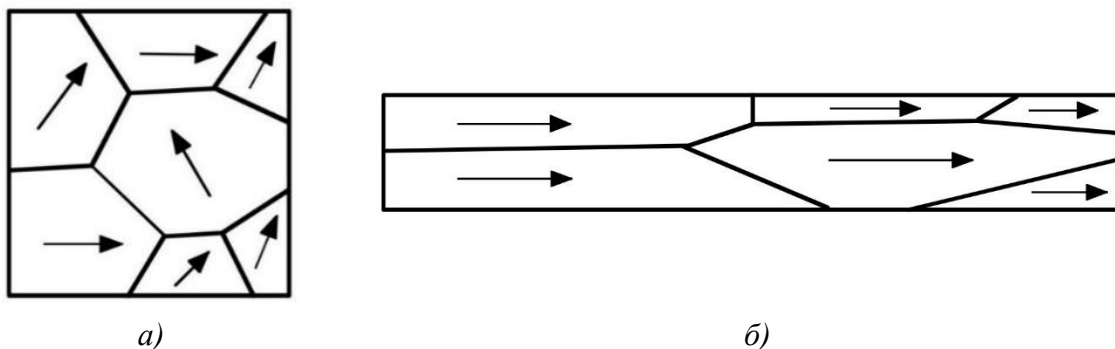
Под термином „деформационо ојачање“ објашњава се раст напона тачке течења материјала. Ефекат ојачања се лако уочава ако је анализирани узорак претходно пластично деформисан па затим растерећен. На дијаграмима напон – издужење ($\sigma - \epsilon$) (слика 2.2.) овај феномен је сликовито приказан, [5].



Слика 2.2. Деформационо ојачање материјала, [5]

Посматра се епрувета израђена од челика са карактеристикама $R_{eh} = 345 \text{ MPa}$ и $R_m = 690 \text{ MPa}$ која је оптерећена на затезање на машини за испитивање материјала. Уколико се врши растерећење на вредности напона између тачке течења R_{eh} и затезне чврстоће R_m , нпр. на $\sigma_A = 550 \text{ MPa}$ доћи ће до промене тачке течења, а самим тим и дијаграма затезања. Уколико би се исти узорак поново оптеретио на затезање, уочио би се да тачка течења сада настаје при напону $R_{eh} = 550 \text{ MPa}$. Нова вредност напона течења доводи до закључка да је дошло до повећања напона на граници течења, односно до појаве деформационог ојачања материјала, [5].

Основни разлози који доводе до настанка ове појаве објашњавају се разматрањем кристалне структуре материјала, при чему ова тема није детаљније разматрана у оквиру овог рада. Потребно је напоменути да после настанка пластичне деформације материјала долази до промене оријентације кристалне решетке, као и до промене облика зрна, као што се може уочити на сликама 2.3. а) и 2.3. б). Може се уочити да пластична деформација доводи и до промене оријентације зрна, која са случајне сада прелази у усмерену. Ова појава, приказана на слици 2.3. б), у неким случајевима може погодено да утиче на карактеристике самог материјала који се на овај начин заправо у одређеној мери приближава монокристалној структури, [5]. Потребно је напоменути да се, промена облика зрна манифестује деформацијом зрна у правцу дејства оптерећења, као што је приказано на слици 2.3. б) и да доводи до појаве анизотропије материјала.



Слика 2.3. Приказ зрнасте структуре материјал пре (а) и после настанка деформационог ојачања (б), [5]

Пошто кидање материјала настаје на истом напону и пре и после деформационог ојачања, основна мана ове појаве огледа се у чињеници да ће свака додатна пластична деформација претходно деформационо ојачаног комада имати знатно већу вероватноћу да доведе до кидања материјала. Како би се ова негативна последица избегла, по завршетку обраде врши се рекристализација материјала. Овај поступак се најчешће примењује код одговорнијих машинских делова, и њиме се у потпуности може елиминисати појава деформационог ојачања. Између операција процеса дубоког извлачења често се врши рекристализационо жарење јер је претходном обрадом дошло до велике велике деформације материјала, па свако наредно пластично деформисање може довести до кидања материјала. Потребно је напоменути да се процеси обраде лима понекад врше у топлом стању, и то у циљу избегавања настанка деформационог ојачања материјала који се обрађује. Потребно је напоменути да настанка деформационог ојачања практично нема у случајевима када је температура загревања изнад температуре рекристализације материјала који се обрађује.

Појава деформационог ојачања не утиче у значајној мери на обраду делова у прогресивним алатима. Посебна пажња се мора обратити на операције дубоког извлачења, јер деформационо ојачање представља једну од најбитнијих карактеристика процеса обликовања. За већину осталих операција обликовања (пробијање/просецање, одсецање и савијање) ова појава се може занемарити (осим у неким изузетно специфичним случајевима).

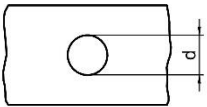
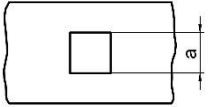
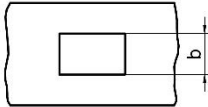
2.3. Технологичност делова од лима

У току процеса конструисања делова од лима који се израђују обликовањем на прогресивним алатима, изузетно је важно узети у обзир и производне карактеристике, односно технологичност разматраног производа. Задатак конструктора је да обликује део тако да оствари што једноставнију геометрију која се може изградити коришћењем једноставнијих и јефтинијих алата. Контуру и габарите финалног дела у развијеном стању потребно је обликовати тако да се може остварити најекономичнија израда. Посебну пажњу потребно је обратити и на правилан одабир материјала, као и дебљине лима. Знатно јефтинија производња и бољи квалитет производа могу се остварити повећањем технологичности и бољом оптимизацијом финалног производа, уз паралелно обезбеђивање техничких и експлоатационих захтева и жељеног радног века разматраног машинског дела. Поред претходно побројаних параметара, технологичан део и ефикасну производњу такође карактерише и израда делова коришћењем једноставнијих и јефтинијих машина, да за извршење производних операција не постоји потреба за специјализованом радном снагом, накнадном обрадом, итд.

Добра технологичност конструисаног дела од лима може се постићи усвајањем препорука доступних у релевантној техничкој литератури, [3]:

- 1) Најмање димензије отвора за операцију пробијања пожељно је одабрати на основу вредности приказаних у *табели 2.1*. Пожељно је избегавати уске прорезе велике дужине, а код делова мање ширине у односу на дебљину лима потребно је остварити да је $B \geq 3 \cdot s$, [3];

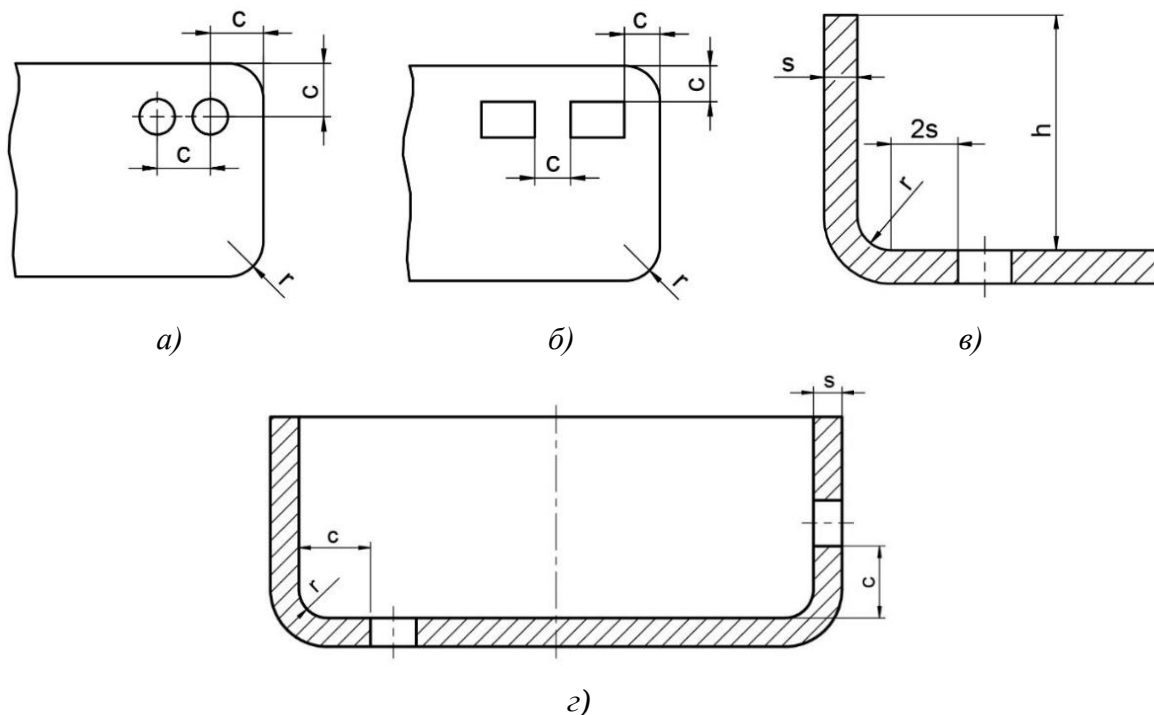
Табела 2.1. Најмање димензије отвора за операцију пробијања, [3]

Материјал лима	Облик отвора		
			
Тврди челик	$d = 1.3 \cdot s$	$a = 1.3 \cdot s$	$b = s$
Меки челик и месинг	$d = s$	$a = 0.9 \cdot s$	$b = 0.8 \cdot s$
Алуминијум	$d = 0.8 \cdot s$	$a = 0.7 \cdot s$	$b = 0.6 \cdot s$

- 2) Заобљене ивице које се израђују операцијом просецања морају имати минимална заобљења $r \geq 0.5 \cdot s$ као што је приказано на *слици 2.4. а)*. Размак кружних отвора од ивица дела, као и међусобни размак отвора мора задовољити $c \geq s$. Код отвора правоуганих облика ово растојање мора задовољити $r \geq (1.5 \div 2) \cdot s$. Позиционирање кружних и правоуганих отвора на основу претходних правила приказано је на *сликама 2.4. а) и б)*, [3];
- 3) Накнадно пробијање отвора код претходно савијених делова може се извршити од заобљења на растојањима од $c \geq r + 2 \cdot s$. Уколико је полупречник заобљења формираног операцијом савијања мањих димензија (*слика 2.4. в)*), вредност полупречника заобљења за алуминијум износи $r \geq (0.5 \div 1) \cdot s$, док за челик износи $r \geq (1 \div 2) \cdot s$. Уколико је потребно остварити задовољавајућу тачност за

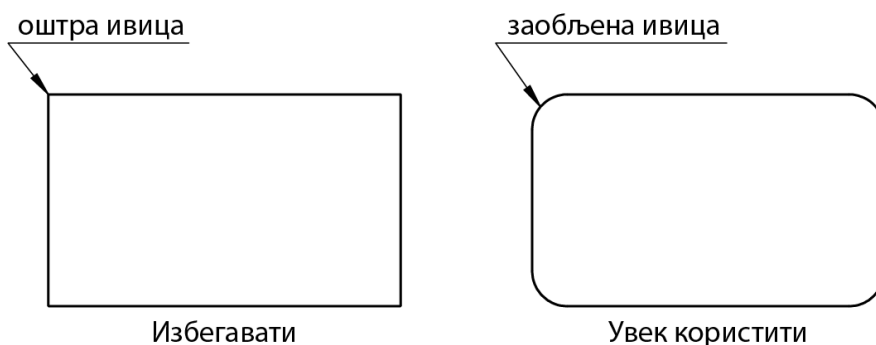
операцију савијања крака под углом од 90° за полупречник савијања $r = s$, потребно је да висина комада изнад крака минимално износи $h = 3 \cdot s$. Ове препоруке су графички приказане на *слици 2.4. в)*, [3];

- 4) Накнадно извођење отвора код делова који су претходно изведени извлачењем може се извршити или на боку или на дну дела. Минимално растојање од карактеристичних површина (зависи да ли је у питању отвор на дну или са стране) износи $c \geq r + 0.5 \cdot s$. Ове препоруке су графички приказане на *слици 2.4. г)*, [3].



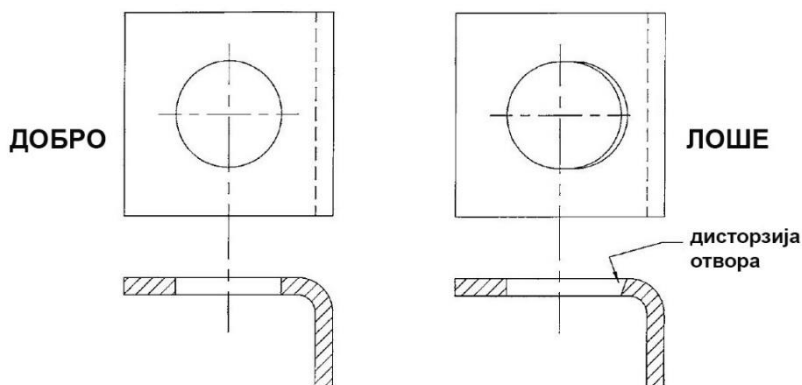
Слика 2.4. Поционирање отвора у односу на референтне површине, [3]

Делове и отворе је потребно обликовати тако да они не поседују оштре ивице, јер на тим местима долази до концентрације напона. Места са оштрим ивицама изузетно је тешко заштити од корозије, јер се у пракси често дешава да корозија „продре“ у материјал баш на овим местима, [6]. Потребно је напоменути да се оштре ивице услед конструкционих захтева понекад не могу заобићи. Разлика између лошег и правилног обликовања ивица приказана је на *слици 2.5*.



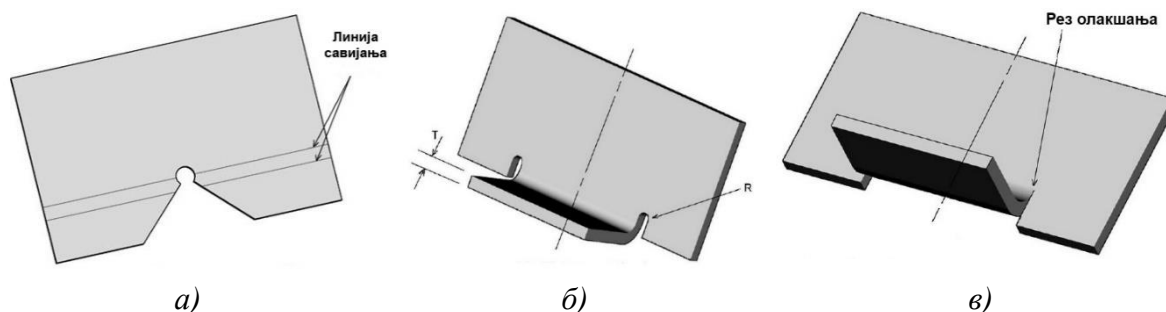
Слика 2.5. Лоше и правилно обликовање ивица, [6]

Поред правилног позиционирања отвора у односу на геометрију насталу операцијом савијања, потребно је узети у обзир и редослед операција. Уколико су отвори близу заобљења, препорука је да се прво изврше операције савијања, а затим операције пробијања отвора, [6]. Обрнути редослед операција може довести дисторзије отвора као што је приказано на *слици 2.6*.



Слика 2.6. Дисторзија отвора која настаје услед лошег редоследа операција, [6]

Како би се успешно извршиле одређене операције савијања потребно је на одговарајућим местима предвидети олакшања. Уколико се она не предвиде, на тим позицијама у процесу обликовања може доћи до значајног сабијања лима, а у екстремним случајевима долази и до разарања материјала, [6]. Најчешће се врши олакшање отворима приказаним на *слици 2.7. а*), док изузетно честу примену налазе и жлебови приказани на *слици 2.7. б*). Понекад, примену налазе и резови олакшања приказани на *слици 2.7. в*).



Слика 2.7. Олакшања потребна за правилно обликовање лима, отвор олакшања (а), жлебови олакшања (б) и резови олакшања (в), [6]

При конструисању делова од лима увек је потребно креирати и њихов изглед у развијеном стању, јер се понекад може десити да је део немогуће израдити услед интерференције материјала. Креирањем развијеног стања, одређују се димензије и контура лименог дела у развијеном стању. На основу претходно побројаних параметара првенствено се врши одабир типа и димензија припремке. Затим се врши креирање, али и оптимизација распореда делова на одабраном припремку (нпр. трака од лима).

2.4. Позиционирање делова на траци од лима

Као што је претходно напоменуто, у великосеријској и масовној производњи код прогресивних алата један од највећих трошкова чини материјал за израду делова, при чему овај удео у укупним трошковима износи између 40% до 60%, а у неким случајевима чак и више, [3]. Изузетно велики број фактора може утицати на искоришћење материјала, али у литератури се следећи фактори најчешће наводе као најважнији, [3]:

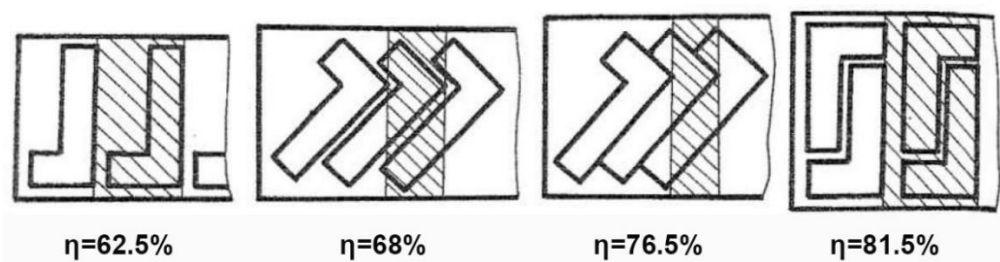
- Ефикасније сечење табли лима на траке или полазне комаде;
- Одређивање најповољнијег распореда делова на траци;
- Коришћење мање количине материјала за бочне додатке и размаке између два узастопна дела на траци;
- Искоришћење отпадака за израду других делова;
- Промена облика и димензија дела у циљу минимализовања отпадака;
- Смањење губитка материјала при регулисању алата и губитака који настају при изради првог дела из траке, итд.

Како би се остварило максимално искоришћење материјала, поред распореда делова на траци, потребно је узети у обзир и уклапање димензија траке у таблу лима. У случајевима када се врши одсецање табли лима са котура постоји знатно већа слобода јер се трака може сећи на било коју дужину, док је ширина ипак фиксна. На основу представљеног може се уочити да остваривање максималне уштеде материјала није уопште лако извести, јер је потребно истовремено оптимизовати неколико параметара.

Иако димензије траке представљају изузетно важан параметар при остваривању максималних уштеда, због комплексности овог проблема у већини литературних извора детаљније се анализира само распоред делова на траци. У циљу остваривања најповољнијег распореда најчешће се разматрају следећи параметри од којих су неки претходно већ наведени, [3]:

- Распоред делова на траци;
- Величина додатака;
- Примена комбинованог уклапања контура („кројења“);
- Искоришћење отпадака.

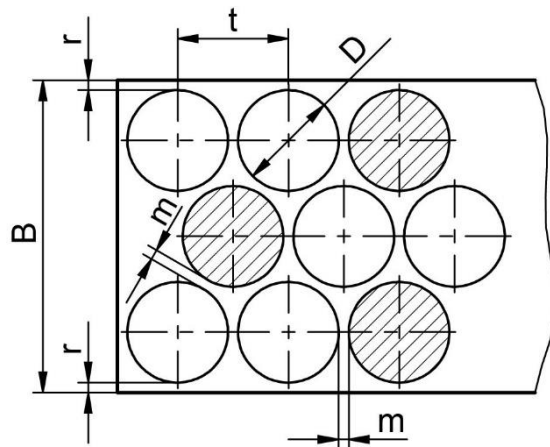
Распоред делова на траци поседује највећи утицај на искоришћење материјала на лименој траци. Најсликовитији процес оптимизације распореда приказан је на *слици 2.8*. На овом примеру се може уочити да се од иницијалне идеје применом одређених правила (ротација делова, елиминисање додатака, итд.) и креативношћу може постићи знатно повољнији и ефикаснији распоред делова на траци од лима, [3] [4].



Слика 2.8. Оптимизација распореда делова на траци од лима, [4]

У првом случају део је постављен у свом иницијалном облику, при чему је очигледно да је степен искоришћења материјала релативно низак. Затим је извршено заокретање дела под неким углом јер оваква позиција увек доводи до боље искоришћености материјала. Затим се може уочити да је уштеда додатно побољшана елиминисањем размака између делова, међутим елиминисањем размака негативно се утиче на поузданост процеса и квалитет финалног дела. У најбољем случају уочено је да спољашња геометрија омогућава истовремену производњу два дела, тако да је овај случај усвојен као најбољи. Потребно је такође напоменути да промена распореда утиче и на ширину траке и величину корака алата.

Вишередни распоред делова омогућава боље искоришћење материјала лимене траке. Овакав распоред најчешће се примењује код делова простије спољашње контуре и мањих димензија, [2] [3]. На *слици 2.9.* приказан је троредни распоред делова кружног облика са наизменичним поретком, при чему се остварује задовољавајући степен искоришћења материјала. Сложенија конфигурација делова доводи до знатно компликованијег алата, па се у том случају најчешће користи размакнути положај радних делова (просекача), [3]. На *слици 2.9.* ишрафиране су контуре истовременог просецања.



Слика 2.9. Троредни распоред делова на лименој траци, [3]

Поред троредног распореда приказаног на *слици 2.9.* могу се примењивати и једноредни, дворедни и вишередни распореди. Повећањем броја редова долази и до бољег искоришћења материјала, али и до компликованије конструкције и веће цене алата. Број редова у највећој мери зависи од димензија припремке (лимене траке), као и од димензија лименог дела који се израђује, [2] [3].

У случајевима када спољна геометрија дела у развијеном стању ограничава ефикаснији распоред, уколико постоји могућност, често се врши измена релевантне контуре. На овај начин остварује се бољи распоред делова, смањење корака алата, што самим тим резултује економичнијом изградом.

Упоређивање различитих распореда делова на лименој траци врши се одређивањем степена искоришћења материјала η . Овај параметар (облика 2.1.) представља однос између површине дела који се израђује A_0 и површине траке потребне за израду једног дела A_1 . Често се примењују и обрасци који за одређивање степена искоришћења материјала користе број редова на траци (облика 2.2.), или укупан број делова који се добијају из траке (облика 2.3.), [3] стр. 129. обрасци 5.5.

$$\eta = \frac{A_0}{A_1} \cdot 100 [\%] \quad (2.1.)$$

$$\eta = \frac{A_0 \cdot i}{B \cdot t} \cdot 100 [\%] \quad (2.2.)$$

$$\eta = \frac{A_0 \cdot N}{B \cdot L} \cdot 100 [\%] \quad (2.3.)$$

Где су:

$A_0 [mm^2]$ – ефективна површина дела,

$A_1 [mm^2]$ – површина траке потребна за израду једног дела,

$B [mm]$ – ширина траке,

$t [mm]$ – корак траке,

i – број редова на траци,

N – број делова добијен из траке,

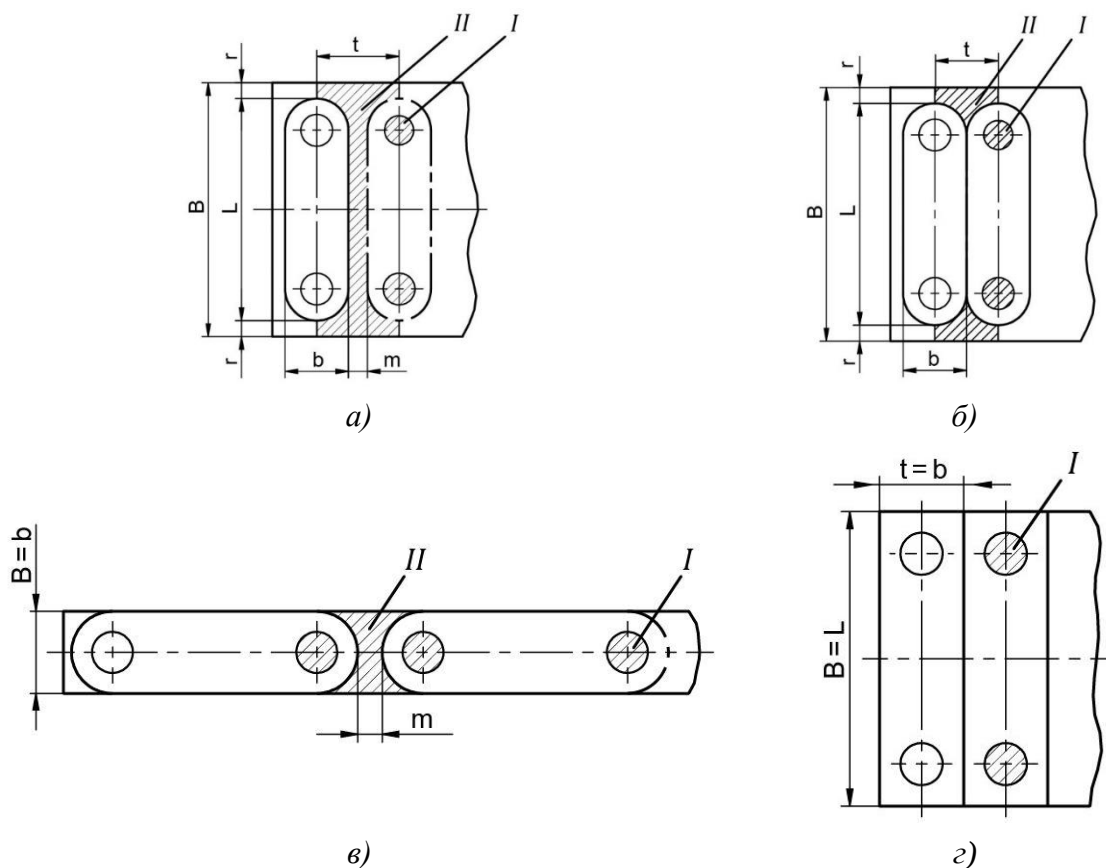
$L [mm]$ – дужина траке.

Као што се на претходним примерима могло уочити, величина додатака такође утиче на степен искоришћења траке. У циљу добијања поузданог процеса и делова задовољавајућег квалитета, лимена трака је увек нешто ширира од комада у развијеном стању. Овај додатак који се додаје са сваке стране назива се руб (r), и приказан је на слици 2.10. а). Поред бочног додатка, потребно је оставити и изврстан размак између самих делова, овај додатак назива се мост (m) и такође се може уочити на слици 2.10. а) Основна улога руба и моста је могућност компензације грешака које би евентуално настале при неправилном позиционирању траке у алату. У пракси је препоручена примена оба додатка (и руба и моста), [4].

Узевши у обзир технолошке додатке у виду руба и моста, у техничкој пракси се за израду делова од лима најчешће се примењују три начина уклапања контура („кројења“) и то, [3]:

- Кројење са рубом и мостом (слика 2.10. а));
- Кројење само са рубом (слика 2.10. б)) и кројење само са мостом (слика 2.10. в));
- Кројење без руба и моста (слика 2.10. г)).

Иако се кројењем са рубом и мостом остварује најмањи степен искоришћења материјала, он се због својих погодности, као што је претходно напоменуто, најчешће примењује у инжењерској пракси. Кројење без додатака, или са једним од додатака, најчешће се примењује при изради делова од лима „мање важности“ у конструкцији, где није потребно испунити уске толеранције израде.



Слика 2.10. Примери уклапања контура делова од лима, са рубом и мостом (а), само са рубом (б), само са мостом (в), без руба и моста (г), [3]

Сви отпатци који настају при обради лима разматраним технолошким поступцима могу се класификовати у две групе, [3]:

- Конструкцијски отпатци (слике 2.10. а), б), в) и г), ознака I);
- Технолошки отпатци (слике 2.10. а), б) и в) ознака II).

Отпатци конструкцијског карактера настају при пробијању отвора на изратку и не утичу на степен искоришћења траке. Уколико се отвори на сликама 2.10. а), б), в) и г) не би пробијали, степен искоришћења материјала би остао исти, али онда конструкцијских отпадака не би било, [3].

Отпатци технолошког карактера знатно су важнији јер од њих директно зависи степен искоришћења траке. Они зависе од позиције дела на лименој траци и технолошких додатака материјала (руб и мост). Технолошки отпатци могу се у потпуности елиминисати, односно максимално искоришћење лимене траке (100%) може се постићи у случајевима када је остварена идеална позиција делова и елиминисани су технолошки додаци (руб и мост), као што је приказано на слици 2.10. г), [3].

У случајевима када се не може остварити ефикасан распоред делова услед бројних ограничавајућих фактора, онда се отпатци могу користити за израду других делова, при чему долази до повећања степена искоришћења материјала. У ове сврхе могу се користити и отпатци конструкцијског и отпатци технолошког карактера. Пошто се на овај начин израђују два различита дела, овај тип уклапања делова се у литератури среће и под називом „комбиновано кројење“, [3].

2.5. Материјали и карактеристике полазних комада

У референтној техничкој литератури наведен је изузетно велики број материјала који се могу користити за израду делова од лима, међутим у пракси је избор знатно ужи и директно зависи од локалних добављача. Одабран добављач, фирма *Atenic Commerce* из Чачка, у својој понуди поседује хладноваљане лимове нискоугљеничних челика који су и разматрани у оквиру овог рада, [7].

Потребно је напоменути да се за израду делова од лима у прогресивним алатима првенствено користе хладноваљани челични лимови због њихових малих дебљина (од 0.4 mm до 3 mm), док су топловаљани челични лимови знатно дебљи и крећу се у границама од 1.5 mm па до 15 mm.

За израду делова од лима најчешће се користе нискоугљенични челици и то, Č0146 (JUS) односно DC01 (EN), Č0147 (JUS) односно DC03 (EN) и Č0148 (JUS) односно DC04 (EN). У понуди одабраног добављача налазе се сви претходно набројани нискоугљенични челични лимови. За даљи ток рада најрелевантнији је нискоугљенични челични лим Č0146 (JUS) односно DC01 (EN), па су на основу понуде фирме *Atenic Commerce*, на слици 2.11. приказане димензије табли од лима за одабрани челик. Може се уочити да је ширина лимене табле фиксна, док је дужина варијабилна и искључиво зависи од захтева купца, [7].

Širina table	Debljina (mm)												
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
1000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1250	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1500					X	X	X	X	X	X	X	X	X

Слика 2.11. Димензије полазних комада (табли лима) нискоугљеничног челика Č0146 (JUS) односно DC01 (EN), [7]

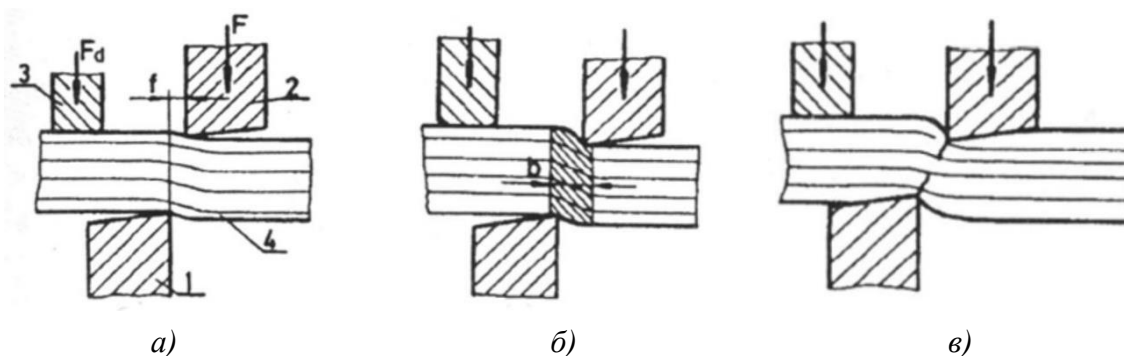
Избор челичних лимова за побољшање изузетно је ограничен, и у понуди се у тренутку писања овог рада налази само Č1731 (JUS) односно C60E (EN). Захваљујући широкој примени у инжењерској пракси, у понуди других добављача налазе се лимови од нерђајућих челика дебљина од 0.3 mm па до плоча дебelih 80 mm. Поред лимова од нерђајућих челика, у понуди неких добављача налазе се и табле поцинкованих лимова.

Што се тиче обојених метала, Al 99,5 полутврди лимови су најдоступнији на тржишту Републике Србије, при чему се дебљине крећу између 0.5 mm и 5 mm. На нашем тржишту се такође могу пронаћи и бакарни лимови дебљина од 0.5 mm до 6 mm.

3. Одсецање

Овом операцијом врши се одвајање једног дела материјала од другог по отвореној праволинијској или криволинијској контури. Одсецањем се најчешће обрађују припремци, односно табле лима, из којих се секу лимене траке. Ова операција се најчешће врши на маказама као посебним машинама, док се у овој форми нешто ређе примењује у оквиру алата за обраду лима, [4].

Целокупан процес одвајања може се поделити у три фазе које су приказане на сликама 3.1. а), б) и в). Код типичног процеса одвајања може се уочити доњи непокретан нож (1), горњи покретан нож (2), држач лима (3), и лим (4), [4].



Слика 3.1. Процес одсецања на маказама са правим ножевима, [4]

У првој фази процеса одвајања долази до настанка еластичних деформација, док у другој фази услед пораста силе раздвајања долази до појаве пластичне деформације услед напрезања на смицање. Када смичући напон достигне вредност јачине материјала на смицање (граница развлачења) тада долази до разарања структуре, односно до одвајања, [2] [8]. Процес сечења траје изузетно кратко, па стога овај поступак налази изузетно широку примену у индустрији. Овај поступак се најчешће примењује за сечење табли лима на жељене димензије.

Генерално код машина за обраду полазних комада (маказа) постоје три варијанте одсецања, [8]:

- Маказе са паралелним ножевима;
- Маказе са нагнутим ножевима;
- Маказе са кружним ножевима.

Код алата за обраду лима примену могу наћи паралелни ножеви, затим нешто ређе нагнути ножеви, док се кружни ножеви уопште не примењују. Код паралелних ножева се у истом тренутку врши одвајање лима по отвореној контури раздвајања. Основна предност овог типа ножа је да предмет обраде остаје раван, док је сила одсецања нешто већа јер се одвајање истовремено врши по целокупној контури, [8]. Максимална сила одсецања може се израчунати коришћењем *обрасца 3.1.*, док се сила меродавна за избор машине може израчунати коришћењем *обрасца 3.2.*, [8].

$$F = b \cdot s \cdot \tau_m \quad (3.1.)$$

$$F_m = 1.3 \cdot F \quad (3.2.)$$

Где су:

F – сила одсецања,

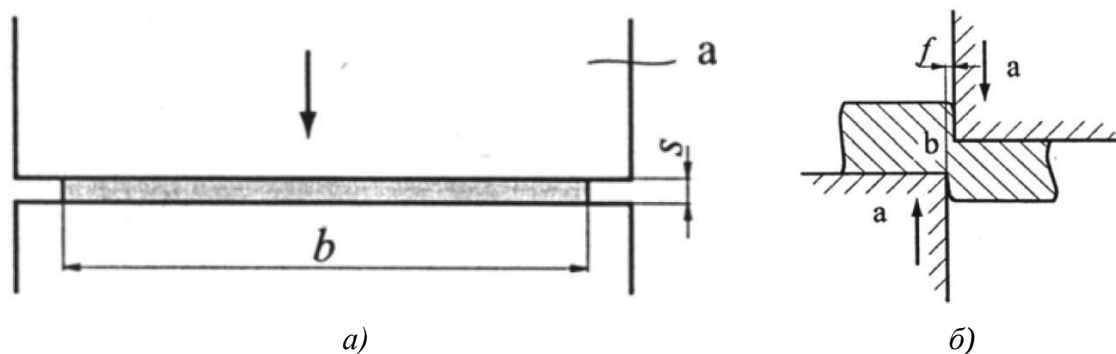
b – дужина линије одсецања,

s – дебљина лима,

τ_m – смицајна чврстоћа,

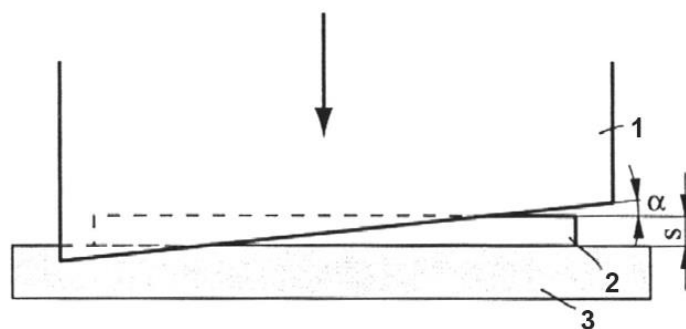
F_m – меродавна сила за избор машине.

Поред алата за обраду лима, одсецање правим ножевима знатно чешће се примењује код машина маказа, [8]. Процес одсецања лима на маказама са правим ножевима приказан је на *сликама 3.2. а) и б)*.



Слика 3.2. Процес одсецања на маказама са правим ножевима, [8]

Код нагнутих ножева постепено се остварује контакт ножа и лима, при чему се може закључити да је потребна знатно мања сила одвајања. Основна мана ових ножева се огледа у чињеници да су готови комади савијени у мањој мери. Угао нагиба ових ножева креће се између $\alpha = 2^\circ - 6^\circ$, [8]. Принцип одсецања лима на маказама са нагнутим ножевима приказан је на *слици 3.3.*, при чему се могу уочити нож (1), лим (2), и сто за ослањање (3).



Слика 3.3. Процес одсецања на маказама са нагнутим ножевима, [8]

Меродавна сила одсецања за избор машине на овим маказама може се одредити коришћењем *обрасца 3.3.*, [8].

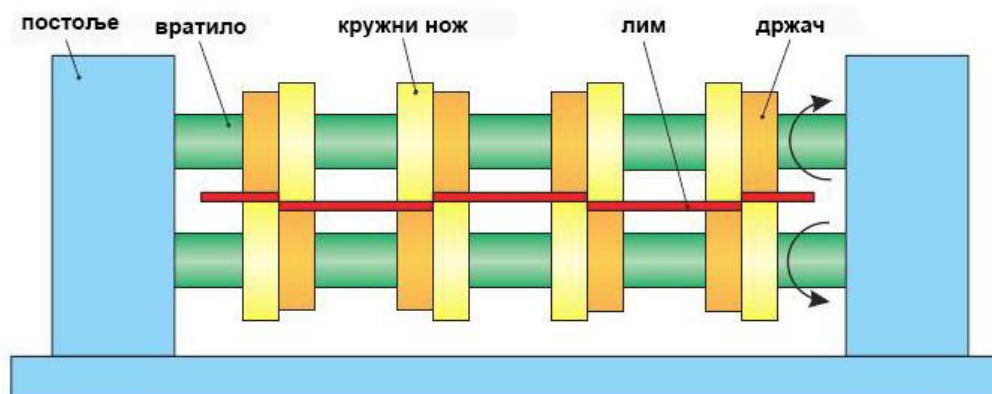
$$F_m = \frac{s^2}{2 \cdot \tan \alpha} \cdot R_m \quad (3.3.)$$

Где су:

α – угао нагиба ножа,

R_m – затезна чврстоћа лима.

Процес одсецања на маказама са кружним ножевима првенствено се примењује за одсецање лимова, при чему се најчешће од једне шире лимене траке добија неколико ужих трака од лима. Шематски принцип ове машине приказан је на *слици 3.4.*, [8].



Слика 3.4. Процес одсецања на маказама са кружним ножевима, [8]

У реалним машинским окружењима најчешће се могу срести маказе за одсецање са правим или нагнутим ножевима. Једна оваква машина је приказана на *слици 3.5.*



Слика 3.5. Типична индустријска машина (маказе) за одсецање лима коришћењем правих или косих ножева

4. Пробијање и просецање

Овим операцијама врши се обрада лима одвајањем по затвореној контури. Од свих операција које се користе за обраду лима у прогресивним алатима, пробијање и просецање налазе убедљиво најширу примену.

4.1. Теоријске основе извођења операција пробијања/просецања

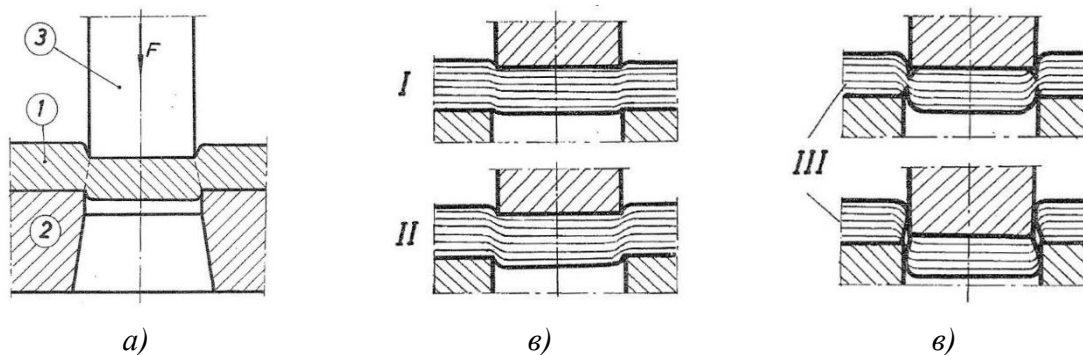
Основна разлика између операција пробијања и просецања огледа се у класификовању обрађеног материјала, шта је отпад, а шта радни комад. Просецањем се добија финални комад са спољашњом контуром, док се пробијањем добија финални комад са унутрашњом контуром, као што је приказано на *сликама 4.1. а) и б)*. Односно, може се рећи да је код просецања трака – отпадак а исечен део – радни комад, док је код пробијања трака – радни комад, а исечен део – отпадак, [2] [8].



Слика 4.1. Основне разлике између операција пробијања и просецања, [8]

Основни делови алата код операција пробијања и просецања приказани су на *слици 5.2. а)*, при чему се уочава полазни комад од лима (1), резна плоча (2), и просекач или пробојац (3) на који делује радна сила (F), [4].

Процес одвајања се изводи дејством силе на просекач или пробојац који затим делују на полазни комад од лима постављен на резној плочи. Целокупан процес (приказан на *сликама 5.2. а), б) и в)*) одвија се у три фазе, при чему се може повући јасна аналогија са процесом одсецања, [4].



Слика 4.2. Фазе извођења операција пробијања или просецања, [4]

Технолошки гледано, у првој фази долази до савијања и истезања влакана, у другој фази долази до утискивања материјала у отвор резне плоче, док у трећој финалној фази долази до смицања и избацивања пробијеног или просеченог дела, [4].

4.2. Алати за пробијање и просецање

Огроман број најразличитијих комада разних габарита, потреба за већом тачношћу и већим бројем операција само су неки од бројних параметара који утичу на конструкцију алата за обраду лима. У стручној литератури постоји велики број параметара на основу којих се може извршити подела алата за пробијање и просецање, у оквиру овог рада усвојена је следећа подела, [4]:

- 1) Према броју делова који се истовремено израђују;
- 2) Према броју операција;
- 3) Према начину повлачења траке кроз алат (алати са ручним, и алати са механичким померањем траке);
- 4) Према конструкцијским карактеристикама (алати без вођења и алати са вођењем).

(1) Према броју делова који се истовремено израђују разликују се алати за израду једног дела и алати за истовремену израду већег броја делова, [4].

(2) Према броју операција разликују се једнооперацијски и вишеоперацијски (комбиновани алати). Под једнооперацијским алатима подразумевају се алати који целу контуру дела исецају у једном кораку траке. Вишеоперацијски алати налазе знатно чешћу примену, и код њих се контура финалног дела формира из неколико операција, [4].

(3) Према начину повлачења траке кроз алат разликују се алати са ручним, и алати са механичким (аутоматским) померањем траке. Конструкција аутоматског система се првенствено базира на систему полуга које су директно везане за притискивач пресе, [4].

(4) Према конструкцијским карактеристикама, извршена је даља анализа алата за пробијање или просецање у оквиру овог поглавља, па се разликују, [4]:

- А) Алати без вођења;
- Б) Алати са вођењем;

А) Алати без вођења користе се за израду мањег броја једноставнијих радних комада. Тачност израде је знатно мања и износи око $\pm 0.2 \text{ mm}$, тако да ови алати не налазе широку примену у индустрији. Овај тип алата карактеристичан је првенствено за појединачну или малосеријску производњу једноставнијих машинских делова. Алатима без вођења често се обрађују и неметални материјали, [4].

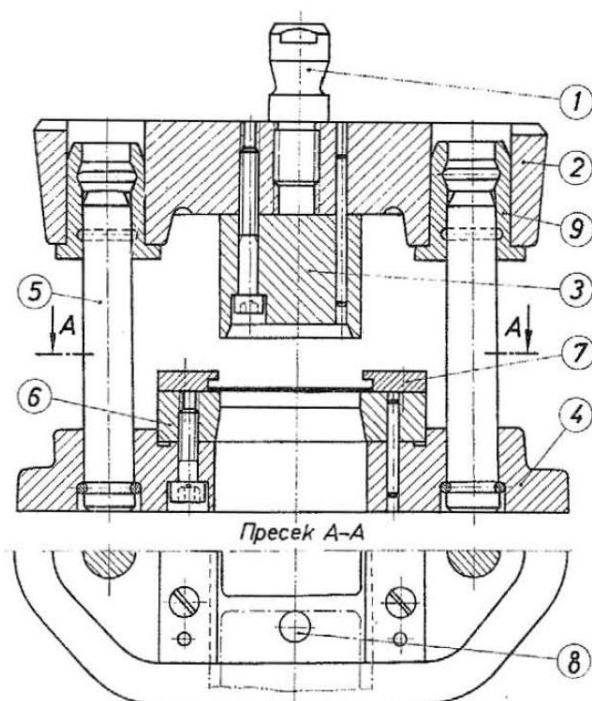
Б) Алати са вођењем налазе изузетно широку примену у индустрији, и то у серијској и масовној производњи. Ови алати поседују додатне компоненте које омогућавају прецизно вођење, а самим тим и већу тачност радних комада. Захваљујући овим деловима алат постаје знатно компликованији а самим тим и скупљи за израду, међутим овај већи трошак се у масовној индустријској производњи практично може занемарити. У пракси се најчешће срећу, [4]:

- Алати са водећом плочом;
- Алати са водећим стубовима;
- Алати са комбинованим вођењем;

Алати са водећом плочом, као што им и само име каже, врше правилно позиционирање пробојаца и просекача коришћењем додатног елемента, водеће плоче. Ови алати се најчешће изводе као полуотворени или затворени. У стручној литератури, овај тип вођења познат је и као *плочасто вођење*, [4].

Алати са стубним вођењем налазе ширу практичну примену, првенствено јер омогућавају тачније вођење у односу на претходна конструкцијска решења, и јер поседују нешто дужи век трајања. Због својих карактеристика алати са овим типом вођења налазе широку примену у великосеријској и масовној производњи, [4].

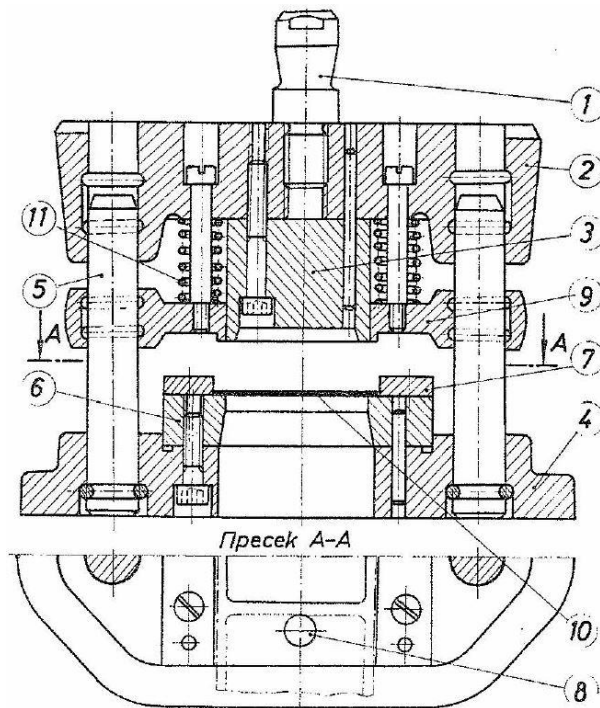
Један типичан алат са стубним некугличним вођењем приказан је на *слици 4.3.*, где се као и код већине алата за обраду лима могу уочити чеп (1), горњи део кућишта (2) са причвршћеним пробојцем или просекачем (3). Ту се налази и доњи део кућишта са претходно упресованим стубним вођицама (5) по којима се креће горњи део алата, док је доњи део алата причвршћен за сто пресе. Због компликоване израде клизних површина, у горњи део алата често се упресује чаура за вођење (9) која се креће по стубним вођицама (5). За доњи део алата завртњевима је причвршћена резна плоча (6), на коју су са горње стране такође завртњевима везане две летве за вођење (7). Тачно померање траке омогућено је применом граничника (8), [4].



Слика 4.3. Алат са стубним вођењем, [4]

Поред некугличног вођења приказаног на *слици 4.3.*, у савременим алатима примењује се знатно прецизније куглично вођење. Овај тип вођења, се због своје цене и прецизности најчешће примењује код изузетно компликованих индустријских алата који се користе у великосеријској и масовној производњи.

Алати са комбинованим вођењем налазе најширу индустријску примену, јер обезбеђују најтачније вођење. Представљају комбинацију алата са плочастим и стубним вођењем, а највећа прецизност ових алата остварује се применом куглично вођених стубова. У односу на претходне конструкције, алати са комбинованим вођењем садрже и опружне елементе чија ће функција бити детаљније објашњена у даљем тексту.



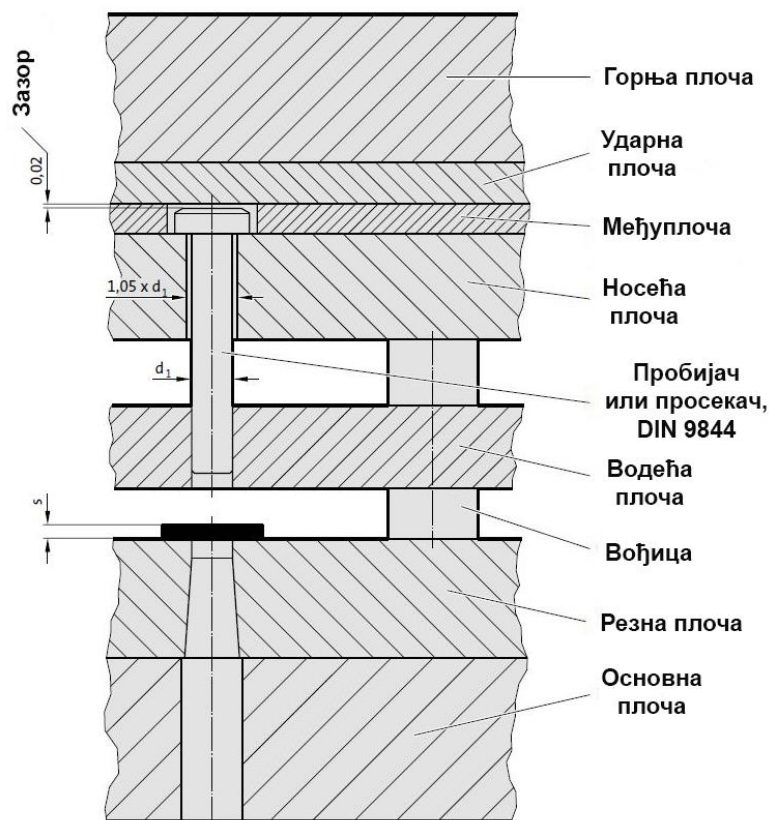
Слика 4.4. Алат са комбинованим вођењем, [4]

Типична конструкција алата са комбинованим некугличним вођењем приказана је на *слици 4.4*. Конструкцијски гледано, приказан алат је сличан алатима са стубним вођењем, међутим основна разлика је што се у алатима са комбинованим вођењем, за додатно вођење радних органа у горњем делу алата користи и водећа плоча (9). У току радног хода притискивача пресе, просекач (пробојац) (3) се заједно са водећом плочом креће све док се не оствари контакт просекача (пробојца) са лименом траком (10), односно контакт између водеће плоче (9) и вођице лимене траке (7). Трака од лима је постављена на резну плочу (6) између вођица лимене траке (7). По остваривању ових контаката, просекач вођен водећом плочом захваљујући дејству силе пресе сам наставља своје кретање, уз сабијање опруга (11). У повратном ходу, опруге се растеређују и враћају водећу плочу (9) у првобитан положај, што омогућава просекачима (пробојцима) да се врате у водећу плочу, [4]. На основу представљеног може се уочити да водећа плоча поседује неколико функција, [4]:

- 1) Да омогући допунски вид вођења за просекаче (пробојце). Овим се постиже већа тачности израде у случајевима када се танким пробјцима пробијају мали отвори у дебелим лимовима;
- 2) Спречава настанак деформације при исецању тањих лимова, као и пуцање кртих неметалних материјала;
- 3) Омогућава скидање траке са ножева.

4.3. Основни делови алата

У оквиру овог поглавља представљени су основни саставни делови алата за пробијање и просецање, при чему већи број анализираних делова налази примену и код алата који извршавају друге операције, нпр. савијање и дубоко извлачење. Већина саставних делова алата је стандардизована и може се купити код водећих светских добављача алатне опреме (*Fibro, Meusburger, Kern*, итд.). На слици 4.5. приказани су основни делови алата и њихова позиција у склопу. Сви делови су описани на примеру алата са комбинованим вођењем, при чему је потребно напоменути да је горњи део алата покретан, док је доњи део алата непокретан.



Слика 4.5. Упростио приказ распореда основних делова у алату са комбинованим вођењем, [9]

Чепови (рукавци, носачи алата) се користе за причвршћивање горњег дела алата за притискивач пресе. Израђују се од конструкционих челика, Š0545 (1.0050) и сродних, [10]. Чепови се морају поставити у тежишту свих радних органа у горњем делу алата (пробијача или просекача, савијача, извлакача, итд.), јер би чеп померен из тежишта довео до закошења алата, брзог хабања вођица, као и до стварања буке која негативно утиче на радну атмосферу, [1] [2] [4]. Чепови су стандардизовани и најчешће се као такви купују од добављача алатне опреме.

Горња плоча је елемент у који се са горње стране поставља чеп, док се са доње стране врши везивање са међуплочом и носећом плочом. Израђује се од конструкционих челика, и најчешће је правоугаоног или квадратног облика. Припремци могу бити стандардизоване плоче доступне код добављача алатне опреме, или пак челичне плоче доступне код локалних добављача челика, [4].

Међуплоча представља елемент који се поставља између горње и носеће плоче. Њен основни задатак је да изврши смањење специфичног притиска између горње плоче и радних делова у горњем делу алата, а самим тим и да спречи настанак пластичне деформације на ослоним површинама претходно напоменутих елемената. Поред ове функције, међуплоча мора обезбедити и успешан пренос силе пресе са чепа на радне делове. Израђује се од челика за побољшање Č1530 (1.0503), угљеничног алатног челика Č1840 (1.1525), или пак челика за цементацију Č1220 (1.0401), [3] [4] [10]. По завршеној обради, врши се накнадна термичка обрада и то цементација или каљење до тврдоће од 50 – 55 HRC, [4].

Носећа плоча служи за учвршћивање радних елемената алата и налази се у горњем делу алата. У њој се налазе профилисани отвори за позиционирање и фиксирање радних делова, као и отвори за завртњеve којима се ова плоча везује за остатак конструкције. Носећа плоча се најчешће израђује од конструкционих челика, [4].

Просекачи и пробојци као радни елементи представљају најважније компоненте горњег дела алата. Као и подсклоп у који су постављени, просекачи и пробојци врше кретање при којем извршавају своје радне операције пробијања и просецања. Радна геометрија пробојца и просекача (резне ивице) мора одговарати контури која се пробија или просеца. Правац деловања радних делова мора бити управан у односу на површину на којој се пробија или просеца одговарајућа контура, [4].

Због своје функције у конструкцији, пробијачи и просекачи израђују се од угљеничних или легираних алатних челика, а понекад се користе и тврди метали. Најчешће се користи Č4150 (1.2080), при чему се за простије контуре и мање оптерећене пробијаче/просекаче могу примењивати још и Č1940 (1.1545), Č3840 (1.2842), итд., [10]. За оптерећеније алате примењују се и Č4840 (1.2063), Č6440 (1.2419), и други, [4] [10]. Како би се остварила потребна тврдоћа радних делова, потребно је извршити каљење на тврдоћу од око 60 HRC. Кали се доња дужинска половина, док горњи део остаје жилав јер може доћи до деформације пробојца услед оптерећења на извијање. По завршетку процеса каљења, у циљу добијања оштрих резних ивица чеона резна површина се мора обрусити, [4].

Пробојци и просекачи су стандардизовани елементи па се за неке једноставније и стандардизоване контуре могу директно купити од добављача алатне опреме. У већини случајева, због сложенијих контура исецања, пробојци и просекачи морају се правити по наруџбини, при чему и ове специфичне захтеве такође могу задовољити добављачи алатне опреме, [9].

Водећа плоча као што јој и само име каже служи за вођење радних делова алата. Вођење се врши путем профилисаних отвора у водећој плочи, при чему профил отвора одговара профилу пробојца или просекача у тој равни. Представља најнижу плочу у горњем делу комбинованих алата, и најчешће се израђује од конструкционих челика. За изузетно оптерећене водеће плоче користе се челици Č1530 (1.0503), и Č1330 (1.0402), који се накнадно кале на 50-54 HRC. Код јако оптерећених плоча већих димензија, водећа плоча се израђује од конструкционог челика, док се на неке најоптерећеније позиције постављају каљене чауре израђене од квалитетнијих челика, [4].

Резна плоча (матрица) је основни радни елемент доњег дела алата. На њој се налазе отвори са резним ивицама. Као један од радних елемената, резна плоча је изложена великом напрезању и хабању, па се из тог разлога израђује од материјала пробојаца и просекача. Као и код радних органа у горњем делу алата, потребно је извршити термичку обраду каљења на око 60 HRC, коју затим прати операција брушења. Уколико је резна плоча огромних димензија и габарита она се најчешће израђује од конструкционих челика, док се на резним местима постављају каљене чауре израђене од квалитетнијих челика, [4]. На овај начин се постиже значајна уштеда новца у погледу израде и одржавања, при чему се похабане чауре могу релативно брзо и јефтино заменити новим чаурама.

Позиција отвора у резној плочи мора одговарати позицијама просекача и пробијача у горњем делу алата у циљу остваривања неометаног уклањања отпадака (пробијање), или пак радних комада (просецање). Ови отвори се могу извести на неколико различитих начина, али се најчешће примењује извођење са конусним излазима.

Основна плоча представља елемент доњег дела алата на који се причвршћују остали елементи овог подскопа, укључујући и резну плочу. Као и други елементи алата који не врше обраду лима, основна плоча се израђује од конструкционог челика, а у неким случајевима чак и од сивог и челичног лива. Нешто ређе се примењују квалитетнији материјали, и то само у случајевима када су силе пробијања и просецања изузетно велике, [4].

Корачни ножеви су елементи који се најчешће користе за правилно позиционирање лимене траке. Омогућавају изузетно велику тачност померања траке, па се из тог разлога примењују код већине индустријских алата. Врше бочно сужавање траке, тако да необрађена трака удара у граничник, док се бочно обрађени део траке помера даље кроз алат. Корачни ножеви се израђују од материјала просекача и пробојаца, при чему се њихове карактеристике морају побољшати пратећим процесима термичке обраде (нпр. каљење). Као и остали радни делови, корачни ножеви се причвршћују у носећој плочи. Дужина корачног ножа, мора одговарати кораку траке t , [4].

У алатима се најчешће примењује један корачни нож, али уколико је потребно, понекад примену могу наћи и два корачна ножа. У случајевима када се примењују два корачна ножа, њихов распоред може бити паралелан, или се пак један нож може поставити на почетку, а други на крају комада (код дужих и ужих делова), [4]. У пракси се контура корачних ножева најчешће комбинује са обликом комада у развијеном стању, тако да се овом операцијом врши и правилно позиционирање траке, али и функционална обрада лименог припремка (лимене траке).

4.4. Обрасци потребни за прорачун алата за пробијање и просецање

Како би се извршило правилно пројектовање и димензионисање алата за пробијање и просецање, често је потребно извршити прорачун елемената алата, али и других релевантних параметара.

При прорачуну комбинованих алата првенствено је потребно одредити силу потребну за извођење анализираних операција (пробијања и просецања), као и потребну силу пресе. Сила потребна за извођење операција пробијања и просецања може се одредити коришћењем *обрасца 4.1.*, [1] *стр. 123. образац 44.*, док се потребна сила пресе може одредити коришћењем *обрасца 4.2.*, [1] *стр. 123. образац 45.* У овим обрасцима може се уочити јасна аналогија са операцијом одсецања.

$$F = L \cdot s \cdot \tau_m \quad (4.1.)$$

$$F_m = 1.3 \cdot F \quad (4.2.)$$

Где су:

F – сила пробијања или просецања,

L – обим затворене контуре која се пробија или просеца,

s – дебљина лима,

τ_m – смицајна чврстоћа лима,

F_m – сила пресе.

Због велике дужине и релативно малог попречног пресека, често је при прорачуну пробојаца потребно извршити и проверу на извијање. Максимална дужина пробојаца (просекача) који нису вођени водећом плочом (једнострано укљештен пробојац) може се одредити коришћењем *обрасца 4.3.* [4] *стр. 154.*, док се максимална дужина пробојаца који су вођени водећом плочом може одредити коришћењем *обрасца 4.4.*, [4] *стр. 154.*

$$l_{max} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot F}} \quad (4.3.)$$

$$l_{max} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot F}} \quad (4.4.)$$

Где су:

l_{max} – максимална дужина пробојца или просекача,

E – модул еластичности материјала пробојца или просекача,

I – најмањи момент инерције попречног пресека пробојца или просекача,

F – сила потребна за извођење операције пробијања или просецања.

У случајевима када се врши пробијање или просецање малих отвора у дебљем лиму потребно је одредити и минималне димензије пробојаца или просекача. Уколико се пробија или просеца кружна контура од стране вођеног и укљештеног пробојца или просекача, за одређивање његовог минималног пречника може се користити *образац 4.5.*, [1] *стр. 181. образац 69.*

$$d > 4 \cdot s \cdot \frac{\tau_m}{\sigma_{pd}} \quad (4.5.)$$

Где су:

d – миминални дозвољени пречник пробојца или просекача,

σ_{pd} – дозвољено напрезање на притисак материјала пробојца или просекача.

Потребне карактеристике материјала пробојца или просекача често нису доступне у релевантној техничкој литератури, у каталозима произвођача алатне опреме, а често чак и код бројних произвођача челика. До тачних података тешко је доћи и због чињенице да се одређене карактеристике материјала мењају захваљујући поступцима термичке обраде. Због претходно побројаних фактора, најчешће се усваја нека генеричка вредност која се често среће у релевантној техничкој литератури, [4] *стр.* 154.

$$\sigma_{pd} = 1000 \div 1600 \text{ MPa}$$

За правилно извођење операција пробијања (просецања), потребно је и прописати одговарајуће толеранције пробијача (просекача) и резне плоче. Пошто су у даљем току овог рада првенствено анализиране операције пробијања, представљени су само обрасци потребни за израчунавање зазора код ове операције и то у случају када се пробијање кружне контура. На основу *обрасца 4.6.* може се одредити пречник пробојца који узима у обзир зазор, док се на основу *обрасца 4.7.* може одредити пречник прстена за пробијање (матрице) који такође узима зазор у обзир, [1] *стр.* 141. *образац 57.*

$$d_s = D_{max} = D + \Delta \quad (4.6.)$$

$$d_M = d_s + w = (D + \Delta) + w \quad (4.7.)$$

Где су:

d_s – пречник пробојца,

D_{max} – максимална димензија анализираног готовог комада,

D – називни пречник,

Δ – толеранција израде,

d_M – пречник прстена за пробијање,

w – зазор.

Величина зазора може се одредити коришћењем *обрасца 4.8.*, [1] *стр.* 139. *образац 54.*

$$w = 2 \cdot f = d_M - d_s \quad (4.8.)$$

Где је:

f – зазор израчунат за полупречник пробојца (за једну страну).

Зазор за полупречник пробојца, односно зазор за једну страну пробојца може се одредити коришћењем *обрасца 4.9.*, [1] *стр.* 139.

$$f = \frac{d_M - d_s}{2} \quad (4.9.)$$

Претходно наведени обрасци за одређивање зазора (*обрасци 4.8. и 4.9.*) не дају јасне назнаке како се тачно може одредити вредност зазора у некој реалној конструкцији. Толеранције и толеранцијска поља за пробојце и просекаче и резне плоче најчешће се одређују на основу препорука или емпиријски одређених табела. У релевантној литератури, препоручено је да се пробојци и просекачи израђују у толеранцијским пољима $h6$ или $g6$, [4]. У другом литературном извору доступна је табела зазора за операције пробијања и просецања немачке компаније *Schuler*, [1] *стр. 142. табела 17.*

Овом приликом потребно је напоменути да зазор нема константну вредност, већ директно зависи од истрошености алата. Ова чињеница указује да у току радног века долази до повећања зазора, при чему тупљењем алата долази до смањења квалитета финалног производа.

За правилно функционисање алата са стубним и комбинованим вођењем потребно је одредити положај тежишта радних елемената, у зависности од њиховог геометријског тежишта и силе извођења операција. Овај податак је потребан позиционирање чепа у релевантној равни горње плоче, при чему се тежиште одређује у односу на координатне осе X и Y . Тежиште радних органа у функцији претходно наведених параметара се за усвојену осу X може се одредити коришћењем *обрасца 4.10.*, [1] *стр. 228.* док се положај за усвојену осу Y може одредити коришћењем *обрасца 4.11.*, [1] *стр. 228.*

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (4.10.)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (4.11.)$$

Где су:

- X – положај тежишта радних елемената по X оси,
- F_i – сила пробијања i -тог пробијача или просекача,
- x_i – положај геометријског тежишта по X оси i -те контуре пробијања (просецања),
- Y – положај тежишта радних елемената по Y оси,
- y_i – положај геометријског тежишта по Y оси i -те контуре пробијања (просецања).

Геометријски положај тежишта контуре пробијања (просецања) за усвојену осу X може се одредити коришћењем *обрасца 4.12.*, док се положај тежишта за усвојену осу Y може се одредити коришћењем *обрасца 4.13.*, [1] *стр. 229. образац 84.*

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (4.12.)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (4.13.)$$

Где су:

- X – геометријски положај тежишта анализиране контуре по X оси,
- L_i – дужина i -те линије анализиране резне контуре,
- x_i – геометријско тежиште i -те линије анализиране резне контуре,
- Y – геометријски положај тежишта анализиране контуре по Y оси,
- y_i – геометријско тежиште i -те линије анализиране резне контуре.

Следећи параметар алата који је потребно израчунати односи се на дебљину резне плоче (матрице). Овај параметар се одређује коришћењем *обрасца 4.14.*, [4] *стр. 159.*

$$H = (10 + 5 \cdot s + 0.7 \cdot \sqrt{A + B}) \cdot K \quad (4.14.)$$

Где су:

s – дебљина лима који се обрађује (mm),

A, B – габаритне димензије правоугаоника којим се апроксимирају отвори за пробијање и просецање у резној плочи,

K – коефицијент који зависи од затезне чврстоће (σ_m) лима који се пробија или просеца, ова вредност се одређује коришћењем *табеле 4.1.* [4], *стр. 159.*

Табела 4.1. Вредност коефицијента K у функцији затезне чврстоће σ_m лима који се обрађује, [4]

Чврстоћа лима σ_m (N/mm ²)	800	400	250	120
Коефицијент K	1.3	1.0	0.8	0.6

Остале димензије резне плоче конструкцијски се усвајају и првенствено зависе од начина израде разматраног лименог комада, као и других бројних фактора.

Следећи параметар алата који је потребно израчунати односи се на размак између вођица траке од лима. Овај параметар је од изузетне важности, јер се његовим правилним одређивањем може извршити прецизно вођење траке од лима кроз алат. Размак између водећих летава може се одредити коришћењем *обрасца 4.15.*, [4] *стр. 165.*

$$B_2 = B_1 + 2 \cdot z \quad (4.15.)$$

Где су:

B_1 – ширина траке од лима,

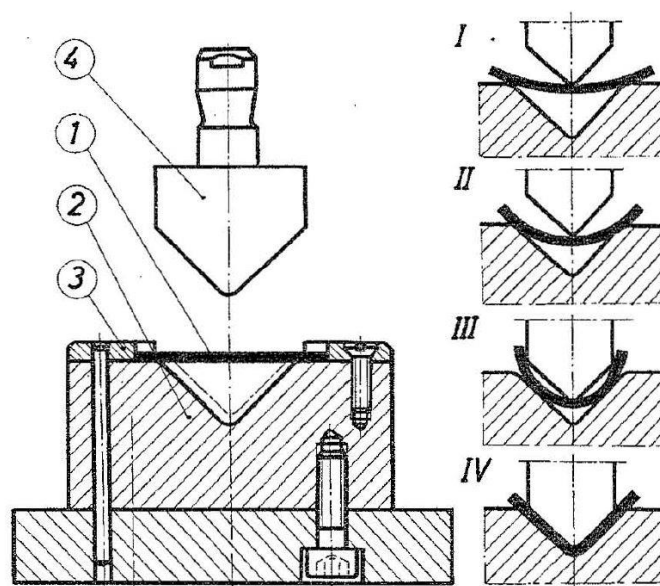
z – једностранни зазор између траке и вођице, креће се између 0.25 ÷ 0.75 mm.

5. Савијање

Савијање, уз пробијање и просецање, представља један од поступака пластичног деформисања који налази највећу практичну примену. Овим поступком се поред лима, могу деформисати и ваљани и вучени профили, шипке, цеви итд., најразличитијих габарита, па самим тим овај поступак налази изузетно широку примену у свим гранама индустрије.

5.1. Теоријске основе извођења операција

Савијање представља процес локалног пластичног деформисања материјала, док се у појединим случајевима може деформисати и целокупна запремина полазног комада. У пракси се најчешће примењује процес угаоног савијања, приказан на *слици 5.1*. Полазни комад (1) поставља се на доњи обликач (2) између вођица (3), при чему се кретањем горњег обликача надоле и по остваривању контакта са припремком врши савијање лима, [4].



Слика 5.1. Угаоно савијање лименог дела са фазама процеса, [4]

Процес савијања се врши у четири различите фазе, као што се може уочити на слици изнад. Горњи обликач већ у првој фази савијања врши обликовање при чему долази до формирања полукружног заобљења чији полупречник у току процеса савијања полако опада, и у четвртој финалној фази достиже жељену вредност. У четвртој и завршној фази процеса савијања, горњи обликач се налази у свом најнижем положају, радни комад (лим) належе на радне површине горњег и доњег обликача, односно врши се формирање жељеног комада.

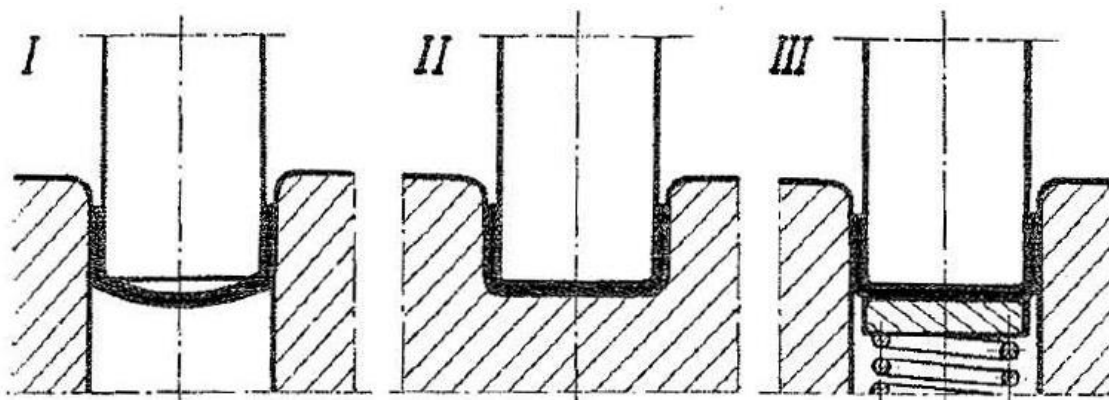
5.2. Алати и радни органи процеса савијања

Као и код алата за операције пробијања и просецања, бројни технички захтеви довели су до великог броја различитих конфигурација алата за савијање делова од лима. На основу релевантне техничке литературе, у оквиру овог рада усвојена је следећа подела, [4]:

- 1) Према облику дела који се израђује;
- 2) Према врсти савијања;
- 3) Према начину вођења;
- 4) Према сложености конструкције и намени.

(1) Према облику дела разликују се алати за угаоно, кружно и сложено савијање. Постоје три врсте угаоног савијања, и то, једноугаоно, двоугаоно и вишеугаоно. У претходном поглављу (*поглавље 5.1.*) приказан је и описан процес једноугаоног савијања. Потребно је и напоменути да алати за сложено савијање представљају комбинацију алата угаоног и кружног савијања, [4].

(2) Према врсти савијања разликују се алати за слободно савијање (*I* на *слици 5.2.*), алати за савијање са исправљањем (*II* на *слици 5.2.*), и алати са избацивачем (*III* на *слици 5.2.*).



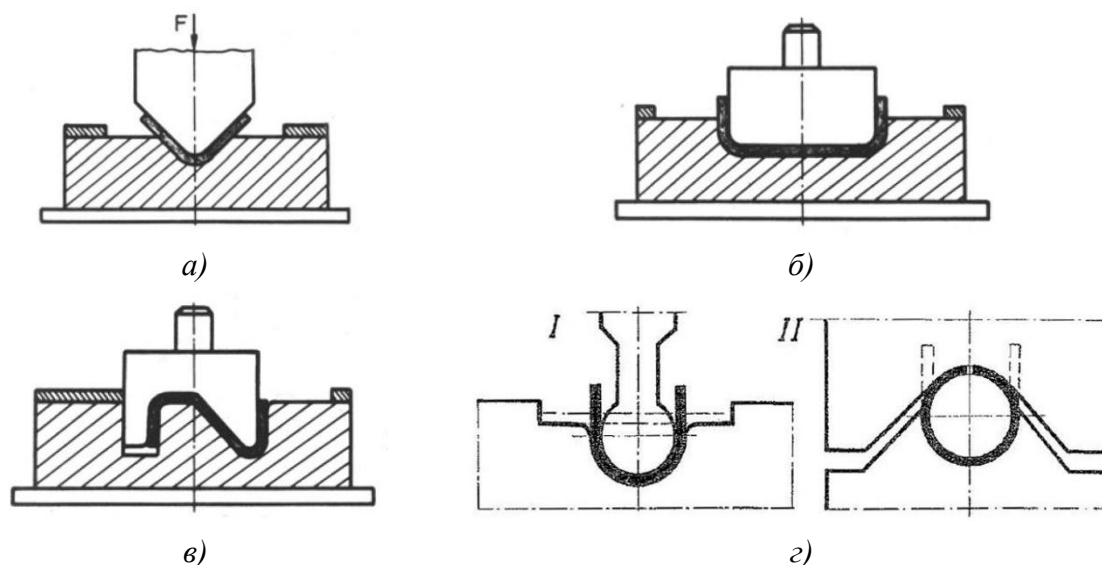
Слика 5.2. Подела алата према врсти савијања, [4]

(3) Према начину вођења разликују се алати са и без вођења. Као и код алата за пробијање и просецање, примењују се плочасто, стубно и комбиновано вођење.

(4) Према сложености, извршена је даља анализа алата за савијање у оквиру овог поглавља. На основу овог фактора разликују се:

- А) Прости алати;
- Б) Сложени алати;
- В) Универзални алати;

(А) Прости алати се користе у малосеријској и серијској производњи за израду делова једноставнијих облика. Овим алатима се најчешће из једне операције израђују једноставнији делови. Нешто је ређа примена ових алата при изради сложенијих делова, при чему би се у овом случају на сваком простом алату изводила по једна операција, [4]. Ови алати се најчешће користе за савијање делова “V”, “Z”, “U” и кружних облика. Ове операције савијања су приказане на *сликама 5.3. а), б), в) и г).*



Слика 5.3. Прости алати за савијање “V” облика (а), “U” облика (б), “Z” облика (в) и кружног облика (г), [4]

(Б) Сложени алати користе се за формирање сложенијих делова у једном ходу пресе коришћењем само једног горњег обликача. Целокупан процес савијања врши се постепено, и то у неколико фаза у току једног радног хода. Горњи и доњи обликач специјалне су геометрије јер облик контуре која се савија директно зависи од положаја горњег обликача у току радног хода, [4].

(В) Универзални алати налазе примену у малосеријској производњи. Ова конструкција није детаљније анализирана јер се ређе примењује у индустрији.

На основу претходно представљених конструкцијских решења, може се уочити изузетна сличност алата за савијање са алатима за пробијање и просецање. Заправо, слободно се може рећи да се значајније разликују само конструкцијска решења радних елемената, односно горњих и доњих обликача. За разлику од пробојаца, просекача и резне плоче, код алата за савијање примењују се горњи и доњи обликачи. Њихова радна геометрија директно зависи од контуре коју је потребно формирати, што је најевидентније код операција “V”, “Z” и “U” савијања. Материјали и смернице за израду горњих и доњих обликача исте су као и код пробојаца и просекача, [4].

5.3. Обрасци потребни за прорачун алата за савијање

Како би се извршило правилно пројектовање и димензионисање алата за савијање, првенствено је потребно извршити прорачун како елемената алата, тако и карактеристика полазних комада.

Као и код операција пробијања и просецања, један од првих релевантних параметара које је потребно одредити јесте сила потребна за извршавање операција савијања. Ова сила директно зависи од типа савијања, при чему се за сваки тип користи засебан образац. У оквиру овог рада анализирано је “V” и “L” савијање.

Потребна сила за случај “V” савијања може се одредити коришћењем *обрасца 5.1.*, [4] *стр. 200*. Релевантне димензије које фигуришу у *обрасцу 5.1.* графички су приказане на *слици 5.4.*

$$F = \frac{2 \cdot M}{R_g + 0.5 \cdot s} \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.1.)$$

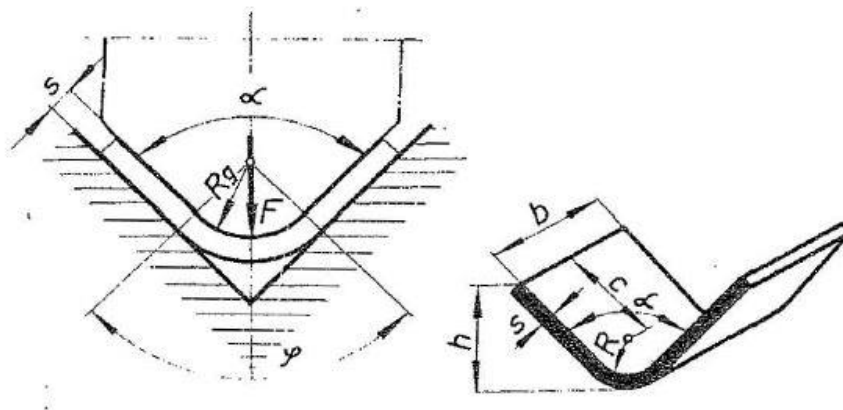
Где су:

M – момент унутрашњих сила за случај чисто пластичног савијања у Nmm ,

R_g – полупречник заобљења на горњем обликачу у mm ,

s – дебљина лима,

φ – угао криволинијског елемента ($\varphi = 180^\circ - \alpha$).



Слика 5.4. Димензије потребне за одређивање силе “V” савијања, [4]

Момент унутрашњих сила за случај чисто пластичног савијања M може се одредити коришћењем *обрасца 5.2.*, [4] *стр. 200*.

$$M = n \cdot \sigma_m \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \quad (5.2.)$$

Где су:

n – поправни коефицијент очвршћавања $n = 1.6 \div 1.8$,

σ_m – затезна чврстоћа у N/mm^2 ,

b – ширина комада.

Овом приликом је потребно напоменути да веће вредности коефицијента n зависе од врсте материјала и да се усвајају из одговарајућих препорука, [4].

Потребна сила за случај “L” савијања може се одредити коришћењем *обрасца 5.3.*, [4] *стр. 202.* Релевантне димензије које фигуришу у *обрасцу 5.3.* графички су приказане на *слици 5.5.*

$$F = \frac{M}{l} \cdot (1 + \sin \varphi) \quad (5.3.)$$

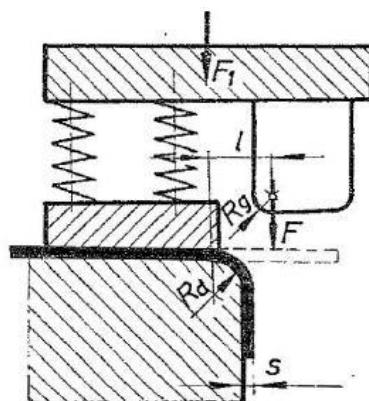
Где су:

F – сила савијања,

M – момент унутрашњих сила за случај чисто пластичног савијања (*образац 5.2.*),

l – дужина крака,

φ – угао криволинијског елемента ($\varphi = 90^\circ - \alpha$).



Слика 5.5. Димензије потребне за одређивање силе “L” савијања, [4]

Дужина крака l за пример на *слици 5.6.* може се одредити као, [4] *стр. 202.*:

$$l = R_d + R_g + s$$

Уколико угао криволинијског елемента износи $\varphi = 90^\circ$, онда *образац 5.3.* за силу “L” савијања добија једноставнији облик (*образац 5.4.*), [4] *стр. 202.*

$$F = \frac{2 \cdot M}{l} \quad (5.4.)$$

Како би се остварио захтевани квалитет производа, потребно је одредити и заобљења на доњем обликачу. Полупречник заобљења на доњем обликачу се разликује од полупречника заобљења на финалном комаду (*слика 5.5.*), захваљујући природи процеса савијања, односно чињеници да се радијус припремка прогресивно смањује кроз фазе процеса. Овај прорачун може се извршити коришћењем *обрасца 5.5.* Све променљиве које фигуришу у овом обрасцу претходно су разматране, [4] *стр. 195.*

$$R_{du} = (0.6 \div 0.8) \cdot (R_g + s) \quad (5.5.)$$

Обликовање лимова операцијом савијања захтева пластично деформисање материјала, па један од првих задатака у процесу конструисања алата за савијање представља одређивање облика и димензија припремка. За одређивање ових параметара потребно је одредити такозвано развијено стање анализираног машинског дела. Појава пластичне деформације доводи до издужења и скраћења слојева материјала, што самим тим у одређеној мери и компликује поступак одређивања димензија развијеног стања. Потребно је напоменути да се деформације не појављују на несавијеном

(недеформисаном) материјалу полазног комада. Димензије развијеног стања анализираниог лименог дела у релевантној равни могу се одредити коришћењем *обрасца* 5.6., [1] *стр.* 297. *образац* 108.

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \frac{\pi}{180} \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_i^{\circ} \cdot (r_i + \xi_i \cdot s) \quad (5.6.)$$

Где су:

L – дужина лименог дела у развијеном облику,

l_i – дужине равних делова,

φ_i° – угао савијања у степенима,

r_i – унутрашњи радијуси савијања,

ξ_i – коефицијент,

s – дебљина лима.

Део *обрасца* 5.6. у загради, $(r_i + \xi_i \cdot s)$, назива се полупречник кривине неутралне линије деформације ρ_d . До израза овог облика (*образац* 5.7.) дошао је В. П. Романовски, [1] *стр.* 295.

$$\rho_d = r + \xi \cdot s \quad (5.7.)$$

Где је:

ρ_d – полупречник неутралне линије деформације,

Вредност коефицијента ξ може се одредити коришћењем табеле доступне у релевантној литератури, [1] *табела* 42. *стр.* 294. Вредност коефицијента ξ зависи од односа унутрашњег полупречника савијања r , и дебљине лима s .

Пошто је савијање операција еластично-пластичног карактера, по завршетку овог процеса најчешће долази до појаве еластичног исправљања комада. Иако ова појава у мањој мери утиче на еластично исправљање материјала, она ипак може довести до углова савијања изван прописаних толеранција, а самим тим и до лошијег квалитета финалног производа. Ова последица узима се у обзир путем фактора еластичног исправљања (K), *образац* 5.8., [4] *стр.* 306. *образац* 114.

$$K = \frac{r_1 + \frac{s}{2}}{r_2 + \frac{s}{2}} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (5.8.)$$

Где су:

K – фактор еластичног исправљања,

r_1 – полупречник заобљења на месту савијања горњег обликача,

r_2 – полупречник заобљења на месту савијања готовог комада,

s – дебљина лима,

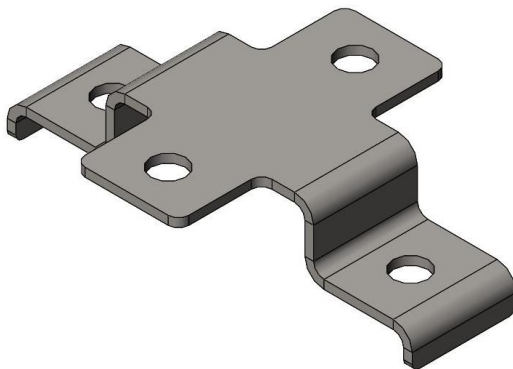
φ_1 – угао савијања,

φ_2 – угао по еластичном исправљању (вредност угла на финалном комаду).

Вредност фактора еластичног исправљања (K), одређује се коришћењем одговарајућих дијаграма за усвојене материјале. У оквиру овог рада коришћен је дијаграм G. Sachs-а доступан у релевантној литератури, [1] *стр.* 308. *слика* 144.

6. Конструкција алата

Прогресивни алати за обраду лима у пракси се скоро увек конструишу на основу већ постоћег лименог дела. Овај приступ коришћен је и у оквиру овог рада, при чему је реферетни машински део приказан на *слици 6.1*. За потребе овог рада, конструисан је имагинаран део који не налази примену у индустрији, али ипак дели одређене сличности са неким производима који налазе широку практичну примену.



Слика 6.1. Референтни део од лима

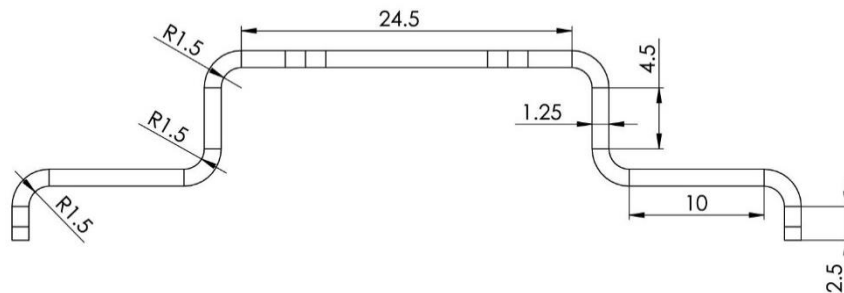
На основу референтног 3Д модела приказаног на претходној слици, може се закључити да се његово успешно обликовање може извршити применом три различите операције, и то пробијања, савијања и одсецања. Као материјал машинског дела усвојен је Č0146 (JUS), односно DC01 (EN), [7]. Усвојен је лим дебљине $s = 1.25 \text{ mm}$. Лим ових карактеристика налази се у понуди компаније *Atenic Commerce*, као што се може уочити на *слици 2.11*.

Разматрани машински део најефикасније се може произвести коришћењем комбинованог прогресивног алата који ће извршавати све три претходно наведене операције. Овај тип прогресивних алата налази најширу примену у индустрији, па је из тог разлога ова конструкција и разматрана у оквиру овог рада, [4]. У оквиру овог поглавља извршен је прорачун најрелевантнијих параметара алата, одређен је степен искоришћења материјала као и цена израде разматраног лименог дела. Конструисан алат је измоделиран у софтверском пакету *Solidworks 2016*, при чему су у оквиру овог поглавља представљени и неки прикази креираног 3Д модела.

Потребно је напоменути да је усвојено да се померање лимене траке у алату врши аутоматизовано, при чему технички систем који омогућава овакав начин кретања траке кроз алат није пројектован у оквиру овог рада.

6.1. Одређивање димензија припремка

Први корак у процесу конструисања алата представља одређивање потребних димензија полазних комада (трака од лима). Пошто се анализирани део од лима обликује савијањем, првенствено је потребно одредити облик и димензије развијеног стања анализираниог машинског дела. На *слици 6.2.* приказана је релевантна контура и димензије које су потребне за одређивање параметара комада у развијеном стању.



Слика 6.2. Подаци потребни за одређивање димензија развијеног стања

За одређивање димензија дела у развијеном стању користи се *обрасца 5.6.*, међутим прво је одређена вредност односа r/s , на основу којег је затим одређена вредност коефицијента ξ .

$$\frac{r}{s} = \frac{1.5}{1.25} = 1.2$$

На основу односа r/s и табела у релевантној литератури [1] *табела 42. стр. 294.* усвојена је вредност фактора ξ .

$$\xi = 0.42$$

Пошто су све потребне вредности познате, одређен је полупречник кривине неутралне линије деформације коришћењем *обрасца 5.7.*

$$\rho_d = r + \xi \cdot s = 1.5 + 0.42 \cdot 1.25 = 2.025 \text{ mm}$$

Сада је одређена ширина анализираниог лименог дела у развијеном облику. Потребно је напоменути да се овај део састоји од укупно шест (6) истих заобљења савијања истих полупречника, што се може уочити и на *слици 6.2.*

$$B = 2 \cdot 2.5 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot 4.5 + 24.5 + \frac{\pi}{180} \cdot 6 \cdot 90 \cdot 2.025 = 77.585 \text{ mm}$$

Коришћењем софтвера *SolidWorks 2016* ови подаци су потврђени, при чему дужина развијеног стања израчуната коришћењем софтвера износи $L = 78.53 \text{ mm}$. Разлика од скоро 1 mm може се посматрати као грешка софтвера, јер се ова вредност у наведеном софтверском пакету добија за све челичне материјале и легуре, што самим тим доводи и до одређене непрецизности.

Усвојено је да се разматрани део од лима изводи са додацима за руб и мост. За усвојени лим дебљине $s = 1.25 \text{ mm}$ и претходно одређену ширину траке $B = 77.585 \text{ mm}$ могу се одредити додаци за руб и мост коришћењем података доступних у релевантној стручној литератури, [1] *таблица 20. стр. 149.*

$$r = 2.4 \text{ mm}; m = 2.4 \text{ mm}$$

На основу претходно одређене димензије дела у развијеном стању и усвојене вредности руба (меродаван за ширину), одређена је минимална ширина лимене траке:

$$B = L + 2 \cdot r = 77.585 + 2 \cdot 2.4 = 82.385 \text{ mm}$$

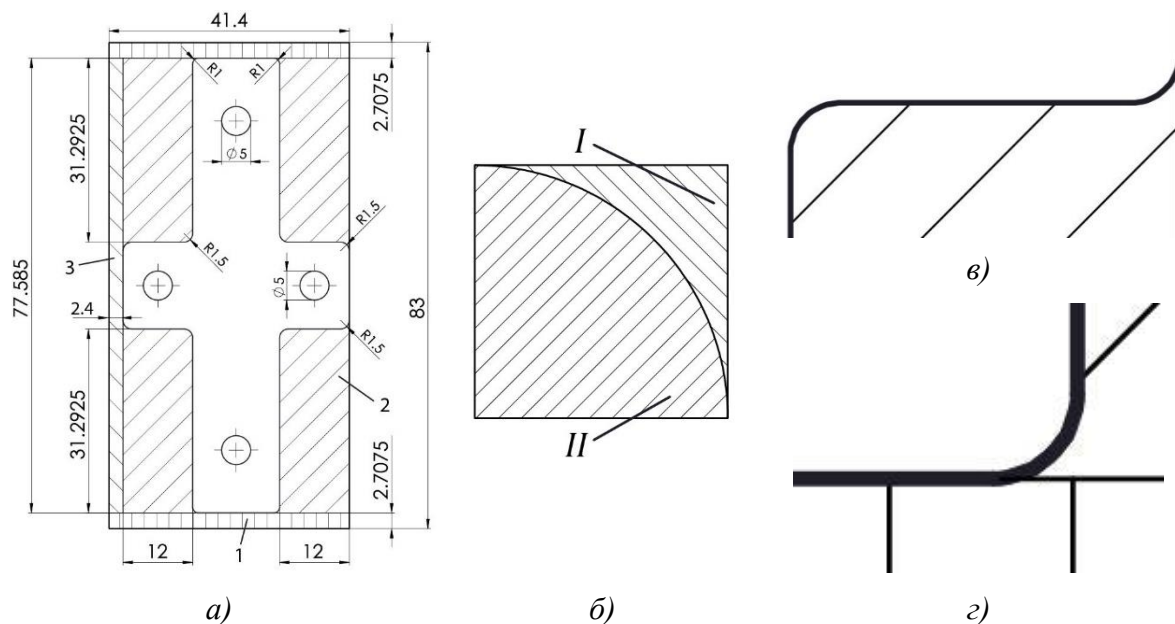
Усвојено је да ширина лимене траке износи $B = 83 \text{ mm}$.

Код прогресивних алата изузетно важан параметар представља и величина корака алата, јер она у великој мери утиче на конструкцију корачног ножа, али и у одређеној мери и на сам процес израде лименог дела. На основу техничког цртежа разматраног дела од лима, као и усвојене вредности моста (меродаван за корак) одређен је и корак пројектованог алата. Технички цртеж разматраног лименог дела доступан је у оквиру техничке документације алата која је приложена уз овај рад.

$$t = 39 + 2.4 = 41.4 \text{ mm}$$

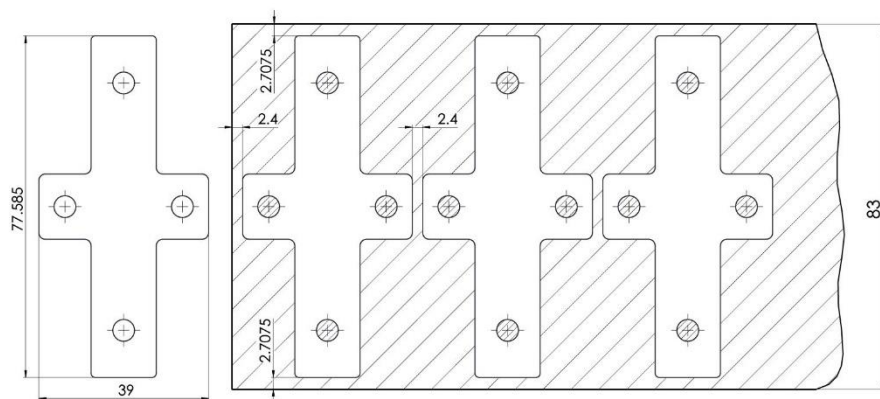
Корак израде пројектованог алата износи $t = 41.4 \text{ mm}$.

Облик и габаритне димензије разматраног лименог дела у развијеном стању, приказане су на *слици 6.3 а*).



Слика 6.3. Разматрани део од лима у развијеном стању (а), пример заобљене површине на ивици машинског дела (б), заобљења $r=1.5 \text{ mm}$ на другој контури (в), заобљења $r=1 \text{ mm}$ на другој контури (г)

За тачно одређивање ширине лимене траке потребно је одредити и распоред разматраних делова у развијеном стању на лименој траци. Пошто је потребно извршити обликовање анализираниог лименог дела операцијом савијања, препоручљиво је да се део обликује у идеалном положају, и да се не врши додатно искошавање или израда у више редова. Производња анализираних делова од лима може се вршити и применом комбинованог кројења, али у оквиру овог рада за овим начином израде не постоји потреба. Из овог разлога, анализирани машински део је у развијеном стању позициониран на лименој траци на најтрадиционалнији начин, као што се може уочити на *слици 6.4*.



Слика 6.4. Распоред делова у развијеном стању на траци од лима

За усвојени распоред делова на лименој траци потребно је одредити степен искоришћења лимене траке коришћењем *обрасца 2.1*. За успешно одређивање овог параметра посматран је референтни део приказан на *слици 6.3. а*). На основу димензија ишрафраних површина и анализираног одсечка лимене траке, одређена је површина технолошког отпада. Иако не утиче на коефицијент искоришћености траке, одређена је и површина отпада конструкцијског карактера.

На *слици 6.3.* може се уочити неколико сличних ишрафраних правоугаоних контура, при чему се могу уочити три димензионо и геометријски различите контуре. На основу доступних података, сада је одређена површина прве (1) контуре коришћењем добро познатог обрасца за површину правоугаоника.

$$A_1 = a \cdot b = 41 \cdot 2.7075 = 111.0075 \text{ mm}^2$$

Одређена је површина и треће (3) контуре:

$$A_3 = 77.858 \cdot 2.4 = 186.8592 \text{ mm}^2$$

Површину друге (2) контуре нешто је теже тачно одредити и то првенствено због три заобљене ивице. Одређивање површине коју заобљења одузимају/додају контури може се анализирати посматрајући *слику 6.3. б*). На средини друге контуре (2) могу се уочити два карактеристична заобљења полупречника $R=1.5 \text{ mm}$, приказана детаљније на *слици 6.3. в*). Једно заобљење од друге (2) контуре одузима, а друго заобљење јој додаје површину I приказану на *слици 6.3. б*). Због оваквог утицаја на финалну геометрију контуре 2, али и чињенице да четири радијуса додају а четири одузимају исту површину, заобљења полупречника $R=1.5 \text{ mm}$ није потребно даље анализирати.

На површину друге контуре утичу и заобљења полупречника $R=1 \text{ mm}$ шематски приказана на *слици 6.3. д*). Ова заобљења су позиционирана на самом врху и дну друге контуре. Ово заобљење другој (2) контури додаје површину I приказану на *слици 6.3. б*). Површина контуре I (*слика 6.3. б*), може се одредити коришћењем *обрасца 6.1*.

$$A_I = a^2 - \frac{1}{4} \cdot r^2 \cdot \pi \quad (6.1.)$$

Где су:

A_I – површина контуре I приказане на *слици 6.3. б*),

a – страница квадрата,

r – полупречник круга.

Пошто су сви потребни подаци познати, одређена је и површина друге (2) контуре.

$$A_{I,R1} = 1^2 - \frac{1}{4} \cdot 1^2 \cdot \pi$$

$$A_2 = 12 \cdot 31.2925 + 1^2 - \frac{1}{4} \cdot 1^2 \cdot \pi = 375.725 \text{ mm}^2$$

Пошто су одређене површине свих контура сада је одређена површина технолошког отпада. У технолошки отпад улазе две контуре 1, четири контуре 2, и једна контура 3.

$$A_{\text{тех.отпада}} = 2 \cdot A_1 + 4 \cdot A_2 + A_3$$

$$A_{\text{тех.отпада}} = 2 \cdot 111.0075 + 4 \cdot 375.725 + 186.8592 = 1911.774 \text{ mm}^2$$

За одређивање степена искоришћења траке од лима, на основу тренутних података, првенствено је потребно израчунати површину лименог одсечка, а на основу ње и површину развијеног машинског дела.

$$A_{\text{лим.одсечка}} = 41.4 \cdot 83 = 3436.2 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{раз.комага}} = A_{\text{лим.одсечка}} - A_{\text{тех.отпада}} = 3436.2 - 1911.774$$

$$A_{\text{раз.комага}} = 1524.426 \text{ mm}^2$$

Сада је коришћењем *обрасца 2.1.* одређен и степен искоришћења лимене траке.

$$\eta_{\text{лим.траке}} = \frac{A_{\text{раз.комага}}}{A_{\text{лим.одсечка}}} \cdot 100 = \frac{1524.426}{3436.2} \cdot 100 = 44.264\%$$

Усвојеним распоредом добијен је релативно мали степен искоришћења лимене траке. Као што је претходно напоменуто, распоред комага у развијеном стању на лименој траци се услед комбиновања операција не може додатно оптимизовати, па се степен искоришћења материјала лимене траке једино може побољшати модификацијом димензија или облика полазног лименог дела. Пошто је у оквиру овог рада анализиран имагинаран део, његова додатна оптимизација није извршена.

Конструкцијски отпад анализираниог лименог дела чини материјал који се уклања пробијањем четири отвора пречника $\phi = 5 \text{ mm}$. На основу доступних података одређена је и површина отпада конструкцијског карактера.

$$A_{\text{констр.отпада}} = 4 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 4 \cdot \frac{5^2 \cdot \pi}{4} = 78.5398 \text{ mm}^2$$

Одређена је и укупна површина и проценат материјала који се функционално не користи (отпад) при изради разматраног лименог дела од лименог одсечка.

$$A_{\text{отпада}} = A_{\text{тех.отпада}} + A_{\text{констр.отпада}}$$

$$A_{\text{отпада}} = 1911.774 + 78.5398 = 1990.314 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{отпада}\%} = \frac{A_{\text{отпада}}}{A_{\text{лим.одсечка}}} \cdot 100 = \frac{1990.314}{3436.2} \cdot 100 = 57.922\%$$

Потребно је анализирати и колики је степен искоришћења табле лима из које се одсецају лимене траке. За одабрани тип и дебљину лима, у понуди одабраног добављача налазе се табле лима ширина 1000 mm, 1250 mm и 1500 mm, док њихова дужина зависи искључиво од захтева и потреба купаца, [7].

За усвојену ширину лимене траке најпогоднија је табла лима ширине 1000 mm јер се из ње може одсећи 12 трака укупне ширине 996 mm. Од табле лима ширине 1250 mm може се одсећи 15 трака укупне ширине 1245 mm, док се од табле ширине 1500 mm може одсећи 18 трака укупне ширине 1494 mm. Може се уочити да се најбоље искоришћење лима остварује код табле ширине 1000 mm, при чему степен искоришћења материјала износи 99.6%, односно бацају се 4 mm. Преосталих 0.4% могу се алоцирати на толеранције одсецања, или пак на неке друге мање грешке.

На основу предочених података о степену искоришћења материјала, може се закључити да је полазни комад у виду табле лима максимално искоришћен. Иако се код табле лима ширина 1250 mm и 1500 mm остварује исти степен искоришћења материјала (99.6%), може се уочити да се на сваких додатних 250 mm ширине додатно губи 1 mm материјала. Тако овај губитак код табле ширине 1000 mm износи 4 mm, код табле ширине 1250 mm овај губитак износи 5 mm, а код табле ширине 1500 mm губитак износи 6 mm. Иако су ове разлике незнатне и немају значајнији економски утицај, због нешто боље доступности на тржишту Републике Србије усвојено је да се лимене траке одсецају од табле, односно котурова лима ширине 1000 mm.

Узевши у обзир степен искоришћења материјала при исецању лимене траке из табле лима, одређен је укупан степен искоришћења материјала потребног за израду анализираног лименог дела.

$$\eta_{\text{укупно}} = \eta_{\text{лим.траке}} \cdot \eta_{\text{таб.лима}} = 0.44264 \cdot 0.996 = 0.4409 = 44.09\%$$

Одређена је и укупна површина технолошког отпада која узима у обзир и степен искоришћења материјала при одсецању лимене траке од табле односно котура лима.

$$A_{\text{тех.отпада,ук.}} = \frac{A_{\text{тех.отпада,ук.}}}{0.996} = \frac{1911.774}{0.996} = 1919.452 \text{ mm}^2$$

Сада је одређена укупна површина и процентуална вредност материјала који представља отпад при изради разматраног лименог дела. Разматра се и отпад конструкцијске и технолошке природе, а у обзир је узет и степен искоришћења материјала при одсецању лимене траке из табле односно котура лима.

$$\begin{aligned} A_{\text{отпада,ук.}} &= A_{\text{тех.отпада,ук.}} + A_{\text{констр.отпада}} \\ A_{\text{отпада,ук.}} &= 1919.452 + 78.5398 = 1997.992 \text{ mm}^2 \\ A_{\text{отпада,ук.}\%} &= \frac{A_{\text{отпада}\%}}{\eta_{\text{таб.лима}}} = \frac{0.57922}{0.996} \cdot 100 = 58.155\% \end{aligned}$$

Претходно израчунате вредности степена искоришћења материјала узимају у обзир само параметре ширине лимене траке и табле или котура лима. За остваривање претходно израчунатих вредности степена искоришћења материјала, потребно је израђивати лимене делове или из котура лима или из трака од лима идеалних дужина.

Уколико се нпр. лимена трака не може одсећи на идеалну дужину од 414 mm (израда 10 комада) или пак на 828 mm (израда 20 комада), у том случају долази до смањења степена искоришћења материјала. Поред овог, постоји велики број других фактора који могу утицати на укупан степен искоришћења материјала, тако да ће се у даљем тексту као меродавна вредност користити степен искоришћења одсечка лимене траке, односно $\eta_{\text{лим.траке}} = 44.264 \%$.

Пошто су сви потребни подаци познати, одређен је и трошак материјала потребног за израду анализираниог лименог дела. Реалан трошак материјала за разматрани комад добија се само онда када се у обзир узме технолошки отпад, односно меродавна је само ишрафирана површина лименог одсечка приказаног на *слици 6.3. а*).

Први корак у одређивању трошка материјала разматраног лименог дела представља одређивање тежине лименог одсечка. Потребно је напоменути да је ова вредност потврђена коришћењем софтвера *SolidWorks 2016*.

$$\rho_{\text{челика}} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 7800 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

$$G_{\text{лим.одсечка}} = A_{\text{лим.одсечка}} \cdot s \cdot \rho_{\text{чел.}}$$

$$G_{\text{лим.одсечка}} = 3436.2 \cdot 1.25 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} = 0.0335 \text{ kg} = 33.5 \text{ g}$$

Цена одабраног материјала по килограму за усвојену таблу односно котур лима од усвојеног добављача приказана је у *табели 7.1.*, [7].

Табела 7.1. Основни подаци и карактеристике усвојеног лима, [7]

Материјал	Ширина	Дебљина	Цена
Č0146 (DC01)	1000 mm	1.25 mm	76.20 RSD/kg

Пошто су познате вредности свих параметара, одређен је трошак материјала потребног за израду једног готовог комада од лима. Средњи курс америчког долара и евра у односу на динар усвојен је за дан 05. септембар 2016. године, [11].

$$1 \text{ €} = 123.1760 \text{ RSD}; 1 \text{ \$} = 110.2542 \text{ RSD}; 1 \text{ €} = 1.1172 \text{ \$}$$

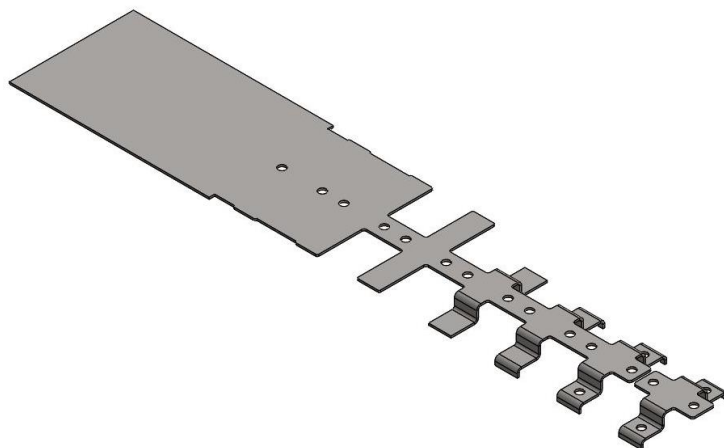
$$C_{\text{мат.}} = 0.0335 \cdot 76.20 = 2.5527 \text{ RSD} = 0.0232 \text{ \$} = 0.0207 \text{ €}$$

На основу представљеног може се закључити да су трошкови материјала потребног за израду једног разматраног лименог комада изузетно ниски.

Одређивање укупне цене комада знатно је сложеније јер се мора узети у обзир огроман број фактора (трошкова), као нпр. цена алата, пресе, радне снаге, комуналија, транспорта, итд. Пошто је у питању масовна производња, цену алата и пресе потребно је амортизовати на целокупан обим производње, нпр. на 100 000 комада. Друге трошкове је потребно амортизовати на неки одређени временски период, нпр. цена радне снаге, комуналије, итд. Када се изврши успешна анализа свих трошкова потребно је узети у обзир и профит компаније, па тек онда на основу свих ових вредности вршити формирање тржишне цене готовог комада. Из представљеног се може закључити да на формирање цене утиче огроман број изузетно варијабилних параметара, па из тог разлога у оквиру овог рада није извршено формирање тржишне цене разматраног комада.

6.2. Ток израде анализираног дела од лима

Следећи корак у процесу конструисања прогресивног алата, односи се на креирање шеме израде анализираног машинског дела. За успешно извршење овог задатка није потребно извршити никакав прорачун, јер је у питању искључиво креативан процес базиран на техничком и радном искуству, па је из овог разлога у оквиру овог рада само анализирана финална шема израде разматраног лименог дела (слика 7.5.). Израда се врши у седам корака алата.



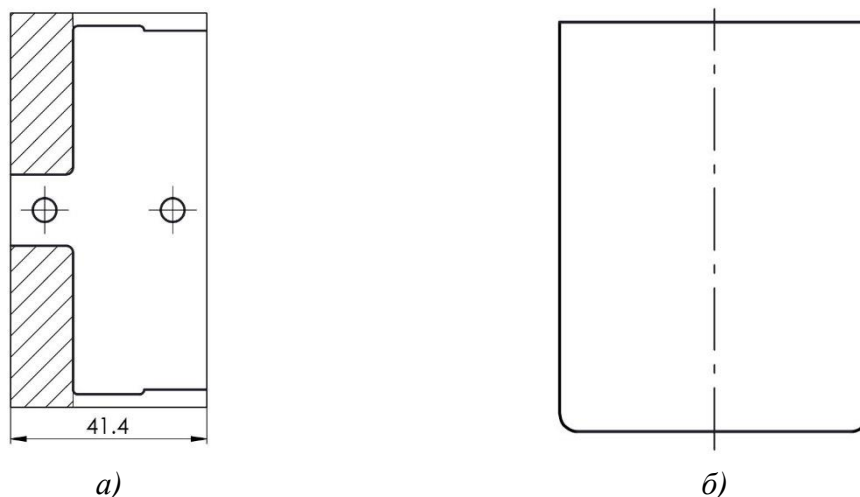
Слика 6.5. Шема израде анализираног дела од лима

У првом кораку алата, детаљније приказаном на слици 6.6. а), могу се уочити две операције, и то пробијање два отвора пречника $\phi = 5 \text{ mm}$, и бочно обрезивање траке са обликовањем комада применом профилног пробојача који врши улогу и корачног ножа. Профилни пробојач, приказан на слици 6.6. б), у току овог корака уклања и технолошки додатак материјала – руб. Као што се може уочити на слици 6.6. а), користе се два профилна пробојца јер они уједно врше и обликовање разматраног лименог дела. Потребно је напоменути да се на овај начин остварује знатно прецизније вођење лимене траке. Процес пробијања два отвора врши се коришћењем два нестандардна пробојца, о чему ће више речи бити у неком од наредних поглавља.



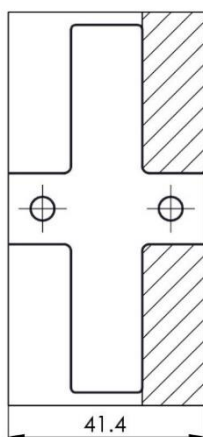
Слика 6.6. Први корак алата (а), профилни пробојач који уједно врши и улогу корачног ножа (б)

У другом кораку алата (слика 6.7. а)), врши се формирање средње ушице пробијањем две контуре. Профилни пробојац је због своје специфичне контуре нестандардни елемент, и приказан је на слици 6.7. б). Профилни пробојац само половином своје контуре врши обликовање у другом кораку алата, док друга половина врши обликовање у трећем кораку, као што се може уочити на слици 6.7. а). Као и у претходном кораку, овде се примењују два нестандардна пробојца. У овом, као и у свим следећим корацима, у циљу правилног позиционирању припремка и спречавању његовог искошавања, користи се пилот (навлакач или ловитељ). Пилот се позиционира у десном отвору приказаном на слици 6.7. а).



Слика 6.7. Други корак алата (а), профилни нестандардни пробојац који врши пробијање у другом и трећем кораку алата (б)

У трећем кораку алата (слика 6.8.) врши се просецање друге средње ушице. Пробија се друга половина контуре нестандардног пробојца приказаног на слици 6.7. б). Пилот се позиционира у левом отвору приказаном на слици 6.8.



Слика 6.8. Трећи корак алата

У четвртом кораку алата (слика 6.9. а)) врши се прва операција савијања. На основу профилног приказа разматраног лименог дела (слика 6.9. б)) може се уочити да се врше укупно два савијања лима на 90° (по једно савијање са сваке стране лименог дела). Пилот се позиционира у левом отвору приказаном на слици 6.9. а). У циљу правилног

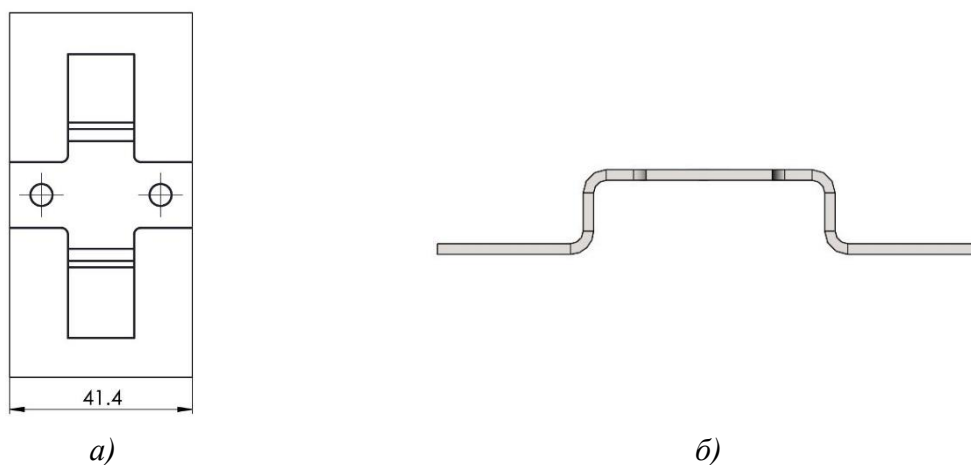
димензионисања доњег обликача, одређена је и дужина правог несавијеног дела лима на бочним странама разматраног комада (слика 6.9. б). Овај прорачун је извршен коришћењем обрасца 5.6., у којем су коришћени релевантни геометријски параметри приказани на слици 6.2.

$$L = 77.585 - (24.5 + 2 \cdot 4.5 + \frac{\pi}{180} \cdot 4 \cdot 90 \cdot 2.025) = 31.361 \text{ mm}$$

$$L = 2 \cdot 10 + 2 \cdot 2.5 + \frac{\pi}{180} \cdot 2 \cdot 90 \cdot 2.025 = 31.361 \text{ mm}$$

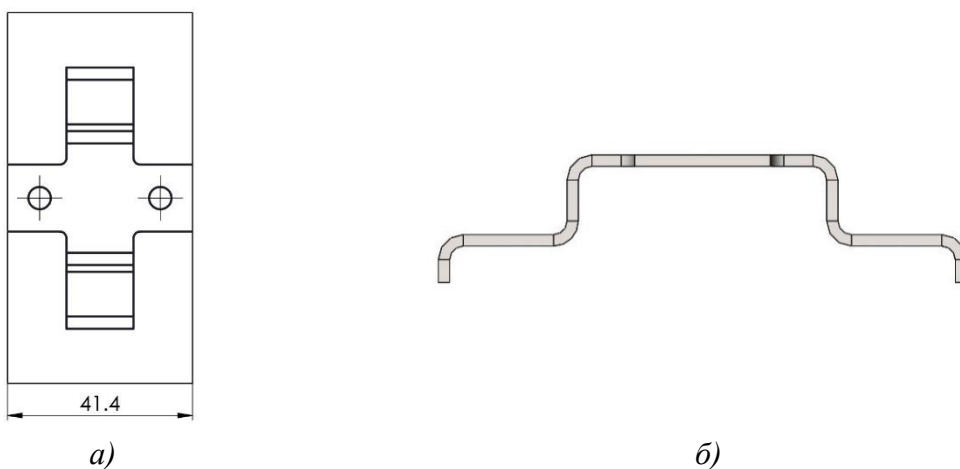
$$L_{\text{са једне стране}} = \frac{L}{2} = \frac{31.361}{2} = 15.6805 \text{ mm}$$

Горњи и доњи обликачи који се примењују за извршавање ове, али и следеће операције савијања, приказани су у неком од наредних поглавља.



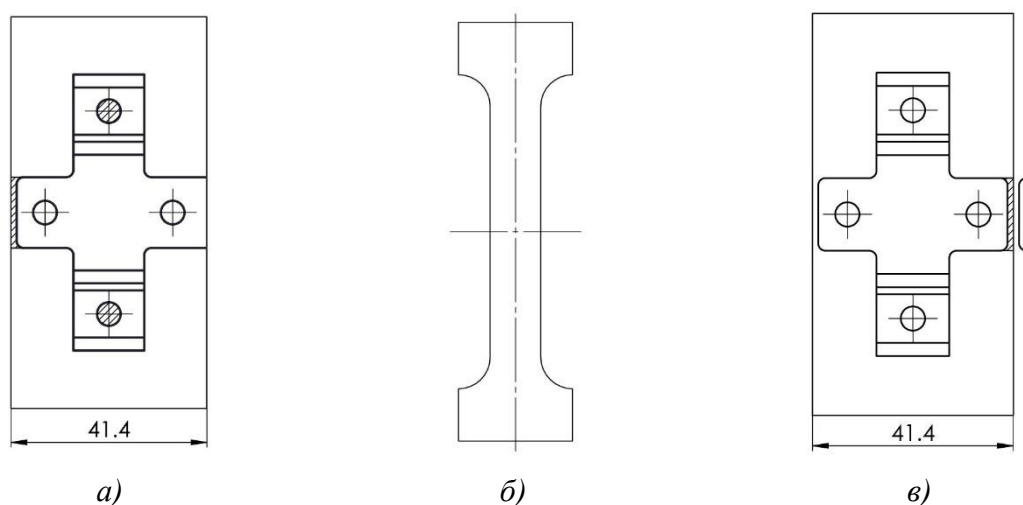
Слика 6.9. Четврти корака алата (а), разматрани део од лима гледан из профила по завршетку четвртог корака (б)

У петом кораку (слика 6.10. а)) врши се завршна операција савијања при чему се формира финална контура анализираниог лименог дела. На основу профилног приказа разматраног лименог дела (слика 6.10. б)) може се уочити да се врше укупно два савијања лима на 90° (по једно савијање са сваке стране разматраног лименог комада). Пилот се позиционира у левом отвору приказаном на слици 6.10. а).



Слика 6.10. Пети корак алата (а), разматрани део од лима гледан из профила по завршетку петог корака (б)

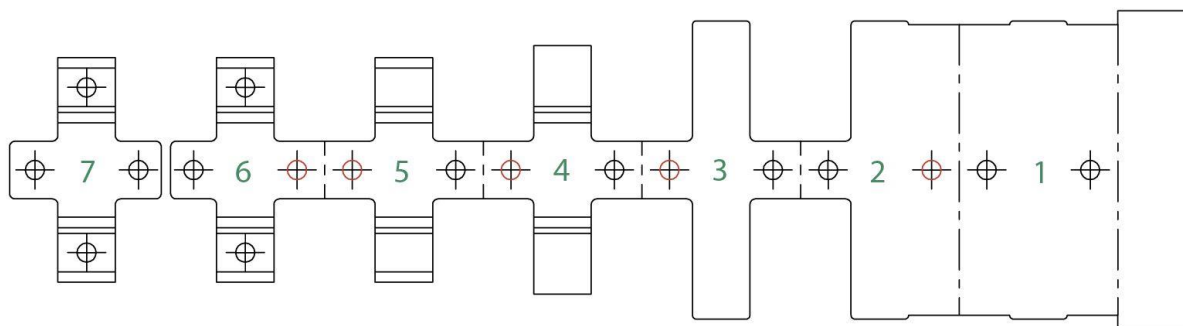
У шестом кораку алата (слика 6.11. а)) врши се пробијање два отвора пречника $\phi = 5 \text{ mm}$, као и одсецање сложене контуре профилним нестандартним пробијачем приказаним на слици 6.11. б). Пробијачи којима се пробијају кружни отвори у шестом кораку, конструкцијски су идентични онима у првом кораку. Нестандардним пробијачем врши се финално обликовање разматраног лименог дела. Једна половина овог пробојца врши обликовање у шестом кораку, док друга половина пробијача врши обликовање у седмом кораку алата (слика 6.11. в)). Овај пробојац уклања технолошки додатак материјала – мост, који у овој фази обраде представља једину везу између обликованог лименог комада и остатка лимене траке. Потребно је напоменути да се пилот позиционира у десни отвор приказан на слици 6.11. а).



Слика 6.11. Шести корак алата (а), профилни нестандартни пробојац који врши обраду лима у шестом и седмом кораку алата (б), седми корак алата (в)

У седмом кораку алата (слика 6.11. в)) профилни нестандартни пробојац (слика 6.11. б)) својом другом радном половином врши одвајање обликованог лименог комада од лимене траке. Операција која се извршава у седмом кораку може се генерално класификовати под операцијом одсецања. Овим кораком завршено је формирање разматраног лименог комада.

Отвори путем којих се врши позиционирање лима коришћењем пилота приказани на слици 6.12. Положаји пилота приказани су у односу на кораке алата.



Слика 6.12. Положаји пилота у односу на кораке алата

6.3. Одређивање силе пресе

За даљи прорачун алата и одабир одговарајуће пресе потребно је одредити укупну минималну силу која је потребна за обликовање анализираног лименог дела. У оквиру овог поглавља засебно је одређена минимална сила потребна за извршавање сваке операције, а затим је на основу ових вредности одређена и сила пресе потребна за извршавање сваке операције. Пошто је конструисан алат комбиноване конфигурације, извршен је и прорачун опружних елемената који такође утичу величину минималне потребне силе пресе. Потребно је напоменути да је укупна сила пресе израчуната за случај када се све операције извршавају истовремено, односно у конструисаном алату не долази до „кашњења“ радних елемената у циљу смањења силе пресе. Овај приступ је првенствено усвојен због мањих габарита анализираног лименог дела, али и нешто једноставније конструкције целокупног прогресивног алата.

Једна од операција пробијања врши формирање отвора пречника $\phi = 5 \text{ mm}$. Сила пробијања израчуната је коришћењем *обрасца 4.1.*, док је сила пресе за анализиране операције одређена коришћењем *обрасца 4.2.* У *обрасцу 4.1.* може се уочити да фигурише чврстоћа лима на смицање τ_m . Ова вредност се за претходно усвојени материјал лима (Џ0146 – DC01) може усвојити из релевантне техничке литературе, [1] *стр. 33 табела 4.* Пошто је ова вредност у коришћеној стручној литератури дата у kg/mm^2 извршена је конверзија у N/mm^2 .

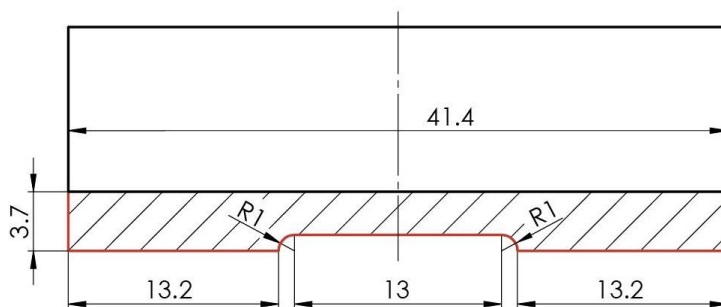
$$\tau_m = 24 \div 34 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = (24 \div 34) \cdot 9.81 = 235.44 \div 333.54 \text{ MPa}$$

Усвојена је вредност $\tau_m = 285 \text{ MPa}$. Сада је извршено одређивање силе пробијања и силе пресе. Као што је претходно напоменуто, контура која се пробија је круг, при чему је обим ове контуре одређен коришћењем добро познатих образаца. Одређена је и сила пресе за све операције пробијања овог типа, односно узето је у обзир да се у исто време пробијају четири кружна отвора пречника $\phi = 5 \text{ mm}$.

$$F_{\text{проб.1}} = d \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_m = 5 \cdot \pi \cdot 1.25 \cdot 285 = 5595.961 \text{ N}$$

$$F_{\text{пресе1}} = 1.3 \cdot 4 \cdot F_{\text{проб.}} = 1.3 \cdot 4 \cdot 5595.961 = 29098.997 \text{ N}$$

Следећа операција пробијања односи се на профилни пробојцац (корачни нож) који врши обраду у првом кораку алата. Димензије овог пробојца приказане су на *слици 6.13.*, док су површине које се пробијају ишрафиране на истој слици. Контура (линије) на основу које је извршен прорачун силе пробијања означена је црвеном бојом на *слици 6.13.*



Слика 6.13. Релевантни параметри профилног пробојца који врши обраду лима у првом кораку алата

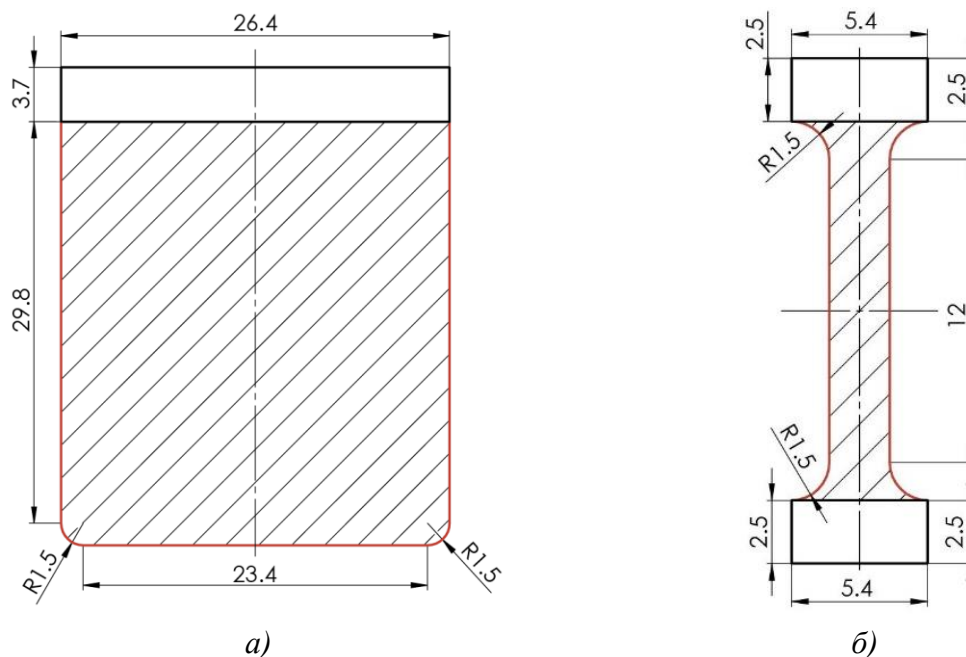
Пошто су све потребне геометријске карактеристике познате, извршено је одређивање обима релевантне контуре, силе пробијања, као и силе пресе ове операције. При одређивању силе пресе, узето је у обзир да два оваква пробојца врше обраду лима.

$$O_{\text{проб.2}} = 2 \cdot 3.7 + 2 \cdot 13.2 + 13 + 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot (2 \cdot 1 \cdot \pi) = 49.942 \text{ mm}$$

$$F_{\text{проб.2}} = O_{\text{проб.2}} \cdot s \cdot \tau_m = 49.942 \cdot 1.25 \cdot 285 = 17791.838 \text{ N}$$

$$F_{\text{пресе2}} = 1.3 \cdot 2 \cdot F_{\text{проб.2}} = 1.3 \cdot 2 \cdot 17791.838 = 46258.779 \text{ N}$$

Исти поступак примењен је и за нестандартни пробојца у другом и трећем кораку алата. Димензије овог пробојца приказане су на *слици 6.14. а)*, док су површине које се пробијају ишрафиране на истој слици. Контура (линије) на основу којих је извршен прорачун силе пробијања означене су црвеном бојом на *слици 6.14. а)*.



Слика 6.14. Релевантни параметри профилног пробојца који врши обраду лима у другом и трећем кораку алата (а), и шестом и седмом кораку алата (б)

Пошто су све потребне геометријске карактеристике познате, извршено је одређивање обима релевантне контуре, силе пробијања, као и силе пресе ове операције. При одређивању силе пресе, узето је у обзир да два оваква пробојца врше обраду лима.

$$O_{\text{проб.3}} = 2 \cdot 29.8 + 23.4 + 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \pi) = 87.712 \text{ mm}$$

$$F_{\text{проб.3}} = O_{\text{проб.3}} \cdot s \cdot \tau_m = 87.712 \cdot 1.25 \cdot 285 = 31247.4 \text{ N}$$

$$F_{\text{пресе3}} = 1.3 \cdot 2 \cdot F_{\text{проб.3}} = 1.3 \cdot 2 \cdot 31247.4 = 81243.24 \text{ N}$$

Пошто су анализиране све операције пробијања, одређена је сила пресе потребна за извршавање свих операција пробијања.

$$F_{\text{пресепроб.}} = F_{\text{пресе.1}} + F_{\text{пресе.2}} + F_{\text{пресе.3}}$$

$$F_{\text{пресепроб.}} = 29098.997 + 46258.779 + 81243.24$$

$$F_{\text{пресепроб.}} = 156601.016 \text{ N}$$

Операција коју у шестом и седмом кораку алата извршава радни део приказан на *слици 6.14. б)* може се класификовати и као операција пробијања, али и као операција одсецања. У оквиру овог рада усвојено је да се анализирана операција посматра као операција одсецања. Релевантне димензије овог радног дела приказане су на *слици 6.13. б)*, док су површине које се пробијају ишрафиране на истој слици. Контура (линије) на основу којих је извршен прорачун силе одсецања/пробијања означене су црвеном бојом на *слици 6.14. б)*. За извршавање ове операције примењује се само један радни орган.

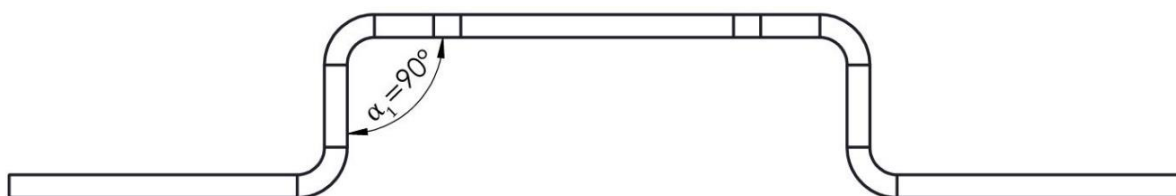
$$O_{\text{одс.1}} = 2 \cdot 12 + 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot (2 \cdot 1.5 \cdot \pi) = 33.425 \text{ mm}$$

$$F_{\text{одс.1}} = O_{\text{одс.1}} \cdot s \cdot \tau_m = 33.425 \cdot 1.25 \cdot 285 = 11907.656 \text{ N}$$

$$F_{\text{пресеодс.}} = 1.3 \cdot F_{\text{одс.1}} = 1.3 \cdot 11907.656 = 15479.953 \text{ N}$$

Сада је извршена анализа операција савијања у четвртном и петом кораку алата. За одређивање силе савијања и силе пресе коришћени су обрасци представљени у *поглављу 5*. Операције савијања у четвртном и петом кораку алата анализиране су засебно.

Релевантни угао савијања α_1 за операцију савијања у четвртном кораку алата приказан је на *слици 6.15*.



Слика 6.15. Угао савијања α_1 за операцију савијања у четвртном кораку алата

У обрасцу за одређивање момента слободног савијања M (*обрасац 5.2.*) фигурише затезна чврстоћа σ_m . Ова вредност је за претходно усвојени материјал дата у релевантној литератури, [1] *табела 4. стр. 33*. Пошто је ова вредност дата у kg/mm^2 извршена је конверзија у N/mm^2 .

$$\sigma_m = 24 \div 42 \frac{kg}{mm^2} = (24 \div 42) \cdot 9.81 = 235.44 \div 412.02 \text{ MPa}$$

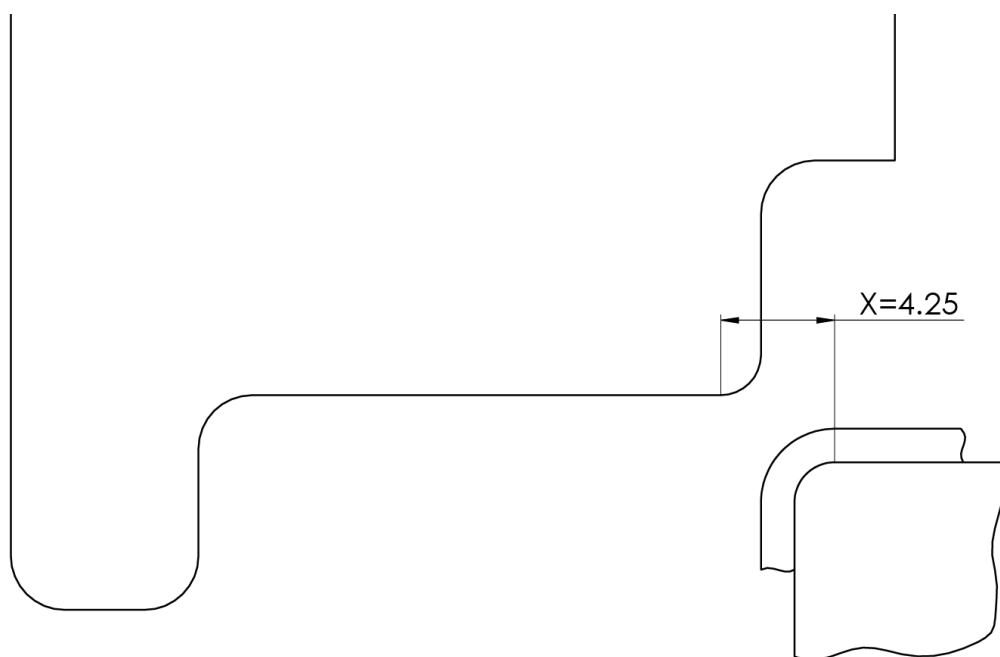
Усвојена је вредност $\sigma_m = 325 \text{ MPa}$.

Одређена је вредност момента унутрашњих сила за случај чисто пластичног савијања M , коришћењем *обрасца 5.2*. Израчуната вредност момента релевантна је за све операције савијања у четвртном и петом кораку алата. На основу основних геометријских параметара разматраног лименог дела, одређена је вредност момента M .

$$b = 15 \text{ mm}; n = 1.7; s = 1.25 \text{ mm}$$

$$M = n \cdot \sigma_m \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} = 1.7 \cdot 325 \cdot \frac{15 \cdot 1.25^2}{4} = 3237.305 \text{ Nmm}$$

Као што се може уочити на *слици 6.15*, у четвртном кораку алата се анализирају део од лима на два места обликује савијањем на жељени угао $\alpha_1 = 90^\circ$ (у питању су исте операције). На основу релевантне литературе, закључено је да се ова операција може се разматрати као савијање „L“ облика (α_1). Релевантни геометријски подаци потребни за одређивање силе савијања приказани су на *слици 6.16*. За разматрану операцију меродавна је дужина крака X , приказана на *слици 6.16*.



Слика 6.16. Геометријски параметри потребни за одређивање силе „L“ савијања у четвртом кораку алата

Пошто су све потребне вредности познате, коришћењем *обрасца 5.3.* одређена је минимална потребна сила за извршење разматраног „L“ савијања.

$$\alpha_1 = 90^\circ; l = X = 4.25 \text{ mm}$$

$$\varphi = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$$

$$F_{L_1} = \frac{M}{l} \cdot (1 + \sin \varphi) = \frac{3237.305}{4.25} \cdot (1 + \sin 90^\circ) = 1523.428 \text{ N}$$

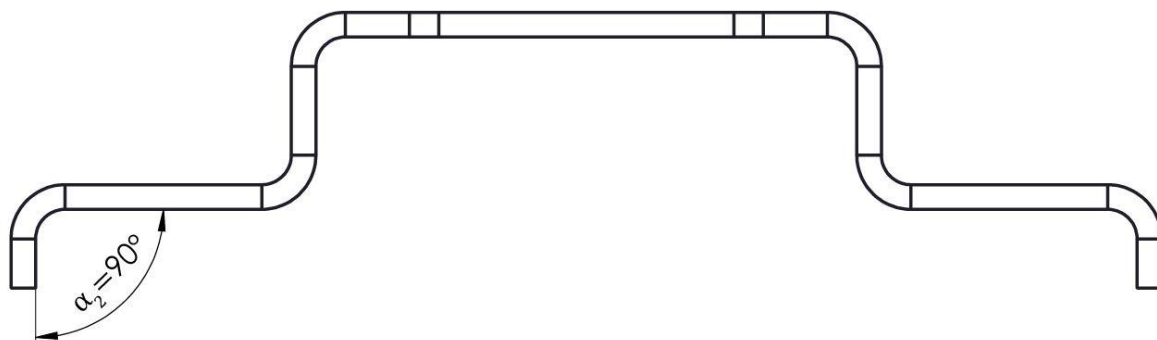
Пошто је одређена сила потребна за извршавање операције савијања у четвртом кораку алата, сада је израчуната и потребна сила пресе. За обликовање лименог комада у четвртом кораку алата користе се два обликача, тако да се претходно анализирана операција извршава два пута у истом кораку.

$$F_{\text{пресе сав.1}} = 2 \cdot F_{L_1}$$

$$F_{\text{пресе сав.1}} = 1.3 \cdot 2 \cdot 1523.438$$

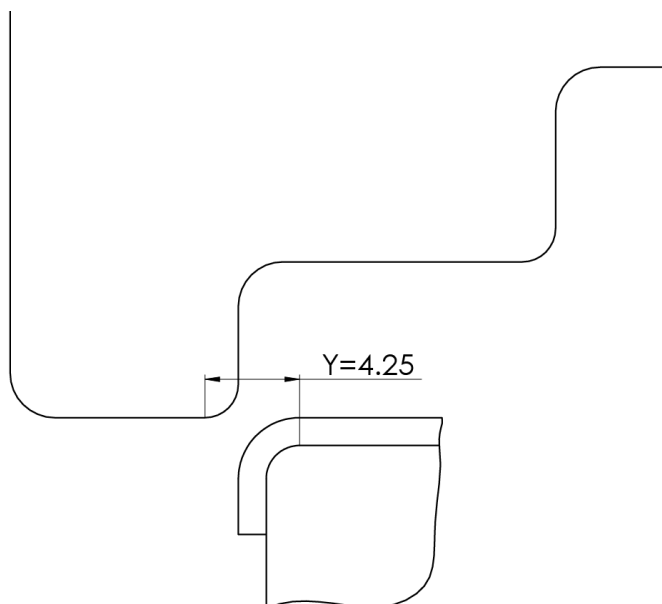
$$F_{\text{пресе сав.1}} = 3960.9388 \text{ N}$$

Извршена је анализа петог корака алата, при чему се у овом кораку врши финална операција савијања, приказана на *слици 6.17.* У ово кораку се као и у претходном део од лима на два места обликује савијањем на жељени угао $\alpha_2 = 90^\circ$ (у питању су исте операције). На основу релевантне литературе, закључено је да се ова операција може се разматрати као савијање „L“ облика (α_2).



Слика 6.17. Угао савијања α_2 за операцију савијања у петом кораку алата

Релевантни геометријски подаци потребни за израчунавање силе савијања приказани су на слици 6.18. За разматрану операцију меродавна је дужина крака Y , приказана на слици 6.18.



Слика 6.18. Геометријски параметри потребни за одређивање силе „L“ савијања у петом кораку алата

$$\alpha_3 = 90^\circ; l = Y = 4.25 \text{ mm}$$

$$\varphi = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$$

$$F_{L_3} = \frac{M}{l} \cdot (1 + \sin \varphi) = \frac{3237.305}{4.25} \cdot (1 + \sin 90^\circ) = 1523.438 \text{ N}$$

Пошто је израчуната сила потребна за извршавање операције савијања у петом кораку алата, сада је одређена и потребна сила пресе. За обликовање лименог комада у петом кораку алата користе се два обликача, тако да се претходно анализирана операција извршава два пута у истом кораку.

$$F_{\text{пресе сав.2}} = 1.3 \cdot 2 \cdot F_{L_2} = 1.3 \cdot 2 \cdot 1523.438 = 3960.9388 \text{ N}$$

На основу сила потребних за извршавање операција савијања у четвртном и петом кораку лата, одређена је и сила пресе потребна за извршавање свих операција савијања у конструисаном алату.

$$F_{\text{пресе сав.}} = F_{\text{пресе сав.1}} + F_{\text{пресе сав.2}}$$

$$F_{\text{пресе сав.}} = 3960.9388 + 3960.9388 = 7921.878 \text{ N}$$

Пошто су израчунате силе пресе потребне за извршавање сваке операције понаособ, сада је одређена укупна сила пресе потребна за извођење свих претходно анализираних операција.

$$F_{\text{пресе оп.}} = F_{\text{пресе проб.}} + F_{\text{пресе одс.}} + F_{\text{пресе сав.}}$$

$$F_{\text{пресе оп.}} = 156601.016 + 15479.953 + 7921.878 = 180002.847 \text{ N}$$

Израчуната сила потребна за извођење свих претходно анализираних операција ће у реалној конструкцији бити нешто нижа, јер се све операције савијања не извршавају истовремено већ постепено. До овог закључка може се доћи на основу радне геометрије горњих обликача (слике 6.16. и 6.18.).

Пошто је пројектован алат комбиноване конфигурације, потребно је извршити и прорачун опружних елемената, јер сила ових елемената утиче на укупну потребну силу пресе. Прорачун опружних елемената врши се на основу силе потребне за скидање комада са пробојца или просекача (образац 6.2.), овај образац је доступан у релевантној литератури, [1] стр. 185. образац 70.

$$F_s = C_s \cdot F \quad (6.2.)$$

Где су:

F – сила пробијања или просецања,

C_s – коефицијент скидања, зависи од врсте радног комада и дебљине материјала.

Претходни образац је у релевантној литератури представљен у поглављу које анализира искључиво алате за пробијање и просецање, међутим, овај образац је универзалан, па се може применити и за друге операције. У оквиру овог рада за прорачун опружних елемената меродавна је сила пресе потребна за извођење свих претходно анализираних операција.

Коефицијент скидања (C_s) усвојен је из табеле доступне у релевантној литератури, [1] табела 27. стр. 186. За пројектовани алат код кога се истовремено извршава више операција пробијања и просецања, као и за усвојену дебљину лима, коефицијент скидања се креће у границама $C_s = 0.12 \div 0.15$, [1]. Вредност овог фактора у другим литературним изворима је нешто мања, и генерално се креће око $C_s = 0.1$, односно усваја се да сила потребна за деформисање опружних елемената износи око 10% силе пресе [4].

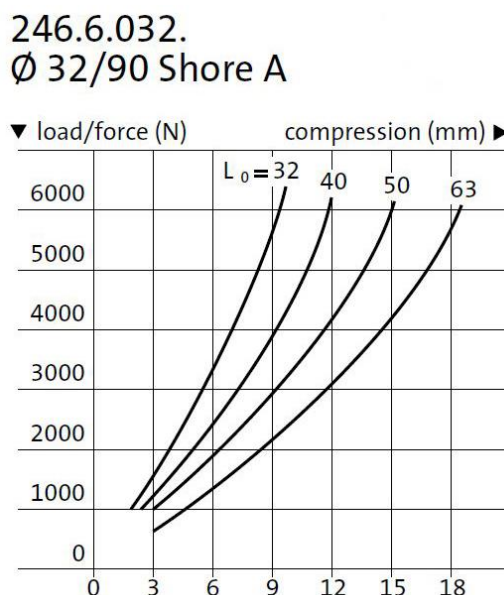
На основу представљених података, извршено је одређивање минималне силе потребне за деформисање опружних елемената пројектованог алата. Усвојени опружни елемент мора имати нешто већу силу деформисања од силе одређене коришћењем обрасца 6.2. У прорачуну је потребно узети у обзир и чињеницу да се пројектовани алат изводи са 6 опружних елемената.

$$C_s = 0.12 \div 0.15 = 0.12; F_{\text{пресе оп.}} = 180002.847 \text{ N}$$

$$F_s = C_s \cdot F_{\text{пресе ук.}} = 0.12 \cdot 180002.847 = 21600.342 \text{ N}$$

$$F_{\text{пот. опружног елемента}} = \frac{F_s}{6} = \frac{21600.342}{6} = 3600.057 \text{ N}$$

На основу претходно израчунате потребне силе, усвојен је високо еластичан полиуретански еластомер немачке компаније *Fibro*, кодне ознаке *FIBROFLEX*, из линије производа *Tubular spring element 90 Shore A*, ознаке 246.6.32.050, [9] *стр. F65*. Зависност силе и деформације код усвојеног опружног елемента је нелинеарна, па се карактеристике могу једино анализирати коришћењем релевантних дијаграма доступних у каталогу произвођача. За усвојену опругу релевантни дијаграм приказан је на *слици 6.19.*, [9] *стр. F66*.



Слика 6.19. Основне карактеристике усвојеног опружног елемента, [9]

По препоруци произвођача усвојени еластомер потребно је преднапрегнути на дужину која износи између 4% – 7% укупне дужине опруге. У зависности од корака алата и преднапрегнутости, у крајњој доњој тачки алата усвојени еластомер деформисаће се 11.5 mm, што је за 4.5 mm мање од максималне каталошки дозвољене деформације која износи 15 mm. Сила потребна за деформисање изабраног еластомера за 11.5 mm одређена је на основу *слике 6.19*.

$$F_{\text{еластомера}} = 4000 \text{ N}$$

Анализирани еластомер задовољава захтев минималне потребне силе опружног елемента па се из тог разлога може применити у пројектованом алату. Потребно је напоменути да нешто већа сила деформисања усвојеног опружног елемента не утиче негативно на рад пројектованог алата.

Пошто су одређене све потребне силе, израчуната је и минимална сила пресе која је потребна за правилно функционисање пројектованог алата.

$$F_{\text{пресе}} = F_{\text{пресеоп.}} + 6 \cdot F_{\text{еластомера}}$$

$$F_{\text{пресе}} = 180002.847 + 6 \cdot 4000$$

$$F_{\text{пресе}} = 204002.847 \text{ N} = 204.003 \text{ kN} = 20795.397 \text{ kg} = 20.795 \text{ t}$$

Како би се уклониле одређене непрецизности и апроксимације у прорачуну, радна сила пресе мора бити нешто већа од претходно израчунате вредности.

6.4. Провера пробојаца на извијање

Габарити пробојаца, односно знатно већа дужина у односу на остале димензије, али и њихова улога у алату, само су неки од фактора који захтевају проверу ових елемената на извијање. У пројектованом алату сви пробојци су укљештени и вођени, тако да је максимална дозвољена дужина пробојца израчуната коришћењем *обрасца 4.4*. У оквиру овог поглавља анализирани су пробојци у првом, другом, трећем и шестом кораку алата, као и профилисани радни елемент за одсецање/пробијање у шестом и седмом кораку алата. Обликачи који врше савијање у четвртном и петом кораку алата нису анализирани због изузетно мале силе потребне за извршавање операција савијања.

Анализирани су пробојци којим се врши пробијање отвора пречника $\phi = 5 \text{ mm}$ у првом и шестом кораку алата. Ови пробојци су кружног попречног пресека, тако да је пре одређивања њихове максималне дозвољене дужине, одређен и минимални дозвољени пречник коришћењем *обрасца 4.5*. Једини непознати параметар у претходно наведеном изразу је дозвољено напрезање на притисак σ_{pd} . Пошто се пробојци израђују од алатних челика чије прецизне карактеристике нису дате у доступној литератури, у оквиру овог рада усвојена је генерализована вредност за каљени челик, [4].

$$\sigma_{pd} = 1000 \div 1600 \text{ MPa} = 1300 \text{ MPa}$$

$$d > 4 \cdot s \cdot \frac{\tau_m}{\sigma_{pd}}$$

$$d > 4 \cdot 1.25 \cdot \frac{285}{1300} = 1.096 \text{ mm}$$

Пошто пречници анализираних пробојаца на њиховим најслабијим местима износе $d = 5 \text{ mm}$, закључено је да изабрани пробојци задовољавају услов минималног пречника пробијања. У циљу потпуне провере разматраних пробојаца у оквиру овог рада извршено је и одређивање њихове максималне дозвољене дужине. Момент инерције круга одређен је коришћењем *обрасца 6.3*. доступног у релевантној техничкој литератури, [12].

$$I = \frac{d^4 \cdot \pi}{64} \quad (6.3.)$$

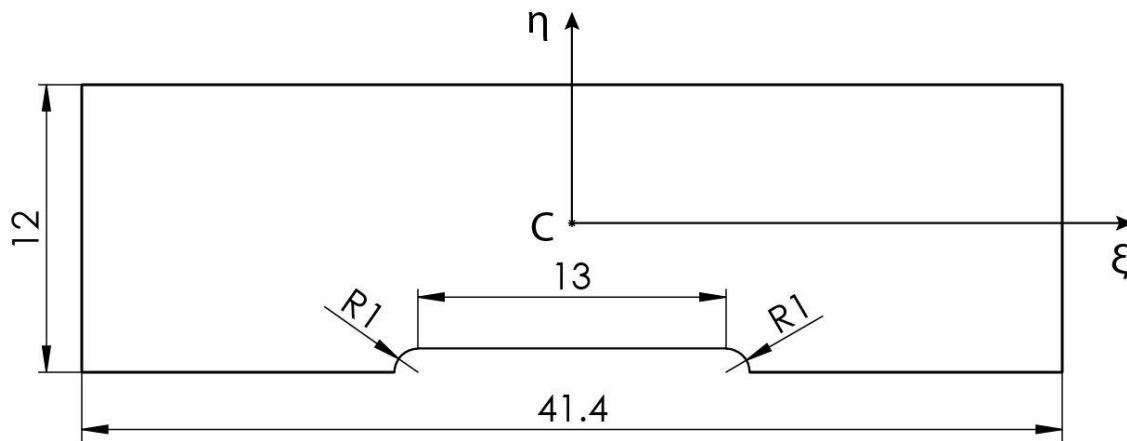
Пошто су сви потребни обрасци и све потребне вредности познате, одређена је максимална дужина анализираних пробојаца.

$$I = \frac{5^4 \cdot \pi}{64} = 30.679 \text{ mm}^4; E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$l_{max} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot F}} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 30.679}{4 \cdot 5595.961}} = 149.235 \text{ mm}$$

Пошто дужина анализираних пробојаца у првом кораку алата износи $L_1 = 110 \text{ mm}$, а дужина пробојца у шестом кораку алата износи $L_6 = 119 \text{ mm}$, може се закључити да ће разматрани радни органи правилно вршити своју функцију, као и да неће доћи до појаве критичног извијања.

Сада је извршена анализа на извијање пробојца који врши бочну обраду лима у првој операцији, при чему овај пробојца такође врши и улогу крачног ножа. Пошто је у питању сложена контура потребно је одредити најмањи момент инерције попречног пресека. На основу *слике 6.20.* може се уочити да се најмањи момент инерције анализираниог попречног пресека остварује за тежишну осу ξ .



Слика 6.20. Попречни пресек, димензије и тежишне осе разматраног пробојца

Пре одређивања најмањег момента инерције разматраног попречног пресека, потребно је одредити његов положај тежишта. Анализирани пробојца симетричан је у односу на тежишну осу η , али није симетричан у односу на тежишну осу ξ . Положај тежишта у правцу тежишне осе η може се одредити коришћењем *обрасца 6.4.*, [12]. У цитираном литературном извору, тежишна оса ξ означена је као y , док је тежишна оса η означена као z .

$$z_c = \frac{S_y}{A} \quad (6.4.)$$

Где су:

S_y – статички момент анализирание површине за y (ξ) осу,

A – површина анализирание контуре.

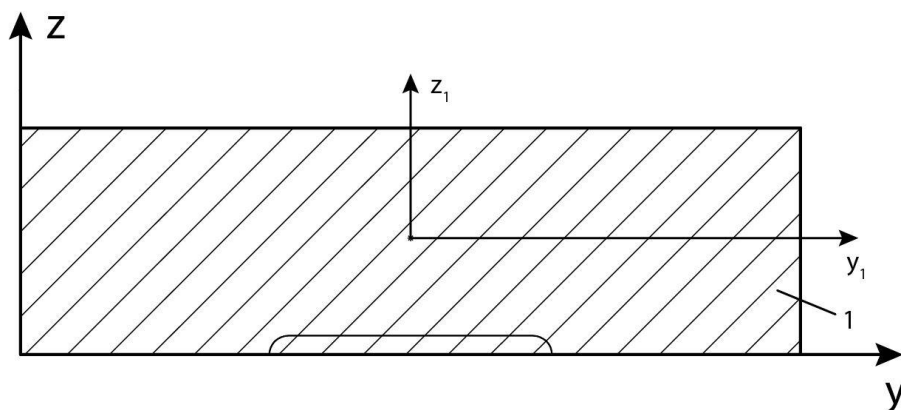
Статички момент анализирание површине за y (ξ) осу одређен је коришћењем *обрасца 6.5.*, доступног у релевантној литератури, [12].

$$S_y = y_c \cdot A \quad (6.5.)$$

Где је:

y_c – позиција тежишта по y (ξ) оси анализирание површине.

Да би се одредио момент инерције попречног пресека за тежишну осу ξ анализираниог пробојца потребно је сложену површину поделити на неколико простијих. Анализирани попречни пресек подељен је на три једноставније табличне површине, при чему је прва површина са релевантним референтним и тежишним осама приказана на *слици 6.21.*

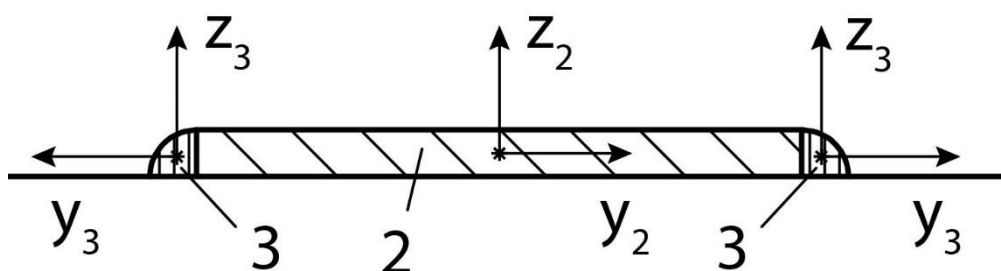


Слика 6.21. Прва једноставнија (таблична) површина разматраног пробојца

Осе y_1 и z_1 представљају тежишне осе анализиране површине, док осе y и z представљају осе на основу којих је одређен положај тежишта свих једноставнијих (табличних) површина. На основу димензија разматраног пробојца, одређена је површина *контуре 1* (слика 6.21.), као и позиција њеног тежишта по z оси. Ови подаци потребни су за одређивање позиције тежишта и површине целокупне контуре.

$$z_1 = 7 \text{ mm}; A_1 = 41.4 \cdot 12 = 496.8 \text{ mm}^2$$

На слици 6.21. приказане су друга и трећа једноставнија (таблична) површина.



Слика 6.22. Друга и трећа једноставнија (таблична) површина разматраног пробојца

На основу димензија приказаних на слици 6.20., као и релевантног координатног система $y - z$ приказаног на слици 6.21. одређена је и површина *контуре 2*, као и позиција тежишта по z оси.

$$z_2 = 0.5 \text{ mm};$$

$$A_2 = a \cdot b = 13 \cdot 1 = 13 \text{ mm}^2$$

На основу димензија приказаних на слици 6.20. и релевантног координатног система $y - z$ приказаног на слици 6.21. одређена је површина *контуре 3*, као и позиција тежишта по z оси.

$$z_3 = \frac{4}{3} \cdot \frac{R}{\pi} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\pi} = 0.4244 \text{ mm}$$

$$A_3 = \frac{1}{4} \cdot R^2 \cdot \pi = \frac{1}{4} \cdot 1^2 \cdot \pi = 0.785 \text{ mm}^2$$

Сада је одређена укупна површина попречног пресека анализираног пробојца.

$$A = A_1 - A_2 - 2 \cdot A_3 = 496.8 - 13 - 2 \cdot 0.785 = 482.23 \text{ mm}^2$$

Пошто су сви потребни подаци познати, сада је одређен положај тежишта попречног пресека пробојца у односу на z осу референтног координатног система $y - z$ приказаног на слици 6.21. Такође је одређен и статички момент површине за y осу.

$$z_c = \frac{S_y}{A}$$

$$S_y = A_1 \cdot z_1 - A_2 \cdot z_2 - 2 \cdot A_3 \cdot z_3$$

$$S_y = 496.8 \cdot 6 - 13 \cdot 0.5 - 2 \cdot 0.785 \cdot 0.4244 = 2973.636 \text{ mm}^3$$

$$z_c = \frac{S_y}{A} = \frac{2973.636}{482.23} = 6.17 \text{ mm}$$

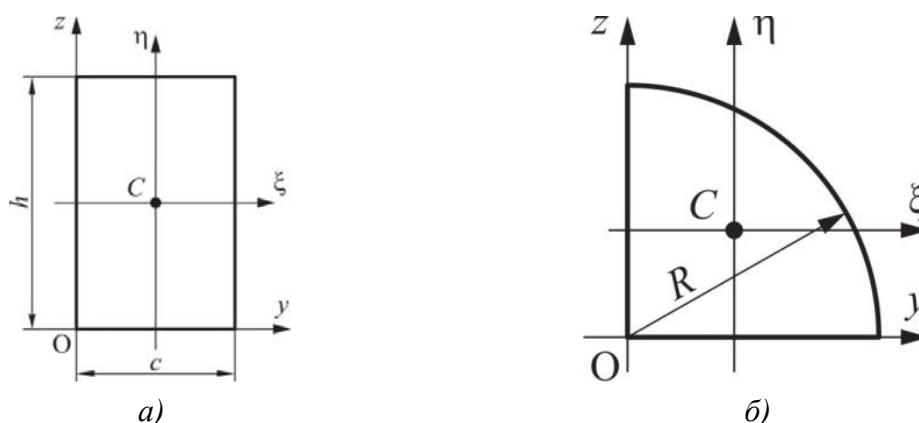
Пошто је позната локација тежишта попречног пресека разматраног пробојца, сада је одређен момент инерције за тежишну осу ξ . И у овом случају потребно је засебно разматрати једноставније (табличне) површине.

За одређивање момента инерције за тежишну осу y_1 правоугаоне површине контуре 1 (слика 6.19.) користи се образац 6.6., [12].

$$I_\xi = \frac{c \cdot h^3}{12} \quad (6.6.)$$

Где су:

c и h – странице правоугаоника приказаног на слици 6.23. а).



Слика 6.23. Параметри који фигуришу у изразима потребним за одређивање момента инерције правоугаоника (а), параметри који фигуришу у изразима потребним за одређивање момента инерције четвртине круга (б), [12]

Пошто су све потребне вредности познате, одређен је момент инерције за осу y_1 површине 1 (контуре 1).

$$I_{y_1} = \frac{c \cdot h^3}{12} = \frac{41.4 \cdot 12^3}{12} = 5961.6 \text{ mm}^4$$

Коришћењем истог обрасца (образац 6.6.) одређен је и момент инерције за осу y_2 површине 2 (контуре 2).

$$I_{y_2} = \frac{c \cdot h^3}{12} = \frac{13 \cdot 1^3}{12} = 1.0833 \text{ mm}^4$$

За одређивање момента инерције осе y_3 треће контуре (четвртине круга) користи се образац 6.7., [12].

$$I_{\xi} = I_{\eta} = R^4 \cdot \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9 \cdot \pi} \right) \quad (6.7.)$$

Где је:

R – полупречник четвртине круга (слика 6.23. б)).

Пошто су све потребне вредности познате одређен је и момент инерције за осу y_3 површине 3 (контуре 3).

$$I_{y_3} = R^4 \cdot \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9 \cdot \pi} \right) = 1^4 \cdot \left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9 \cdot \pi} \right) = 0.05488 \text{ mm}^4$$

По одређивању момената инерције појединачних површина, извршено је одређивање момента инерције целокупне површине попречног пресека анализираниг пробојца за разматрану тежишну осу ξ . Пошто се положај тежишних у оса разматраних појединачних површина не поклапа са тежишном ξ осом пробојца, потребно је применити Хајгенс-Штајнерову теорему. Ова теорема је анализирана за тежишну осу ξ и представљена је образцем 6.8., [12].

$$I_{\xi} = I_y + z_c^2 \cdot A \quad (6.8.)$$

Где су:

I_{ξ} – момент инерције целокупне површине за тежишну осу ξ ,

I_y – момент инерције за тежишну у осу анализираних простих површина,

z_c – међусобно растојање између оса ξ и y ,

A – површина анализираних микро контуре.

Коришћењем Хајгенс-Штајнерове теореме за тежишну осу ξ (образац 6.8.) и на основу претходно израчунатих релевантних параметара, одређен је најмањи момент инерције једноставних (табличних) површина за тежишну осу ξ попречног пресека разматраног пробојца.

$$z_{c_1} = 6.17 - 6 = 0.17 \text{ mm}$$

$$I_{\xi_1} = I_{y_1} + z_{c_1}^2 \cdot A_1 = 5961.6 + 0.17^2 \cdot 496.8 = 5975.958 \text{ mm}^4$$

$$z_{c_2} = 6.17 - 0.5 = 5.67 \text{ mm}$$

$$I_{\xi_2} = I_{y_2} + z_{c_2}^2 \cdot A_2 = 1.0833 + 5.67^2 \cdot 13 = 419.019 \text{ mm}^4$$

$$z_{c_3} = 6.17 - 0.4244 = 5.7456 \text{ mm}$$

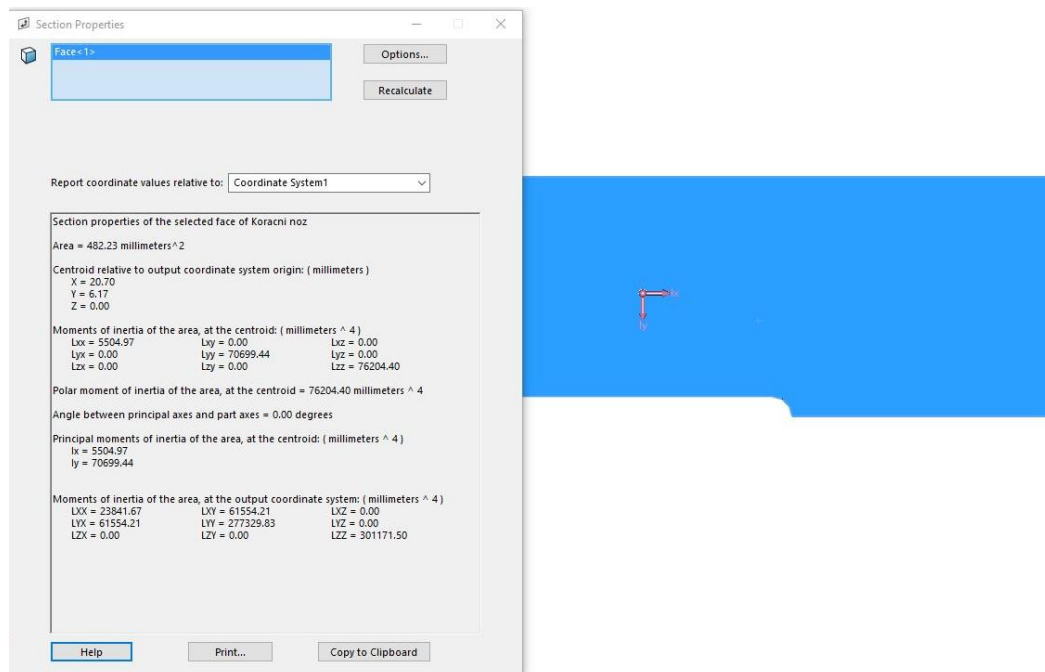
$$I_{\xi_3} = I_{y_3} + z_{c_3}^2 \cdot A_3 = 0.05488 + 5.7456^2 \cdot 0.785 = 25.969 \text{ mm}^4$$

На основу претходно одређених вредности момената инерције појединачних простијих површина, одређен је и момент попречног пресека разматраног пробојца.

$$I_{\xi} = I_{\xi_1} - I_{\xi_2} - 2 \cdot I_{\xi_3}$$

$$I_{\xi} = 5975.958 - 419.019 - 2 \cdot 25.969 = 5505.001 \text{ mm}^4$$

Момент инерције добијен аналитичким поступком приближно је једнак са вредношћу добијеном коришћењем софтвера *SolidWorks 2016*, при чему момент инерције добијен путем софтвера износи $I_x = 5504.97 \text{ mm}^4$ (слика 6.24.)). Мала разлика између ове две вредности може се посматрати као грешка при заокруживању у аналитичком поступку. У даљем току рада коришћена је вредност одређена коришћењем софтвера.



Слика 6.24. Момент инерције релевантне површине пробојца у првом кораку алата одређен коришћењем софтверског пакета *SolidWorks 2016*

Пошто су сви потребни подаци познати, извршено је одређивање максималне дозвољене дужина пробојца коришћењем *обрасца 4.4.*

$$l_{max} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot F}} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 5504.97}{4 \cdot 17791.838}} = 1121.127 \text{ mm}$$

Пошто дужина разматраног пробојца (корачног ножа) у првом кораку алата износи $L_{\text{проб.2}} = 110 \text{ mm}$, може се закључити да ће разматрани радни елемент правилно вршити своју функцију, као и да неће доћи до појаве критичног извијања.

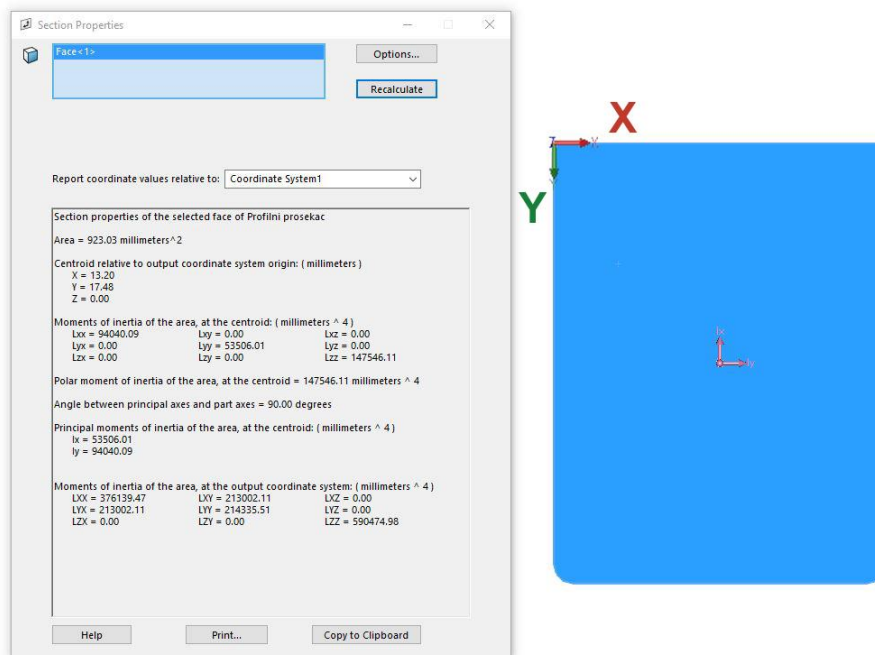
Сада је потребно одредити момент инерције пробијача који врши обраду лима у другом и трећем кораку алата (слика 6.7. б)). Пошто је у питању сложена контура као и у претходном случају, за одређивање минималног момента инерције примењује се исти поступак. Пошто је на претходном примеру утврђено да софтверски пакет *SolidWorks 2016* израчунава поуздане вредности момената инерције за тежишне осе, код овог, али и код свих наредних анализираних радних органа аналитички поступак није разматран.

Коришћењем софтвера *SolidWorks 2016*, утврђено је да за анализирани пробојац најмањи момент инерције за тежишне осе износи $I_{\text{мин.}} = 53506.72 \text{ mm}^4$ (слика 6.25.). Пошто су сви потребни подаци познати, извршено је одређивање максималне дозвољене дужине анализираних пробојца коришћењем *обрасца 4.4.*

$$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$l_{max} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\text{мин.}}}{4 \cdot F}} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 53506.72}{4 \cdot 31247.4}} = 2637.45 \text{ mm}$$

Пошто дужина разматраног пробојца у другом и трећем кораку алата износи $L_{\text{проб.з}} = 110 \text{ mm}$, може се закључити да ће разматрани радни елемент правилно вршити своју функцију, као и да неће доћи до појаве критичног извијања.



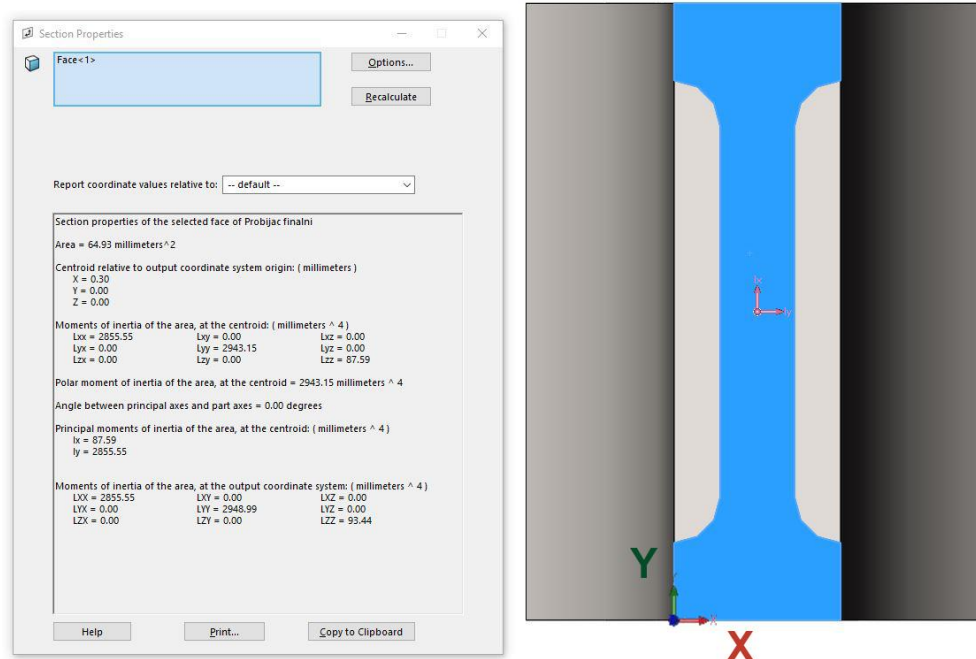
Слика 6.25. Момент инерције релевантне површине пробојца у другом и трећем кораку алата одређен коришћењем софтверског пакета SolidWorks 2016

Сада је потребно одредити момент инерције радног елемента који врши обраду лима у шестом и седмом кораку алата (слика 6.11. б)). Анализирани пробијач је сложене контуре, тако да је његова минимална вредност момента инерције за тежишне осе одређена коришћењем софтвера SolidWorks 2016, и износи $I_{\text{мин.}} = 87.59 \text{ mm}^4$ (слика 6.26.). Пошто су сви потребни подаци познати извршено је одређивање максималне дозвољене дужине анализираног радног елемента коришћењем обрасца 4.4.

$$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$l_{max} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot F}} = 2.8 \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 87.596}{4 \cdot 11907.656}} = 172.869 \text{ mm}$$

Пошто дужина разматраног пробојца у шестом и седмом кораку алата износи $L_{\text{одс.1}} = 110 \text{ mm}$, може се закључити да ће разматрани радни елемент правилно вршити своју функцију, као и да неће доћи до појаве критичног извијања.



Слика 6.26. Момент инерције релевантне површине пробојца у шестом и седмом кораку алата одређен коришћењем софтверског пакета SolidWorks 2016

Потребно је напоменути да радни елементи разматрани у овом поглављу поседују отворе за избациваче, али и рупе за завртњеве путем којих се врши везивање радног елемента за остатак конструкције. Негативан утицај ових конструкцијских захтева на максималну дужину извијања, елиминисан је степенастим извођењем критичнијих радних органа при чему је остварена њихова знатно већа крутост. Степенаста конструкција може се уочити код пробојаца за пробијање кружних отвора у првом и шестом кораку алата, као и профилисаног радног елемента (слика 6.11 б)) у шестом и седмом кораку алата. 3Д модели ових радних елемената приказани су у поглављу 7.1.

6.5. Прорачун осталих елемената

У оквиру овог поглавља извршен је прорачун димензија и других релевантних параметара алата који нису детаљније анализирани у неком од претходних поглавља. Извршен је прорачун радних заобљења на горњем и доњем обликачу у првој и другој операцији савијања, еластично исправљање комада по завршетку процеса савијања, одређена је дебљина резне плоче, положај чепа (носача алата), итд.

Појава еластичног исправљања разматраног лименог комада анализирана је по успешном извршавању операција савијања у четвртном и петом кораку алата. Параметар еластичног исправљања одређен је коришћењем *обрасца 5.8.*, али и других релевантних података доступних у релевантној литератури, [1].

Првенствено је потребно одредити вредност фактора еластичног исправљања (K), коришћењем дијаграма G. Sachs-a [1] *стр. 308. слика 144.* За одређивање овог фактора, прво је потребно одредити однос r_2/s (полупречник готовог комада/дебљина лима).

$$\frac{r_2}{s} = \frac{1.5}{1.25} = 1.2$$

За материјал Č0146 (DC01, 1.0330) на основу дијаграма G. Sachs-a, [1] *стр. 308. слика 144.*, усвојена је вредност фактора еластичног исправљања $K = 1$. На основу добијене вредности овог фактора одређена је и вредност угла исправљања.

$$K = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \Rightarrow 1 = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \Rightarrow \varphi_2 = \varphi_1$$

Може се уочити да у разматраном случају не долази до значајнијег исправљања разматраног лименог комада. Из овог разлога појава исправљања лименог дела је занемарена при конструкцији алата.

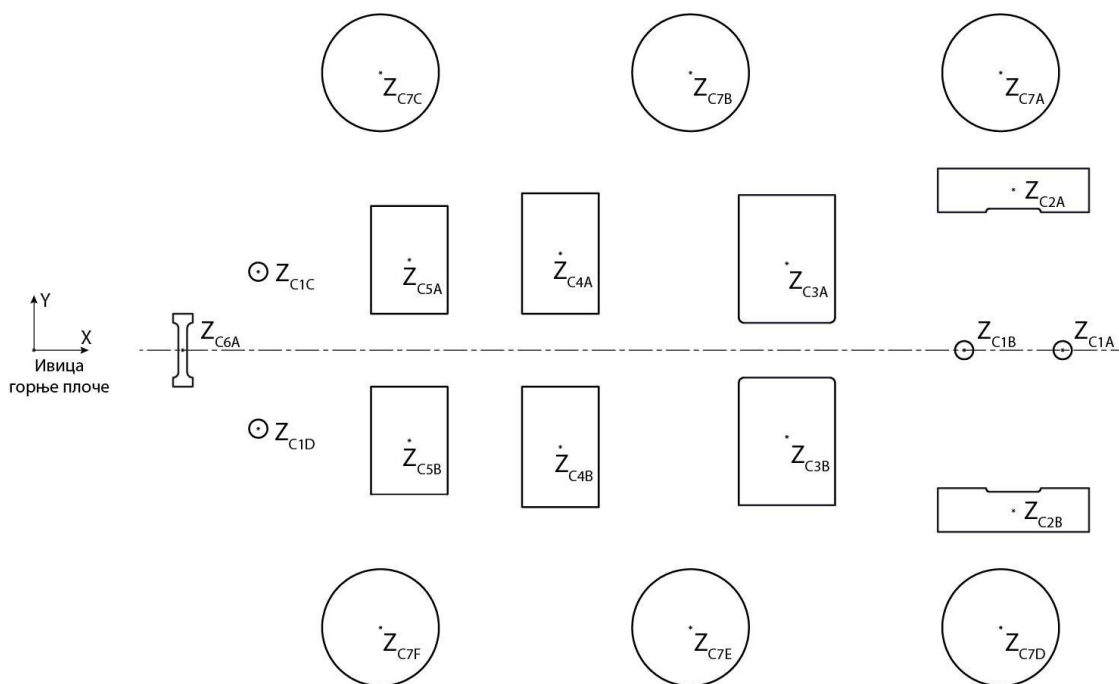
Коришћењем *обрасца 5.5.* извршен је прорачун заобљења на горњем и доњем обликачу. Сва заобљења на пројектованом лименом комаду релевантна за овај прорачун износе $R = 2.75 \text{ mm}$. Пошто су све потребне вредности познате извршено је одређивање овог параметра алата, при чему је финална вредност усвојена.

$$R_{d/g} = (0.6 \div 0.8) \cdot (R_g + s) = (0.6 \div 0.8) \cdot (1.5 + 1.25) = 1.65 \div 3.2 \text{ mm}$$

$$R_{d/g} = 2 \text{ mm}$$

Пошто не долази до појаве еластичног исправљања комада, на основу релевантне литературе и дијаграма G. Sachs-a, [1] *стр. 308. слика 144.*, може се закључити да није потребно извршити повећавање заобљења (радијуса) на горњем и доњем обликачу.

Сада је извршено одређивање позиције чепа (носача алата) на горњој плочи, коришћењем *образаца 4.12.* и *4.13.* Позиције радних елемената у горњем делу алата и усвојених опружних елемената, као и њихова тежишта приказана су на *слици 6.27.* Тачна позиција чепа одређена је у односу на усвојени координатни систем приказан на *слици 6.27.*, при чему одређивање положаја чепа по Y оси није извршено јер су радни органи или симетрично распоређени у односу на усвојену X осу или се њихово тежиште налази на X оси. Радна геометрија горњих обликача за операције савијања је упрошћена, и то првенствено због мањих радних сила, али и једноставнијег прорачуна. Сви параметри потребни за прорачун позиције чепа приказани су у *табели 6.2.*



Слика 6.27. Распоред елемената који су потребни за одређивање положаја чепа

Табела 6.2. Силе операција и положај тежишта елемената потребних за одређивање положаја чепа

Позиција центра	Позиција по Х оси	Позиција по Y оси	Сила операције
Z_{C1A}	282 mm	0 mm	5595.961 N
Z_{C1B}	255 mm	0 mm	5595.961 N
Z_{C1C}	61.5 mm	21.5 mm	5595.961 N
Z_{C1D}	61.5 mm	-21.5 mm	5595.961 N
Z_{C2A}	268.50 mm	43.97 mm	17791.838 N
Z_{C2B}	268.50 mm	-43.97 mm	17791.838 N
Z_{C3A}	206.40 mm	23.77 mm	31247.4 N
Z_{C3B}	206.40 mm	-23.77 mm	31247.4 N
Z_{C4A}	144.3 mm	26.50 mm	1523.428 N
Z_{C4B}	144.3 mm	-26.50 mm	1523.428 N
Z_{C5A}	102.90 mm	24.75 mm	1523.428 N
Z_{C5B}	102.90 mm	-24.75 mm	1523.428 N
Z_{C6A}	40.80 mm	0 mm	11907.656 N
Z_{C7A}	265 mm	76 mm	4000 N
Z_{C7B}	180 mm	76 mm	4000 N
Z_{C7C}	95 mm	76 mm	4000 N
Z_{C7D}	265 mm	-76 mm	4000 N
Z_{C7E}	180 mm	-76 mm	4000 N
Z_{C7F}	95 mm	-76 mm	4000 N

На основу података приказаних у *табели 7.2.* извршено је одређивање положаја чепа на X оси коришћењем *обрасца 4.12.*

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + X_{C4} + X_{C5} + X_{C6} + X_{C7}}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = 4 \cdot 5595.961 + 2 \cdot 17791.838 + 2 \cdot 31247.4 + 4 \cdot 1523.428 +$$

$$+ 11907.656 + 6 \cdot 4000 = 162463.688 \text{ N}$$

$$X_{C1} = 5595.961 \cdot (282 + 255 + 61.5 + 61.5) = 3693334.26 \text{ Nmm}$$

$$X_{C2} = 17791.838 \cdot (268.50 + 268.50) = 9554217.006 \text{ Nmm}$$

$$X_{C3} = 31247.4 \cdot (206.40 + 206.40) = 12898926.72 \text{ Nmm}$$

$$X_{C4} = 1523.428 \cdot (144.3 + 144.3 + 102.90 + 102.90) = 753182.803 \text{ Nmm}$$

$$X_{C5} = 11907.656 \cdot 40.80 = 6264000 \text{ Nmm}$$

$$X_{C6} = 4000 \cdot (265 + 180 + 95 + 265 + 180 + 95) = 4320000 \text{ Nmm}$$

$$X = \frac{3693334.26 + 9554217.006 + 12898926.72 + 753182.803}{162463.688} +$$

$$+ \frac{485832.365 + 4320000}{162463.688}$$

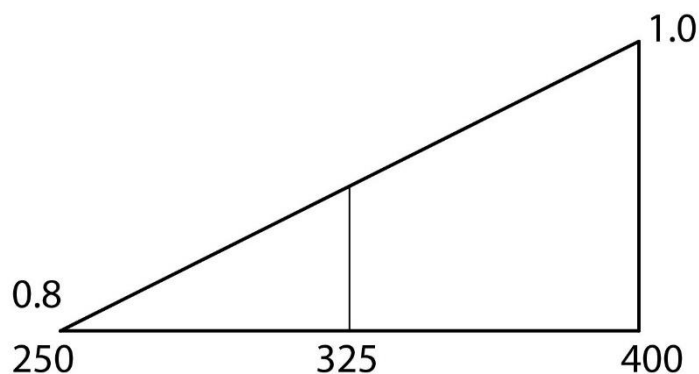
$$X = 195.1543 \text{ mm}$$

На основу претходног прорачуна, одређен је тачан положај чепа на горњој плочи у односу на референтне координатне осе приказане на *слици 6.25.*

$$X = 195.1543 \text{ mm}; Y = 0 \text{ mm}$$

Сада је извршено одређивање дебљине резне плоче коришћењем *обрасца 4.14.* У конструисаном алату користе се две резне плоче, анализирани у даљем тексту.

Прва резна плоча користи се за извршавање операција у прва три корака алата. Димензије пробојаца у овим корацима алата анализирани су у оквиру *поглавља 7.3.* и приказане су на *сликама 6.13. и 6.14. а).* Вредност коефицијента K који фигурише у *обрасцу 4.14.* не може се тачно одредити на основу *табеле 4.1.* јер затезна чврстоћа усвојеног лима износи $\sigma_m = 325 \text{ MPa}$. Тачна вредност коефицијента K одређена је коришћењем интерполације за податке доступне у *табели 4.1.* Релевантни интерполациони троугао приказан је на *слици 6.28.*



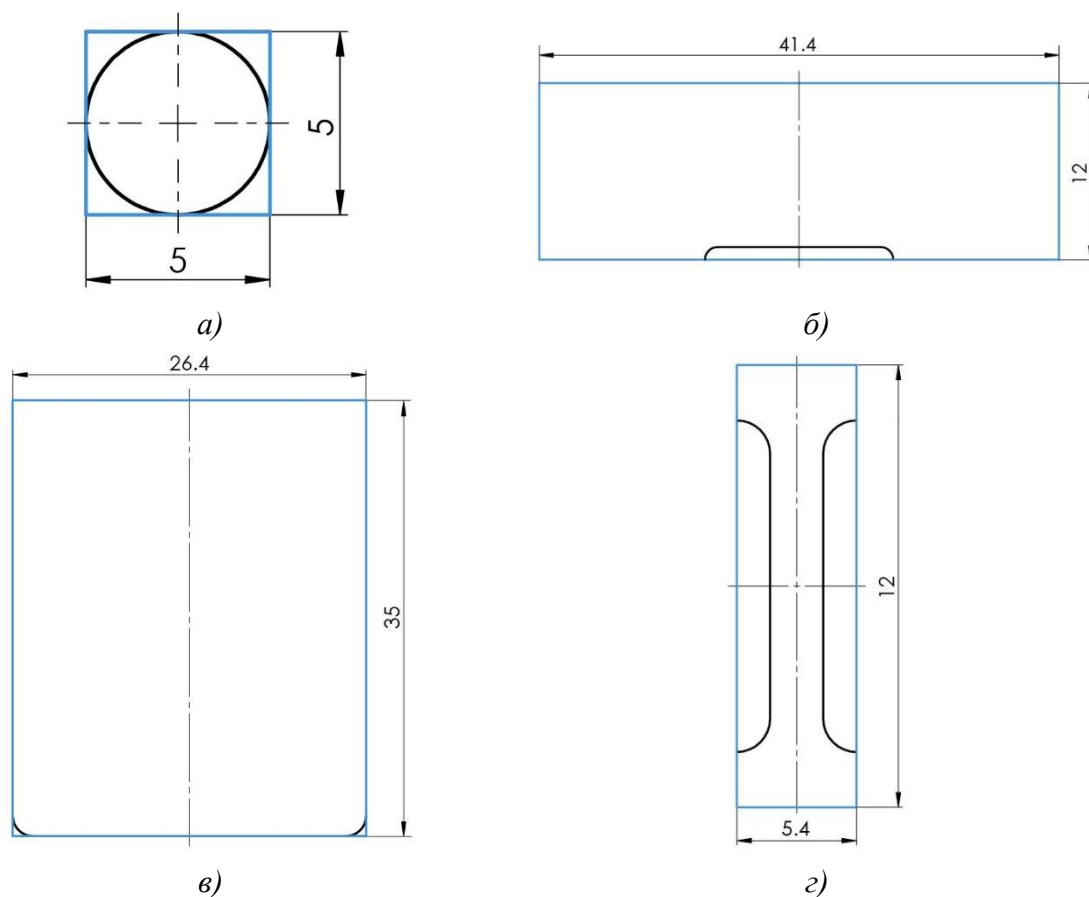
Слика 6.28. Интерполациони троугао за одређивање коефицијента K у зависности од затезне чврстоће усвојеног лима

$$150:0.2 = 75:X$$

$$X = \frac{75 \cdot 0.2}{150} = 0.1$$

$$K = 0.8 + X = 0.8 + 0.1 = 0.9$$

Под променљивом A у *обрасцу 4.14.* подразумева се габаритна ширина, док се под променљивом B подразумева габаритна висина. Прорачун габаритне ширине и висине за једну резну плочу врши се сабирањем дужина свих релевантних страница пробојаца приказаних на *сликама 6.29. а), б), в) и г).* Резни отвори у резним плочама су толерисани, међутим мале вредности толеранција не утичу значајније на коначан резултат па је из овог разлога овај фактор и занемарен у оквиру овог рада, као што се може уочити на димензијама приказаним на *сликама 6.29. а), б), в) и г).* Број разматраних пробојаца, као и њихов положај на резним плочама доступан је у техничкој документацији алата која се налази на крају овог рада.



Слика 6.29. Габарити кружног отвора у резним плочама у првом и шестом кораку алата (а), габарити корачног ножа у првом кораку алата (б), габарити профилисаног пробојца у другом и трећем кораку алата (в), габарити профилисаног пробојца у шестом и седмом кораку алата (г)

Првенствено је анализирана резна плоча на којој се налазе отвори за операције у првом, другом и трећем кораку алата. На овој резној плочи налазе се по два отвора приказана на *сликама 6.27. а), б) и в)*.

$$A_2 = 2 \cdot (41.4 + 5 + 26.4) = 145.6 \text{ mm}$$

$$B_1 = 2 \cdot (12 + 5 + 35) = 104 \text{ mm}$$

Пошто су сви потребни подаци познати, сада је одређена дебљина резне плоче коришћењем *обрасца 4.14*.

$$H_1 = (10 + 5 \cdot s + 0.7 \cdot \sqrt{A + B}) \cdot K$$

$$H_1 = (10 + 5 \cdot 1.25 + 0.7 \cdot \sqrt{145.6 + 104}) \cdot 0.9 = 24.578 \text{ mm}$$

Због конструкцијских разлога, усвојено је да дебљина прве резне плоче износи $H_1 = 30 \text{ mm}$.

Сада је анализирана друга резна плоча која се користи за извршавање операција пробијања/одсецања у шестом и седмом кораку алата. На анализираној резној плочи налазе се два отвора приказана на *слици 6.27. а)* и један отвор приказан на *слици 6.27. г)*.

$$A_2 = 2 \cdot 5 + 5.4 = 15.4 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2 \cdot 5 + 12 = 22 \text{ mm}$$

$$H_2 = (10 + 5 \cdot 1.25 + 0.7 \cdot \sqrt{15.4 + 22}) \cdot 0.9 = 18.478 \text{ mm}$$

Због конструкцијских разлога, усвојено је дебљина друге резне плоче износи $H_2 = 31.25 \text{ mm}$.

Нешто веће дебљине резних плоча могу се објаснити и чињеницом да су отвори кроз које пролази отпад изведени степенасто, при чему су њихове димензије често знатно веће од габаритних димензија приказаних на *сликама 6.27. а), б), в) и г)*. На овај начин остварује се нешто веће „слабљење“ материјала што самим тим утиче и на нешто већу потребну дебљину резне плоче.

6.6. Одабир пресе

За обликовање лименог дела коришћењем прогресивних алата потребно је усвојити и одговарајућу пресу која задовољава основне захтеве који се односе на могућност монтаже прогресивног алата, као и на минималну потребну силу обраде, $F_{\text{пресе}} = 204.003 \text{ kN}$. На основу ових фактора, у оквиру овог рада усвојено је да се израда разматраног лименог дела врши на преси *Schuler CFL 630* немачког произвођача *Schuler*, силе $F_{\text{пресе}} = 630 \text{ kN}$, [13]. Ова преса припада фамилији производа *C-FLEX Line*, мањих је габарита и изузетно је погодна за аутоматизовану производњу у мањим индустријским окружењима. Основни разлог за одабир пресе знатно веће силе од потребне је немогућност монтаже пројектованог прогресивног алата у мање технолошки инфериорније *Schuler*-ове пресе, *Schuler CBL 250* и *Schuler CBL 400*, [13]. Остали произвођачи преса у оквиру овог рада нису разматрани, при чему је немачки произвођач *Schuler* првенствено одабран због квалитета својих производа и позиције на тржишту. Усвојена преса *Schuler CFL 630* приказана је на слици 6.30., док су њени основни параметри приказани у табели 6.3., [13].



Слика 6.30. Преса *Schuler CFL 630*, [13]

Табела 6.3. Основни параметри *Schuler CFL 630* пресе

Сила пресе	$F_{\text{пресе}} = 630 \text{ kN}$
Број удараца пресе	30-120 удараца/минуто
Ход пресе	8-120 mm
Димензије стола	820x590 mm

Причвршћивање алата за сто пресе врши се коришћењем стезача који се могу померати по Т жлебовима дијагонално распоређеним на столу пресе. Стезачи причвршћују алат на подметачима за алат (на крају рада су доступни технички цртеж и позиција ове компоненте у склопу), [13].

6.7. Параметри алата и производног процеса

На основу прорачуна извршеног у претходним поглављима, дефинисани су сви релевантни параметри пројектованог алата, али и производног процеса израде разматраног лименог дела. Основне карактеристике пројектованог прогресивног алата доступне су у *табели 6.4.*

Табела 6.4. Основни параметри пројектованог прогресивног алата

Габарити алата у крајњем доњем положају (без чепа)*	360x510x271 mm
Габарити алата у крајњем горњем положају (без чепа)*	360x510x288 mm
Ход алата	18 mm
Број корака алата	7 корака
Тежина алата*	213.656 kg
Укупан број делова *	241
Укупан број јединствених делова *	62

*Вредности су одређене на основу 3Д модела пројектованог алата у софтверском пакету *SolidWorks 2016*

У тренутку писања овог рада, не може се са великом прецизношћу одредити тачна цену алата, међутим по неким најгрубљим проценама цена би се кретала између €2000 и €3000.

Основни параметри разматраног производног процеса приказани су у *табели 6.5.*

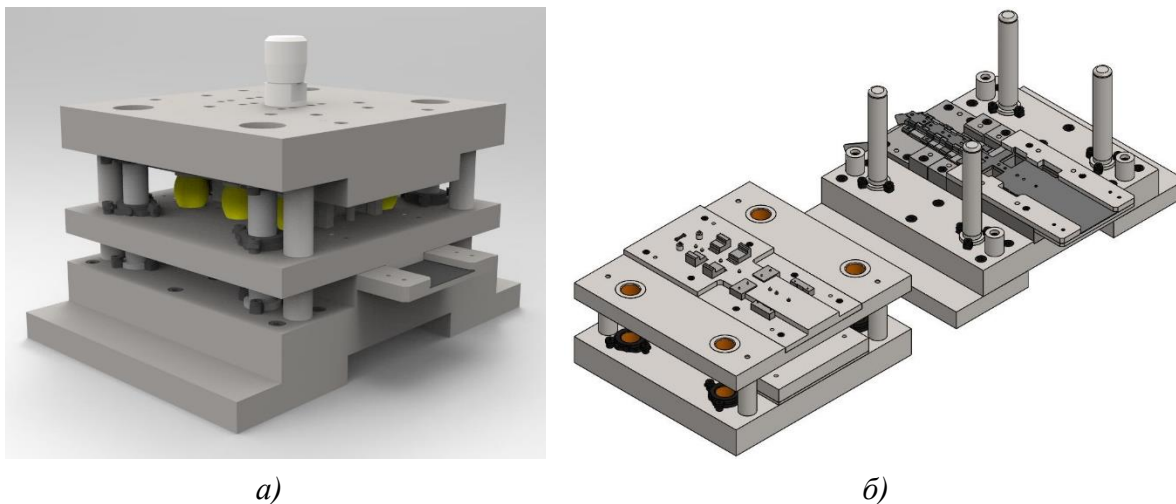
Табела 6.5. Основни параметри разматраног производног процеса

Идеалан производни такт	60 комада/мин.
Ширина лимене траке	83 mm
Усвојена преса	<i>Schuler CFL 630</i> ($F_{\text{пресе}} = 630 \text{ kN}$)

На основу података представљених у *табели 6.5.* може се закључити да је капацитет производње изузетно велики, при чему се за традиционално недељно радно време од 40 h у идеалним условима без пауза може произвести 144000 комада. Производња разматраног лименог дела врши се искључиво по наруџбинама. По производњи довољног броја комада, алат се у кратком временском периоду може демонтирати са пресе, при чему се преса може користити у друге сврхе, нпр. производња неког другог лименог производа.

7. Остали аспекти пројектованог алата

У оквиру овог рада креиран је 3Д модел као и пратећа техничка документација пројектованог алата коришћењем софтверског пакета *SolidWorks 2016*. Фотореалистични приказ (рендер) пројектованог алата креиран је коришћењем софтвера *Luxion Keyshot 5*, и приказан је на *слици 7.1. а)*. Горњи и доњи део алата приказани су на *слици 7.1. б)*



Слика 7.1. Рендеровани приказ пројектованог алата за обраду лима (а), горњи и доњи део пројектованог алата (б)

7.1. Саставни делови пројектованог алата

Пројектовање поузданих и јефтиних алата у кратким временским периодима остварује се имплементацијом што већег броја стандардних делова доступних код произвођача алатне опреме. На овај начин постиже се бољи квалитет алата уз паралелно смањивање трошкова израде, конструисања итд. Као што је претходно напоменуто, у оквиру овог рада као добављач стандардизованих елемената одабрана је немачка компанија *Fibro*. У даљем току овог поглавља приказани су усвојени стандардизовани делови алата праћени својим ознака, као и 3Д модели радних елемената. Техничка документација усвојених стандардизованих делова доступна је у каталогу произвођача (*Fibro*), док је техничка документација за све остале нестандардизоване делове доступна на крају овог рада.

Сви елементи вођења усвојени су из каталога одабраног добављача алатне опреме. Усвојена је вођица из линије “ECO-LINE” каталошке ознаке 2021.29.030.180 (*слика 7.2. а)*), [9] *стр. D68*. Усвојена водећа навртка стандардизована је по ISO 9448-6, а њена каталошка ознака је 2081.85.030 (*слика 7.2. б)*), [9] *стр. D117*. Усвојена навртка поставља се и у водећој и у горњој плочи.

Пошто је алат комбиноване конфигурације, у претходном делу рада израчунат је и усвојен стандардни опружни елемент. У оквиру овог рада усвојен је еластични полиуретански еластомер компаније *Fibro*, кодног имена *FIBROFLEX*. Усвојен је еластимер из серије *Tubular spring element 90 Shore A*, стандардизована по DIN ISO 10069-1, каталошке ознаке, 246.6.032.050 (*слика 7.2. в)*), [9] *стр. F65*.



а)

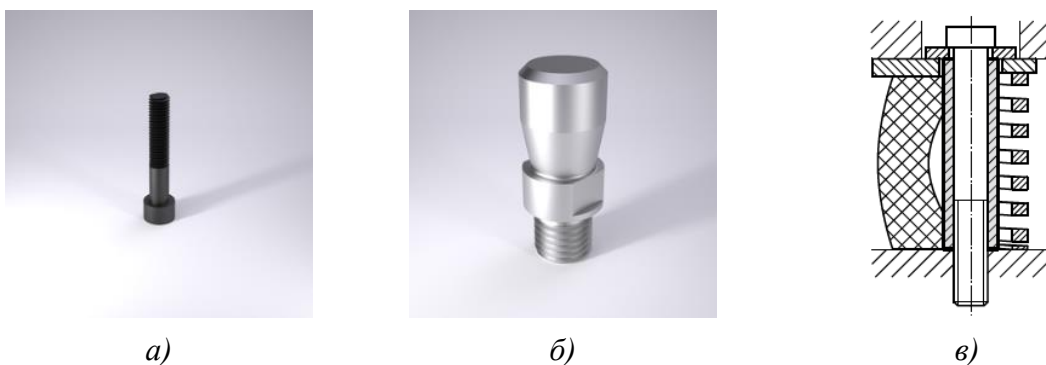
б)

в)

Слика 7.2. Вођица Fibro ECO-LINE (а), Fibro водећа навртка у водећој плочи (б), FIBROFLEX еластомер (в), [9]

Већина завртњева имплементираних у пројектованом алату усвојени су из каталога одабраног добављача. Као и код већине прогресивних алата за обраду лима, одабрани су завртњеви са *упуштеном* главом, стандардизовани по ISO 4762 квалитета 8.8 и 12.9 (слика 7.3. а)), [9] *стр.* C42 и C43. На појединим местима у алату захваљујући мањој висини главе завртња коришћени су *упуштени* завртњеви стандардизовани по DIN 6912 квалитета 8.8, [9] *стр.* C44. Комплексна конструкција алата захтева примену великог броја завртњева различитих дужина и пречника, па из овог разлога сваки усвојен завртањ није анализиран у оквиру овог поглавља.

Чеп (носач алата) је такође усвојен из каталога одабраног добављача. Чеп је стандардизован по DIN ISO 10242-1, а његова каталожка ознака је 211.12.50.030 (слика 7.3. б)), [9] *стр.* C8. Потребно је напоменути и да су елементи за монтажу еластомера у склопу алата такође стандардизовани, па су и у оквиру овог рада наручени од одабраног добављача. Каталожки начин монтаже еластомера у алату, приказан је на слици 7.3. в).



а)

б)

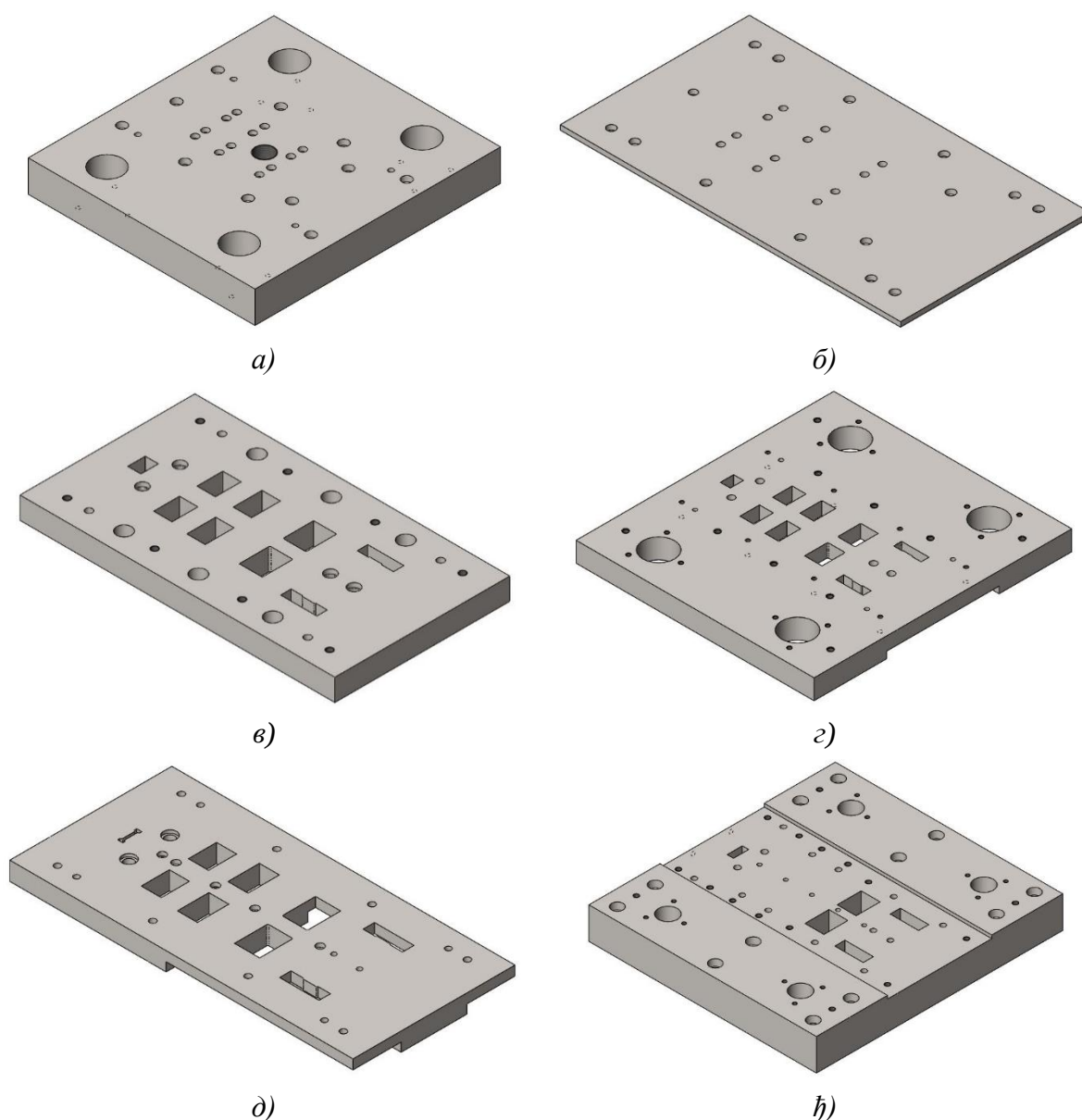
в)

Слика 7.3. Fibro ISO 4762 завртањ са *упуштеном* главом (б), Fibro DIN ISO 10242-1 чеп (носач алата), (в) каталожки начин монтаже еластомера у склоп алата, [9]

Остале усвојене стандардизоване компоненте доступне су у саставници пројектованог алата, па стога нису детаљније представљене у оквиру овог рада. Сви нестандардизовани делови који се не могу преузети из каталога одабраног добављача, морају се изградити по наруџбини. Иако добављачи алатне опреме нуде услуге израде делова по наруџбини, због знатно ниже цене економичније је вршити израду ових компоненти код локалних приватних фирми.

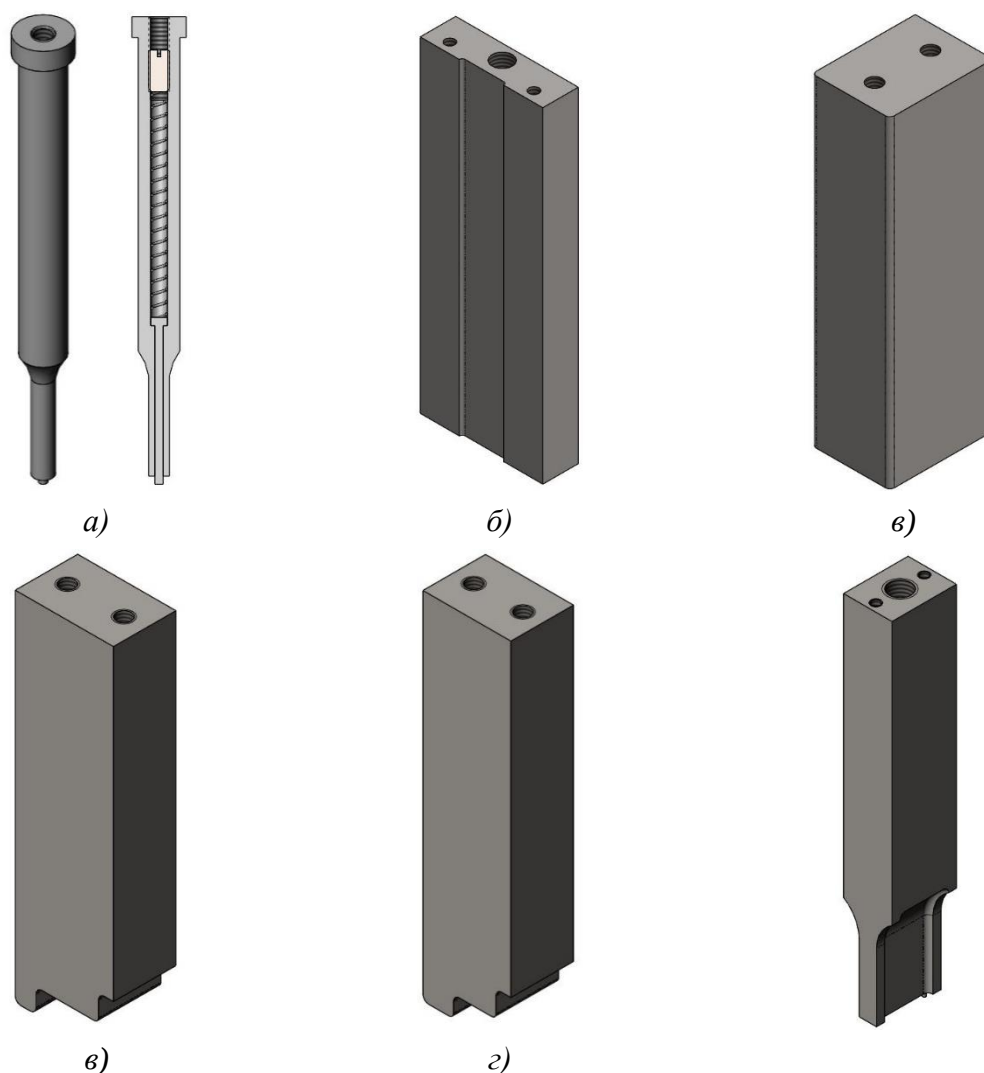
Све „плоче“ у алату се због своје варијабилне конфигурације морају израђивати по наруџбини, па самим тим нису доступне у каталозима добављача алатне опреме. Ови делови се најчешће или израђују од плочастих припремака добављача алатне опреме (*Fibro*) или се пак користе плочасти припремци доступни код локалних добављача челика који послују на територији Републике Србије. У оквиру овог рада пројектоване су следеће плоче:

- Горња плоча (слика 7.4. а));
- Међуплоча (слика 7.4. б));
- Носећа плоча (слика 7.4. в));
- Водећа плоча (слика 7.4. г));
- Притисна плоча (слика 7.4. д));
- Основна плоча (слика 7.4. ђ));



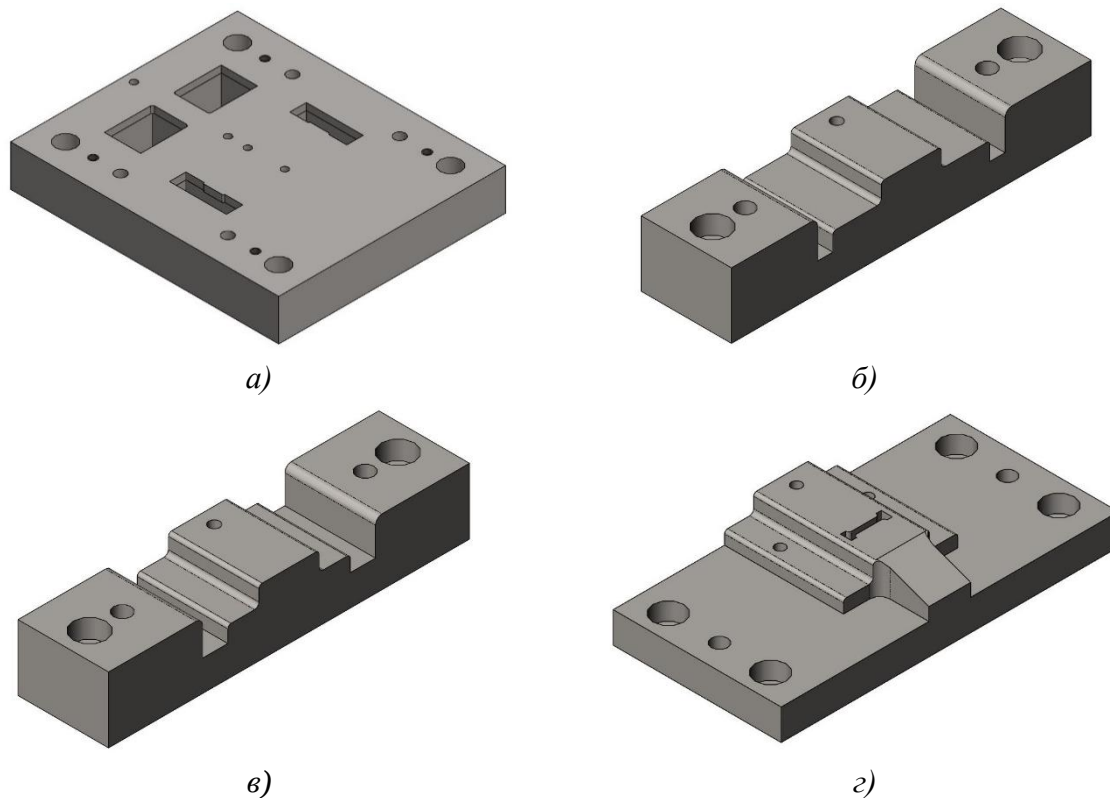
Слика 7.4. Горња плоча (а), Међуплоча (б), Носећа плоча (в), Водећа плоча (г), Притисна плоча (д), Основна плоча (ђ)

Захваљујући нестандартним контурама које се пробијају и савијају, сви радни елементи у горњем делу пројектованог алата морају се израђивати по наруџбини. Једина операција за чије се извршење могао применити стандардни пробојац, јесте операција пробијања кружних отвора пречника $\phi = 5\text{ mm}$. У овом случају, потребна дужина пробојца није каталошки доступна, па је из тог разлога и овај елемент нестандартан. 3Д модели свих радних органа који врше операције пробијања, одсецања и савијања приказани су на сликама 7.5. а), б), в), г). Потребно је напоменути да су пробојци који врше пробијање отвора пречника $\phi = 5\text{ mm}$ у шестом кораку алата, дужи у односу на пробојце који врше исту операцију у првом кораку алата. Због примене избацивача код пробојаца у горњем делу пројектованог алата, пожељно је ове елементе због своје комплексности наручити од одабраног добављача алатне опреме (*Fibro*).



Слика 7.5. Пробојац који врши пробијање кружних отвора у првом и шестом кораку алата (а), Корачни нож (б), Профилисани пробојац који врши операцију пробијања у другом и трећем кораку алата (в), Горњи обликач у четвртом кораку алата (г), Горњи обликач у петом кораку алата (д), Профилисани пробојац за пробијање/одсецање у шестом и седмом кораку алата (ђ)

Радни органи и обликачи у доњем делу алата су нестандартни елементи, и приказани су на *сликама 7.6. а), б), в), г)*. Као и плоче приказане на *сликама 7.4. а), б), в), г), д) и ђ)* радни елементи и обликачи у доњем делу алата израђују се или од плочастих припремака добављача алатне опреме, или од плочастих припремака доступних код локалних добављача челика.



Слика 7.6. *Резна плоча за први, други и трећи корак алата (а), доњи обликач за операцију савијања у четвртном кораку алата (б), доњи обликач за операцију савијања у петом кораку алата (в), резна плоча за шести и седми корак алата (г)*

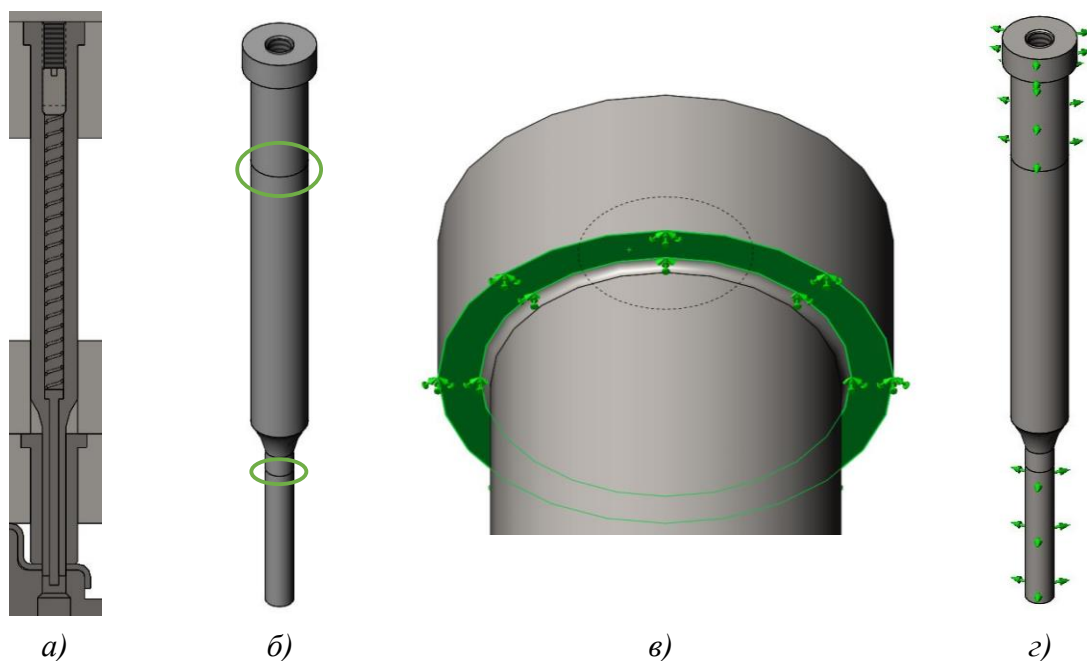
Остали нестандартни елементи алата приказани су у техничкој документацији доступној на крају овог рада. Потребно је напоменути да је пројектовање нестандартних елемената алата и креирање техничке документације извршено у складу са препорукама доступним у релевантној техничкој литератури, [14].

7.2. FEA анализа пробојаца на извијање

Радна функција пробојаца, али и њихове конструкцијске карактеристике најчешће чине ове компоненте једне од најкритичнијих и најоптерећенијих у алатима за обраду лима. Због својих габарита, знатно веће дужине у односу на димензије попречног пресека, пробојци се најчешће проверавају на извијање. Поред аналитичког прорачуна (поглавље 6.4.), често је потребно извршити и нумеричку анализу пробојаца коришћењем методе коначних елемената (енг. *FEA*). У оквиру овог рада, овај тип анализе извршен је коришћењем софтверског пакета *SolidWorks 2016*, и то модула *SolidWorks Simulation*. Због својих конструкцијских и функционалних карактеристика, у оквиру овог рада анализирани су пробојци у шестом кораку пројектованог алата.

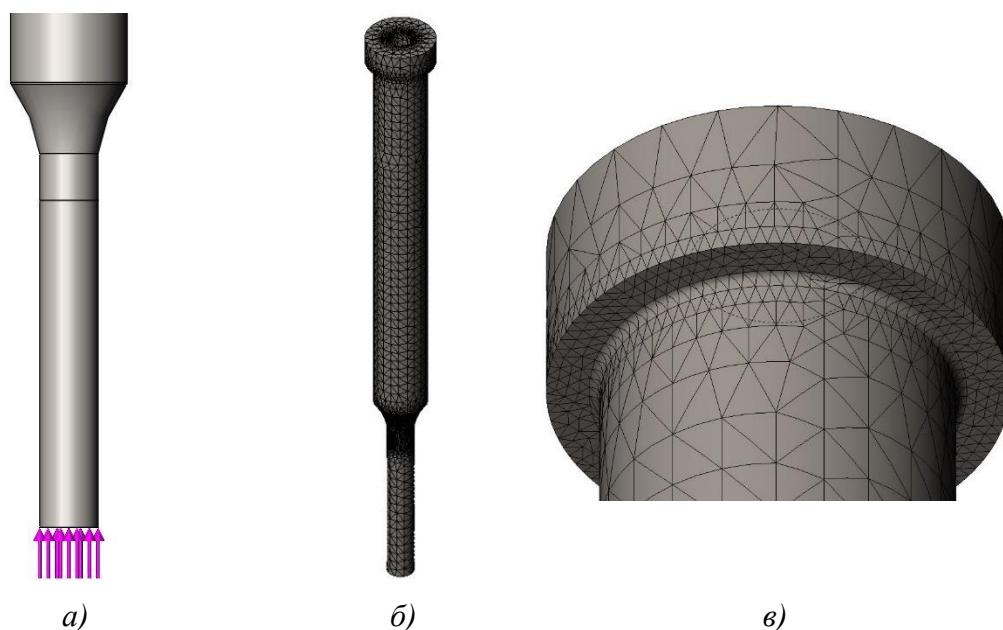
Извршена је анализа пробојца за пробијање кружне контуре пречника $\phi = 5 \text{ mm}$ у шестом кораку алата. Анализирани пробојац је због своје нешто веће дужине више склон извијању него сличан краћи пробојац у првом кораку алата. Разматрани радни орган је парцијално вођен на две цилиндричне површине, као што се може уочити на слици 7.8. а). Како би се анализа правилно и тачно извршила, првенствено је потребно дефинисати који делови релевантних цилиндричних површина воде анализирани радни орган (слика 7.8. б)), коришћењем *SolidWorks* команде *Split Line*.

По дефинисању водећих површина, потребно је поставити ограничења. Првенствено је постављено *Fixed* ограничење на површину приказану на слици 7.8 в). На три водеће цилиндричне површине постављена су напредна *Reference Geometry* ограничења, при чему је онемогућена транслација у смеру приказаном на слици 7.8. г). Референтна геометрија одабрана је тако да онемогући транслацију у правцу и смеру приказаном на слици 7.8. г).

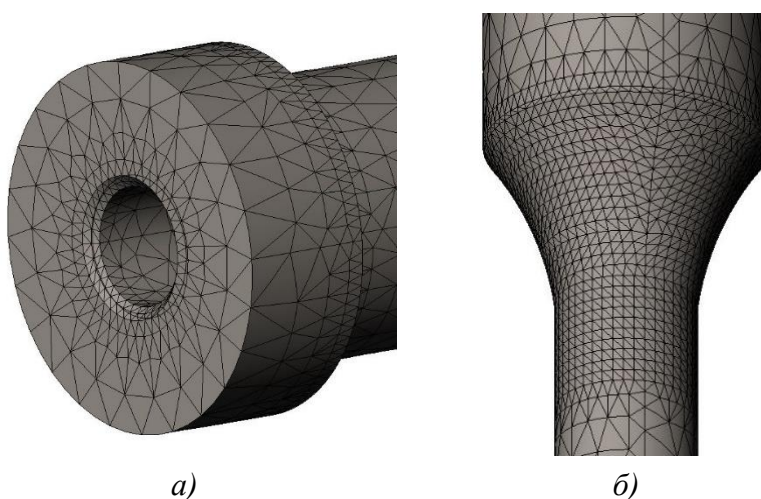


Слика 7.8. Приказ разматраног пробојца у алату (а), водећа цилиндрична површина подељена коришћењем *SolidWorks* команде *Split Line* (б), површине на које су постављена *Fixed* ограничења (в), површине на које су постављена напредна ограничења *Reference Geometry* (г)

По дефинисању свих ограничења, постављено је и оптерећење у виду аналитички израчунате силе пробијања (команда *Force*) интензитета $F = 5595.961\text{ N}$. Позиција, правац, смер и интензитет силе приказани су на слици 7.9. а). По дефинисању свих ограничења и оптерећења извршено је креирање мреже коначних елемената, приказане на слици 7.9. б). На заобљеном прелазу на врху пробијача (слика 7.9. в)), на отвору за избацивач (слика 7.10. а)) и на средини пробијача (слика 7.10. б)), постављена је ситнија мрежа у циљу постизања веће тачности симулације. У циљу добијања релевантних резултата, као материјал пробојца усвојен је алатни челик 1.2083 (X40Cr14), који се предефинисан налази у бази материјала софтверског пакета *SolidWorks 2016*. Затезна чврстоћа усвојеног челика износи $R_m = 1200\text{ MPa}$.

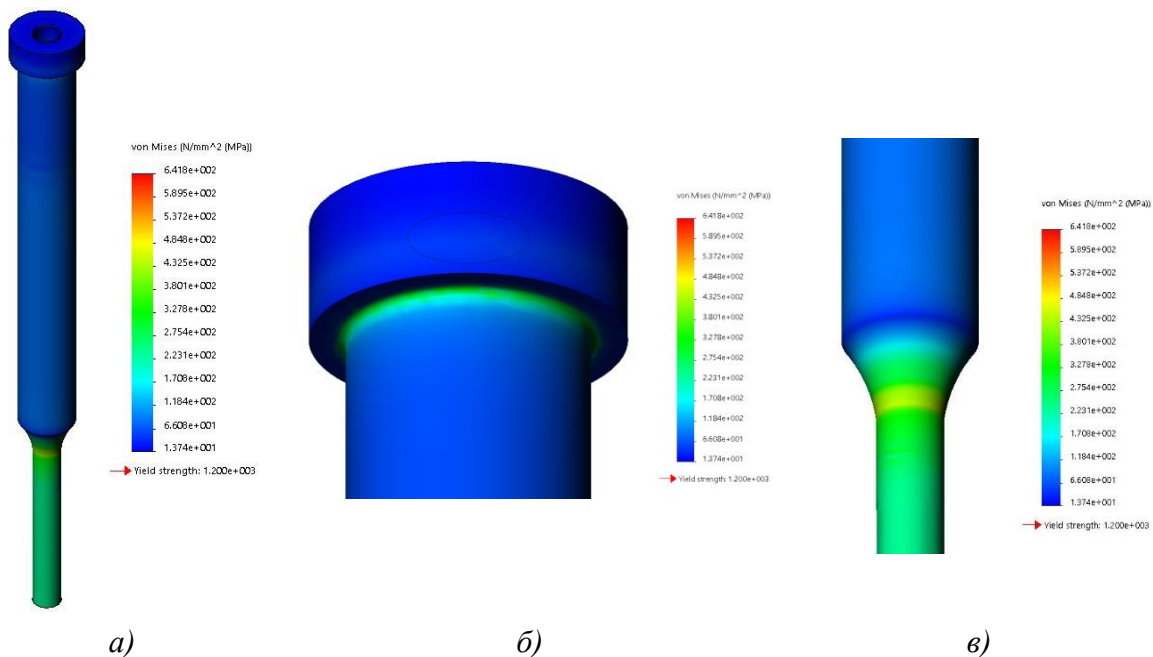


Слика 7.9. Позиција силе пробијања (а), креирана мрежа коначних елемената (б), гушћа мрежа коначних елемената на заобљеном прелазу на врху пробијача (в)

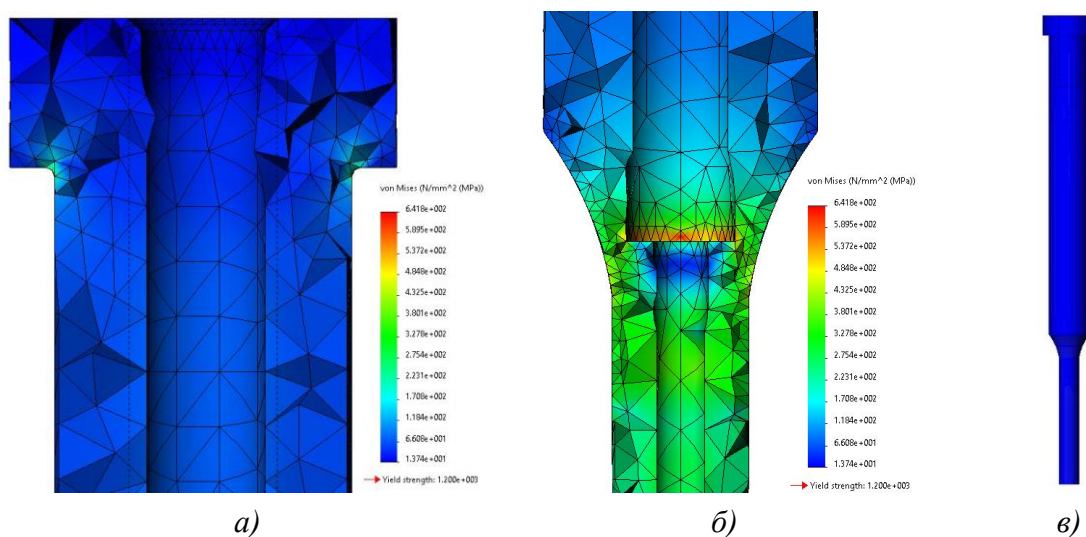


Слика 7.10. Гушћа мрежа коначних елемената на отвору за избацивач (а), гушћа мрежа коначних елемената на средини пробијача (б)

По завршеној припреми модела извршена је и његова анализа коришћењем *FFEPlus eng. solver*-а доступног у софтверском пакету *SolidWorks 2016*. *Von Mises*-ово напонско стање анализираниог пробојца приказано је на слици 7.11 а). Најкритичнији делови пробојца на којима долази до појаве највећег напона приказани су на сликама 7.11. б) и в). Ова најкритичнија места на анализираниом пробојцу приказана су и у пресеку на сликама 7.12. а) и б) коришћењем команде *Mesh Sectioning*. Извршена је и брза провера замора коришћењем команде *Fatigue Check Plot*. На основу добијених резултата (слика 7.12. в)) може се закључити да проблем замора није потребно додатно разматрати.



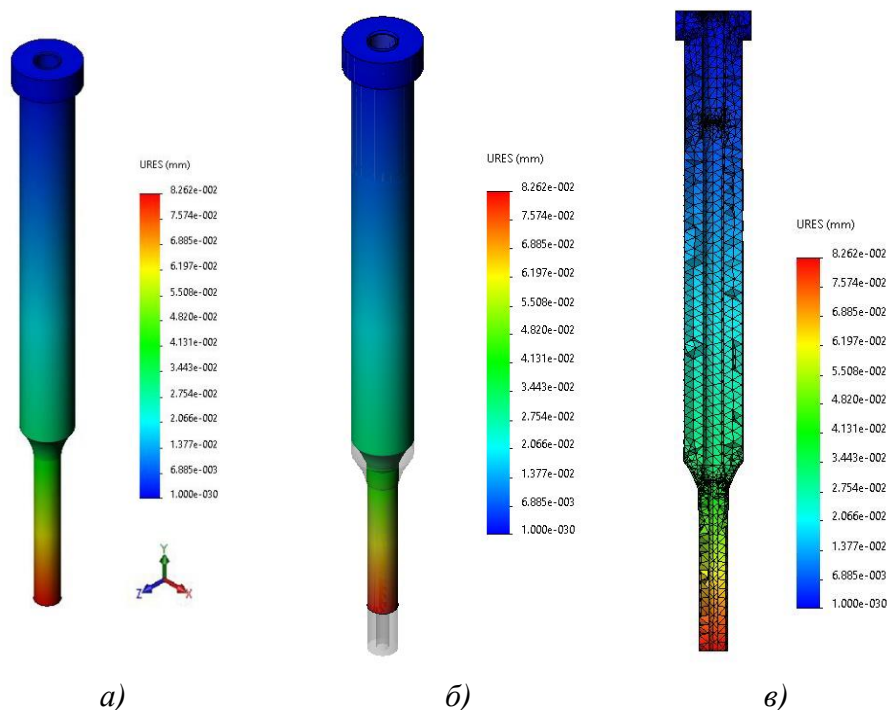
Слика 7.11. *Von-Mises*-ов напон анализираниог пробојца (а), *Von-Mises*-ов напон на најкритичнијим деловима пробојца (б), (в)



Слика 7.12. *Von-Mises*-ов напон на најкритичнијим деловима анализираниог пробојца (а), (б), *Fatigue Check Plot* пробојца (в)

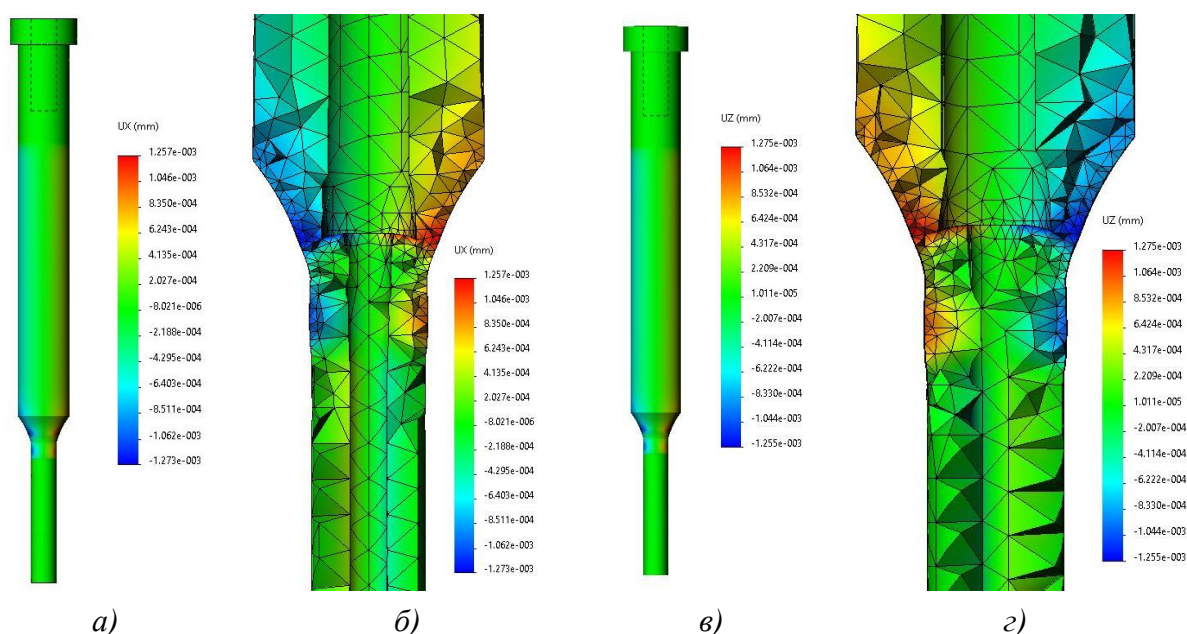
Von-Mises-ов напон на најкритичнијем делу разматраног пробојца у попречном пресеку износи око 641.8 Мпа , што је скоро дупло мање од затезне чврстоће одабраног алатног челика. Највећа вредност напона настаје на прелазу отвора намењених за постављање избијача. Слична конструкција пробојца у *Fibro* каталогу [9] *стр. Е108* на овом месту не садржи заобљење за смањење концентрације напона, па је стога ово каталошко конструкцијско извођење отвора примењено и у оквиру овог рада. Недостатак заобљења може се објаснити нешто лакшом израдом овог отвора. У циљу смањења напона, препоручљиво је да се са произвођачем овог пробојца увиди да ли постоји могућност израде заобљења на овом критичном месту.

Реална деформација разматраног пробојца приказана је на *слици 7.13. а)*, док је овај параметар представљен и у пресеку на *слици 7.13. в)*. Најдоминантније оптерећење анализираниог пробојца је притисак као што се може уочити на *слици 7.13. б)*, где је реална деформација увећана 100 пута и деформисан пробојац је упоређен са недеформисаним.



Слика 7.13. Укупна реална деформација анализираниог пробојца (а), укупна реална деформација анализираниог пробојца увећана 100 пута (б), укупна реална деформација анализираниог пробојца у пресеку (в)

Бочно извијање у правцу координатне X осе приказано је на *сликама 7.14. а) и б)*, док је бочно извијање у правцу координатне Z осе приказано на *слици 7.14. в) и г)*, референтни координатни систем приказан је на *слици 7.13. а)*. Деформација по оси Y настаје услед оптерећења на притисак, и није посебно анализирана јер се ова вредност може без већих проблема апроксимирати на основу *слика 7.13. а), б) и в)*. Као што се може увидети на претходно наведеним сликама, деформације које настају при раду овог пробојца изузетно су мале уколико се упореде са целокупном дужином анализираниог пробојца.



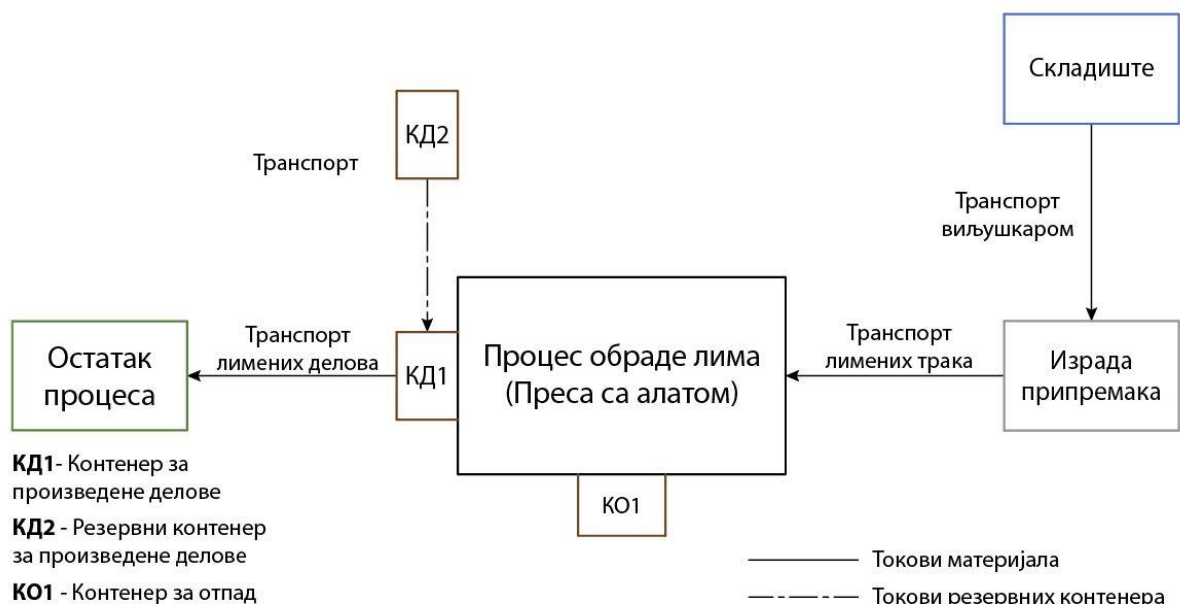
Слика 7.14. Реална деформација пробојца у правцу X координатне осе (а), реална деформација пробојца у правцу X координатне осе на најкритичнијем месту у пресеку (б), реална деформација пробојца у правцу Z координатне осе (в), реална деформација пробојца у правцу Z координатне осе на најкритичнијем месту у пресеку (з)

На основу добијених резултата може се закључити да неће доћи до значајније деформације анализираних пробојца, при чему највећа деформација износи 0.08262 mm, што чини 0.0694% укупне дужине пробојца. Потребно је напоменути да је због нешто лакше примене FEA поступка, FEA анализа пробојца спроведена без елемената система избацивача (завртањ без главе – увртни завртањ, опруга и избацивач). Присуство ових елемената у реалној конструкцији пробојца доводи до веће крутости конструкције, а самим тим и мање деформације. Коначно се може закључити да резултати добијени FEA поступком потврђују претходно извршену аналитичку проверу на извијање разматраног пробојца.

7.3. Организовање производње применом WCM и Lean методологија

Интернационалне компаније које послују у производном сектору теже да своје трошкове редукују кроз оптимизацију производних процеса, али и самих производних погона. Ове активности за циљ имају повећање капацитета производње и смањење броја радника и пратеће техничке опреме уз задржавање задовољавајућег нивоа квалитета својих финалних производа. Оптимизација производње најчешће се врши коришћењем *Lean* методологија. Пошто је аутор овог рада извршио студентску стручну праксу у компанији *Fiat Chrysler Automobiles (FCA) Serbia*, он се упознао и са нешто нешто комплекснијом *Lean* методологијом познатом под називом *World Class Manufacturing (WCM)*. У оквиру овог рада, имплементацијом WCM алата кључних *WCM* *eng. pillar-a* извршено је оптимизовање производног процеса.

Производно окружење разматрано у оквиру овог рада приказано је на слици 7.14. У стручној литератури се дијаграмски приказ производног процеса на слици 7.14. среће под називом *eng. Value stream map*, [15].



Слика 7.14. Шема разматраног производног процеса (*eng. Value stream map*)

Прва фаза производног процеса се односи на израду припремака и њихово позиционирање у алат пресе. Генерално се може рећи да се полуфабрикати (табле или котурови лима) складиште у локалном складишту. Полуфабрикати се затим транспортују до машина које врше израду полазних комада у виду трака од лима одговарајућих дужина. Овај део производног процеса није детаљније разматран у оквиру овог рада јер се израда полазних комада може вршити коришћењем бројних машина, од маказа са кружним ножевима па до изузетно специјализованих и комплексних машина. Исечене лимене траке се затим транспортују до пресе за обраду лима.

У следећој фази процеса потребно је извршити постављање трака од лима у алат пресе. Уколико је лимена трака намотана у котур, сам радник ће у савременом производном окружењу извршити иницијално позиционирање траке у алат пресе, док ће вођење траке кроз алат бити аутоматовано. Уколико се лимене траке не намотавају на

котуре, већ секу на нешто краће дужине (као табле лима), тада се иницијално постављање, али и вођење траке најчешће врши ручно. У овом случају, вођење траке кроз алат могуће је аутоматизовати са релативно јефтиним и поузданим системима, при чему се овакав приступ аутоматизацији у WCM методологији среће под називом *енг. LCA (Low Cost Automation) system*, [15].

При изради делова од лима долази и до настанка значајне количине отпада који је потребно правилно одлагати. Сав отпад који настаје при изради лименог дела анализираног у оквиру овог рада може се каналисати у јединствено сабирно средство (транспортни метални контејнер) позиционирано испод отвора за отпад усвојене пресе.

Финалне производе је такође потребно груписати у јединствено сабирно средство које може бити или транспортни метални или расклопљиви пластични контејнер. Конструкција алата пројектованог у оквиру овог рада омогућава аутоматско испадање готових производа у сабирно средство, и самим тим кретање материјала у остатак процеса. Тачан број произведених делова може се одредити коришћењем специјалног сензорског система.

Даљи ток процеса није детаљније анализиран, јер је финални производ првенствено креиран само за потребе овог рада. Производи сличне намене се у индустрији најчешће даље уграђују у неки компликованији технички систем или се пак врши њихово паковање и продаја на тржишту.

Због великог обима производње не може се вршити контрола сваког произведеног лименог дела, па је стога потребно да контрола квалитета из сваког пуног сабирног средства насумице одабере неколико делова, и изврши њихову детаљнију контролу. Остали делови се могу визуелно проверити, и то пре паковања или монтаже у неки сложенији технички систем. Одлагање шкарта може се вршити у засебним и посебно обележеним контејнерима. У даљем току овог поглавља извршено је и разматрање производног процеса и алата за обраду лима са аспекта појединих WCM *енг. pillar-a*.

За остваривање пријатног и чистог радног окружења потребно је применити опште познати *Lean* алат 5S. Коришћењем 5S приступа потребно је првенствено најосновнији прибор за рад поставити на видљива, јасно означена и лако доступна места. Поред иницијалног оптимизовања и чишћења радног простора, ово ново стање потребно је накнадно одржавати и уколико је могуће чак и унапредити, [15]. Нешто детаљнија 5S анализа због недостатка података о радном окружењу није извршена у оквиру овог рада.

Додатну оптимизацију и организацију радног места потребно је извршити и применом 3М (*MURI, MURA* и *MUDA*) WCM алата, [15]. Применом *MURI WCM алата* потребно је остварити што бољу ергономију рада. Радник не сме ручно подизати тешке лимове, или пак вршити ручно померање других тешких предмета (нпр. транспортних контејнера итд.). Побољшање ергономије рада најбоље се може постићи коришћењем одговарајуће опреме, нпр. примена дизалица за подизање лимених котурова, транспорт контејнера потребно је извршити коришћењем виљушкара итд. *MURA WCM алат* (елиминисање нерегуларности процеса) у овом случају не поседује превелику тежину јер је већина основних операција аутоматизована (рад пресе и рад маказа за сечење лима). Применом *MUDA WCM алата* потребно је уклонити све активности које не додају

вредност производу. Радника је у току целог радног времена потребно упослити односно циљ је елиминисати његову пасивност, затим смањити ходање, вршење цикличних операција, честу промену положаја (нпр. стајање и седење), време тражење одговарајуће опреме (алата, прибора), итд., [15].

Складиштење полазних комада и финалних производа потребно је извршити у складу са *5T WCM алатом*. При чему је применом овог алата потребно извршити дефинисање фиксних рута и токова материјала у току процеса, означити и дефинисати фиксно место постављања материјала и производа у складишту, извршити означавање стандардним бојама како не би дошло до нпр. мешања добрих делова и шкарта, итд. У циљу елиминације микро складишта у процесу пожељно је да се материјали у току процеса крећу применом *JIT (енг. Just in Time)* принципа. Применом овог принципа материјал ће долазити код пресе или маказа за сечење лима баш у оном тренутку када се изврши обрада свих претходно достављених трака од лима или табли лима. На овај начин се смањује количина *WIP (енг. Work in Progress)* материјала односно спречава настанак микро складишта на самој линији, и самим тим штеди значајна количина новца, [15].

Посебну пажњу потребно је посветити *Safety енг. pillar*-у, односно безбедности на раду. Потпуно аутоматизован систем ће бити знатно безбеднији у односу на систем ручног опслуживања радне машине. Повреде при ручном опслуживању пресе и маказа за обраду лима најбоље се могу спречити постављањем сензорских периметријских система који врше блокирање машине чим човек нпр. руком прође одређену сензорску баријеру. Остале аспекте радних операција такође је потребно детаљно анализирати, нпр. руковање материјалом мора се вршити коришћењем рукавица са одговарајућом заштитом, у току вршења операција морају се носити заштитне наочаре, обавезно је ношење ХТЗ ципела, кретање у оквиру хале мора се вршити коришћењем унапред предвиђених коридора, итд., [15].

Као и сваки други технички систем, алат за обраду лима потребно је одржавати. Већина ових активности се првенствено односи на подмазивање водећих елемената (вођица), али и преоштравање резних ивица пробојаца у случајевима када се исте иступе. За одржавање техничких система у оквиру *WCM* методологије задужена су два *енг. pillar*-а, и то, [15]:

- Autonomous Maintenance (AM) *енг. pillar*;
- Professional Maintenance (PM) *енг. pillar*;

Активности одржавања *AM енг. pillar*-а врше радници који опслужују алат и пресу, док активности одржавања *PM енг. pillar*-а врши обучена служба одржавања, [15].

За разматрани технички систем, *AM* активности се првенствено могу посматрати *CILR* (C – Clean, I – Inspect, L – Lubricate, R – Retighten) *WCM* алатом. Овим *WCM* алатом дефинишу се активности које радници морају вршити у току смене, а односе се на одржавање разматраног техничког система. Код алата за обраду лима, под *Clean* активностима је нпр. на почетку и у току сваке смене потребно вршити уклањање отпадног материјала који се заглавио у отворима на резним плочама. Под *Inspect* активностима потребно је на почетку сваке радне смене и у току рада извршавати брзу инспекцију алата за обраду лима, јер се на овај начин могу правовремено спречити

аномалије, а самим тим и настанак веће штете. Под *Lubricate* активностима предвиђено је подмазивање вођица у одређеним временским периодима (нпр. на сваких 15 дана). *Retighten* активности није потребно извршавати у оквиру *AM pillar*-а код анализираних техничких система. Све претходно наведене *AM* активности могу се јасно дефинисати и пратити *AM* календаром који радник попуњава на почетку или крају сваке смене, [15].

За разматрани технички систем *PM* активности се првенствено односе на неке компликованије и временски захтевније задатке техничког одржавања, [15]. Најважнији и најкритичнији задатак односи се на преоштравање или замену пробојаца услед иступљивања резних ивица. За алат пројектован у оквиру овог рада не може се тачно прецизирати временски период у којем је потребно вршити активности преоштравања. Овај податак мора се добити експериментално, односно у току рада алата. Све следеће замене пробојаца морају се вршити проактивно, односно пре него што дође до значајнијег пада квалитета готовог производа (лименог дела).

Пошто процес замене пробојаца захтева демонтажу већег броја делова у алату, овом приликом може се извршити и детаљније чишћење и одмашћивање овог техничког система. Ова делимична репарација алата се такође може извршити и за проверу других компоненти алата, притегнутост завртњева, итд. При одржавању техничких система потребно је размотрити и аспект безбедности на раду, при чему се задовољавајући радни услови могу постићи праћењем прописане процедуре. Тако се нпр. безбедна демонтажа алата за обраду лима са пресе може извршити тако што се прво прекине довод електричне енергије (преса се искључи), затим се постави маљ пресе у најбезбеднији положај, па тек онда врши демонтажа.

Брзо и сажето информисање радника о производним, безбедносним али и другим циљевима компаније најчешће се врши коришћењем бројних *WCM* алата визуелног менаџмента. Потребно је напоменути да се документи визуелног менаџмента морају искључиво базирати на фотографијама и скицама које ће слати јасну поруку радницима. Поступак правилног извршавања неке производне операције може се представити коришћењем *SOP* (енг. *Standard Operation Procedure*) документа, а правилно извршавање најкритичнијег корака неке операције може се нагласити коришћењем *OPL* (енг. *One Point Lesson*) документа, [15]. Визуелни менаџмент се може применити и код других непроизводних активности, па се тако на овај начин могу нагласити неки аспекти безбедности на раду, представити неки важнији параметри одржавања, производње, итд.

Поред претходно наведених *WCM* алата, могу се користити и нека друга решења која су релевантна за анализирани технички систем. За дијагностиковање проблема може се користити *Ishikawa* дијаграм у облику 4М анализе, јер су параметри *Man*, *Machine*, *Method* и *Material* релевантни за анализирани технички систем. За елиминисање проблема у производњи који настају као последица људске грешке могу се применити *fool/error proof Poka Yoke* решења, итд. [15].

7.4. Индикатори производних перформанси

Праћење перформанси било ког производног погона врши се коришћењем одређених параметара, односно индикатора. У литературним изворима и производним окружењима најчешће се среће ознака *KPI* (енг. *Key Performance Indicator*), при чему се нпр. разликују *KPI*-ови производње, одржавања итд., [15]. Пошто операција обраде лима најчешће чини само део производног процеса, за праћење перформанси потребно посматрати само два индикатора, *OEE* и *MTBF*.

Најкомплетније праћење и анализа перформанси било ког техничког система најлакше се може извршити коришћењем *OEE* (енг. *Overall Equipment Effectiveness*) индикатора. Овај показатељ временски је завистан, односно најчешће се врши упоређивање *OEE* вредности остварених у току одређених временских периода. Може се вршити поређење само временских периода истих дужина, при чему се у пракси *OEE* најчешће израчунава на месечној, кварталној и годишњој бази. Производни индикатор *OEE* може се израчунати коришћењем *обрасца 7.1.*, [15].

$$OEE = A \cdot P \cdot Q \quad (7.1.)$$

Где су:

A – расположивост (енг. *Availability*),

P – перформансе (енг. *Performance*),

Q – квалитет (енг. *Quality*).

Три параметра који фигуришу у *изразу 7.1.* такође засебно могу бити индикатори производње, међутим њиховим груписањем у један јединствени параметар добија се знатно комплетније стање неке производне операције, погона, итд. Потребно је напоменути да се вредности параметара који фигуришу у *обрасцу 7.1.* крећу између 0 и 1, односно 0% и 100%.

Како би се успешно одредила вредност *OEE* показатеља, потребно је представити и обрасце за одређивање фактора који фигуришу у *обрасцу 7.1.* Распоживост (енг. *Availability*) техничког система може се одредити коришћењем *обрасца 7.2.*, [15].

$$A = \frac{\text{реално време рада}}{\text{планирано време рада}} \quad (7.2.)$$

Планирано време рада најбоље се може приказати на примеру једне радне смене, као што је приказано у *табели 7.1.*

Табела 7.1. Пример одређивања планираног радног времена

Начин извршавања процеса	Трајање смене	Трајање пауза	Планирано време рада
Радник	480 мин. (8 h)	60 мин.	420 мин.
Аутоматизован процес	480 мин. (8 h)	0 мин.	480 мин.

Поред два претходно описана случаја, у пракси се често се среће и трећи начин код кога аутоматизован процес директно зависи од претходних или накнадних активности које извршава радник. Ова ситуација често се среће и код алата за обраду

лима, при чему од радника може зависити израда полазних комада, њихов транспорт до пресе, али и постављање у алат. У овим случајевима потребно је извршити добру координацију операција како не би дошло до губљења бенефита које пружа аутоматизован процес.

Реално време рада узима у обзир све непланиране застоје и проблеме који настају у току производње. Застој код анализираног техничког система може настати уколико лимене траке нису правовремено исечене и достављене до пресе, затим уколико дође до неких минорних хаварија, несташице електричне енергије, итд. *Реално време рада* може се одредити коришћењем *обрасца 7.3.*, [15].

$$\text{реално време рада} = \text{планирано време рада} - \text{време застоја} \quad (7.3.)$$

Перформансе техничког система (параметар *Performance* – *P*) може се израчунати коришћењем *обрасца 7.4.*, [15].

$$P = \frac{\text{укупан број произведених делова}}{\text{реално време рада}} \cdot \text{идеалан производни такт} \quad (7.4.)$$

Параметар *укупан број произведених делова* односи се на број делова који је произведен у неком разматраном временском периоду, при чему се у обзир узимају и шкарт делови. Под *идеалним производним тактом* подразумева се колико се делова може произвести у идеалним условима у некој јединици времена, нпр. 10 делова по минути. Параметар *реалног времена рада* може се израчунати коришћењем *обрасца 7.3.*

Трећи параметар потребан за одређивање *OEE* индикатора је *Квалитет (Quality)*, и може се израчунати коришћењем *обрасца 7.5.*, [15].

$$Q = \frac{\text{број добрих делова}}{\text{укупан број произведених делова}} \quad (7.5.)$$

Параметар *броја добрих делова* односи се на број произведених делова који су прошли контролу квалитета у неком одређеном временском периоду (нпр. квартал, година, итд.). Параметар *укупног броја произведених делова* претходно је разјашњен.

Сада је представљен пример израчунавања *OEE* индикатора за процес обраде лименог дела разматраног у оквиру овог рада. Основни параметри разматраног производног процеса приказани су у *табели 7.3.* Потребно је напоменути да подаци приказани у овој табели нису преузети из реалног индустријског окружења, већ су за потребе овог рада замишљени.

Табела 7.3. Параметри производног процеса

Разматрано производно време	5 радних дана – 2400 мин.
Трајање пауза	5 – радних дана 300 мин.
Време застоја	73 мин.
Идеалан производни такт	60 ком./мин.
Укупно произведено комада	118425 ком.
Број лоших комада (шкарт)	1152 ком.

Сада је извршено одређивање параметра *Расположивости* (енг. *Availability* – *A*), коришћењем *обрасца 7.2*.

$$A = \frac{2400 - 300 - 73}{2400 - 300} = 0.965 = 96.5\%$$

Сада је извршено одређивање параметра *Перформанси* (енг. *Performance* – *P*), коришћењем *обрасца 7.4*.

$$P = \frac{\frac{118425}{2400 - 300 - 73}}{60} = 0.9737 = 97.37\%$$

Сада је извршено одређивање параметра *Квалитета* (енг. *Quality* – *Q*), коришћењем *обрасца 7.5*.

$$Q = \frac{118425 - 1152}{118425} = 0.9903 = 99.03\%$$

Сада се коначно може одредити вредност *OEE* индикатора перформанси анализираног техничког система, коришћењем *обрасца 7.1*.

$$OEE = 0.965 \cdot 0.9737 \cdot 0.9903 = 0.9305 = 93.05 \%$$

Остварене вредности *OEE* индикатора производње потребно је пратити у неком дужем временском периоду. На овај начин може се вршити упоређивање остварених вредности у неким одређеним временским периодима, могу се уочити евентуални проблеми у производњи као и груб узрок њиховог настанка. Потребно је напоменути да је потребно забележити константан раст вредности *OEE* индикатора, међутим нереално је очекивати и стална побољшања, као и 100% ефективан производни процес који се не може остварити ни у једном реалном индустријском окружењу. Потребно је напоменути да је претходно израчуната вредност *OEE* индикатора изузетно висока и може се очекивати у високо аутоматизованим и организованим индустријским окружењима.

Други индикатор перформанси разматраног производног процеса односи се на активности одржавања. Коришћењем индикатора *MTBF* (енг. *Mean Time Between Failures*) најбоље може вршити праћење временских периода у којима је потребно вршити преоштравање или замену пробојаца. Овај индикатор може израчунати коришћењем *обрасца 7.6*, [15].

$$MTBF = \frac{\text{укупно време рада} - \text{укупно време застоја услед хаварије}}{\text{број хаварија}} \quad (7.6.)$$

Под *укупним временом рада* подразумева се укупно производно време и време застоја услед хаварије у неком посматраном временском периоду (нпр. једна година). Под *укупним временом застоја услед хаварије*, као што и само име каже, подразумева се време застоја разматраног техничког система услед хаварије за неки посматрани временски период (нпр. једна година). Параметар *број хаварија*, као што и саме име каже, представља број хаварија у неком посматраном временском периоду (нпр. једна година).

Овај индикатор је такође временски завистан, међутим у индустрији се овај параметар континуално прати за све критичније техничке системе. У циљу добијања што тачнијих и поузданијих података за технички систем пројектован у оквиру овог рада

потребно је стално вршити праћење *MTBF* показатеља. На основу прикупљених података, уколико је потребно, може се вршити упоређивање вредности овог параметра за различите временске периоде, нпр. квартал, године, итд.

Сада је представљен пример израчунавања *MTBF* индикатора за технички систем пројектован у оквиру овог рада. Основни параметри потребни за израчунавање овог индикатора приказани су у *табели 7.4*. Потребно је напоменути да подаци приказани у *табели 7.4*. нису преузети из реалног индустријског окружења, већ су за потребе овог рада замишљени.

Табела 7.4. Параметри потребни за одређивање *MTBF* индикатора одржавања

Разматрани временски период	452 дана
Укупно време застоја услед хаварије	14 дана
Број хаварија	3

Сада се коришћењем *обрасца 7.6*. и на основу података приказаних у *табели 7.4*. може одредити вредност индикатора *MTBF*.

$$MTBF = \frac{452 - 14}{3} = 146 \text{ дана}$$

Поред претходно представљених индикатора (*KPI*) производње и одржавања, уколико постоји потреба, перформансе разматраног процеса и техничког система могу се разматрати и коришћењем неких других релевантних индикатора. Потребно је напоменути и да не треба претеривати са активностима „папиролошког“ типа, јер је у том случају потребно инвестирати значајну количину времена за извршавање свих *Lean* активности. На тај начин се заправо постиже супротан ефекат, односно долази до повећања броја активности које не додају вредност производу, што је дијаметрално супротно са циљем *Lean* методологија.

8. Закључак

Упркос чињеници да делови од лима израђени коришћењем корачних алата налазе изузетно широку примену у индустрији, процес конструисања једног таквог алата је изузетно сложен и временски захтеван. У оквиру овог рада може се уочити да је чак и за пројектовање једноставнијег индустријског алата ипак потребно уложити значајну количину времена како за прорачун, тако и за сам процес моделирања у оквиру популарних 3Д CAD софтвера. Сам процес пројектовања данас је у великој мери и олакшан захваљујући стандардизацији, при чему се већина саставних компонената алата може купити од добављача алатне опреме, док се у великим интернационалним корпорацијама у сврхе пројектовања користе и изузетно специјализовани софтверски пакети и софтверски додаци којима аутор нажалост није имао приступ.

У оквиру овог рада представљен је процес пројектовања једног типичног прогресивног алата. Првенствено су извршени основни прорачуни који се односе на одређивање параметара полазних комада и радних елемената алата. Извршена је анализа радних елемената на извијање, одређена је укупна сила пресе, степен искоришћења траке од лима, димензије полазног комада у развијеном стању, итд. Затим је извршено и креирање 3Д модела и пратеће техничке документације пројектованог алата у софтверском пакету *SolidWorks 2016*. Креирани 3Д модел је затим рендерован у софтверу *KeyShot 5*. У оквиру пратеће техничке документације, приложени су склопни цртежи, као и цртежи свих нестандартних компоненти алата. У циљу верификације прорачуна извршена је и FEA анализа најкритичнијег пробојца на извијање коришћењем софтверског пакета *SolidWorks*. У финалном делу овог рада извршена је груба анализа производног окружења у складу са WCM методологијом, односно *Lean* приступом производњи. Потребно је напоменути и да је за успешно пројектовање прогресивних (корачних) алата за обраду лима потребно познавати и теоретске основе које су укратко представљене на самом почетку овог рада.

Основни циљ аутора овог рада је да сам процес пројектовања прогресивних алата представи на што практичнији начин, како би читалац стекао нека основна практична знања у овој области машинске технике. Поред теоретских основа и аналитичких образаца детаљно представљених у оквиру овог рада, за успешно пројектовање потребно је радно искуство, јер се сама конструкција најчешће искуствено развија у оквиру самог 3Д CAD софтвера. Пројектовањем прогресивног алата за обраду лима у оквиру мастер рада на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, аутор овог рада сматра да је стекао основна знања и искуства у овој области техника. Његова очекивања су да ће му стечена знања помоћи у даљој професионалној каријери.

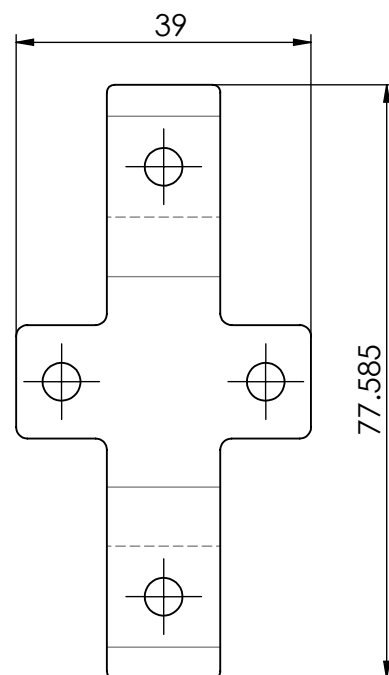
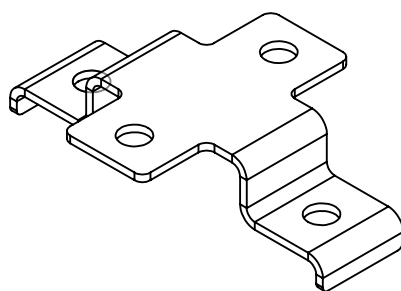
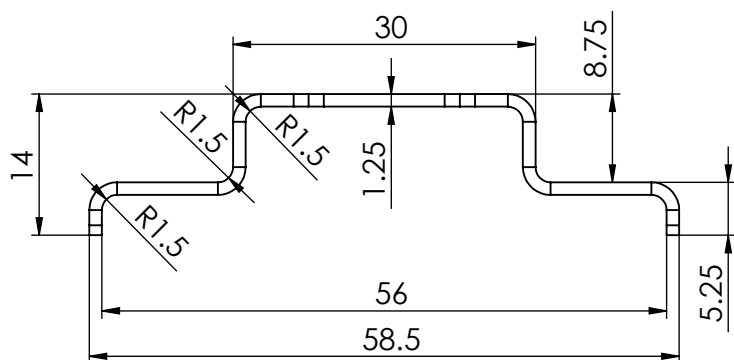
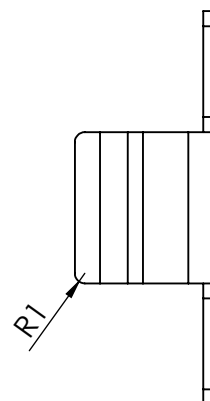
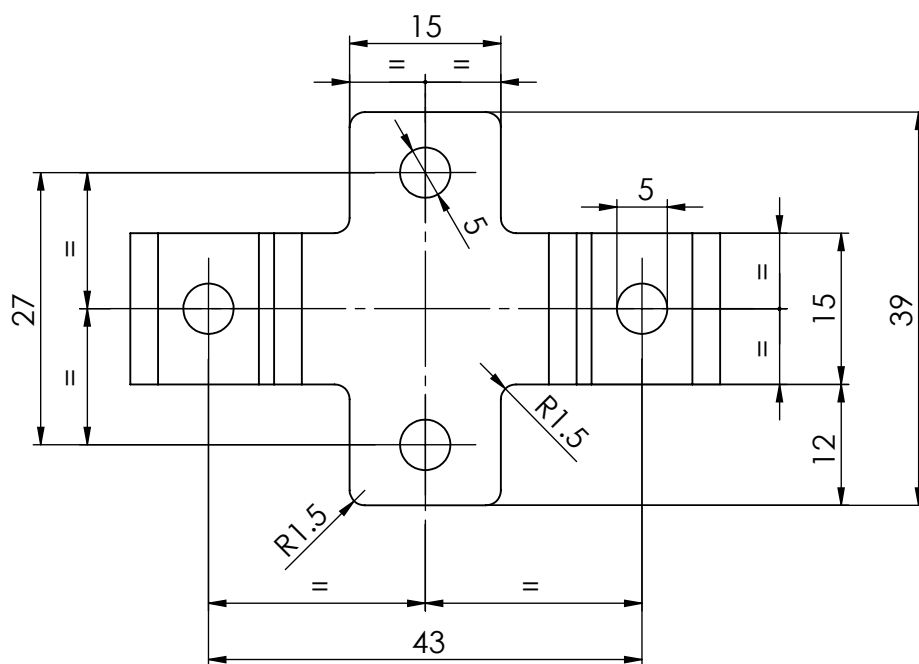
Литература

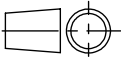
- [1] Бинко Мусафија, *Обрада метала пластичном деформацијом*, четврто издање, Завод за уџбенике Сарајево, 1979.
- [2] Србислав Александровић, Милентије Стефановић, *Технологија пластичног обликовања метала*, Машински факултет у Крагујевцу, 2010.
- [3] Миленко Јовичић, Богољуб Кршљак, *Основе конструкција алата и прибора*, Научна књига, Београд, 1984.
- [4] Никола Пргомеља, Симо Станчевић, *Конструкција алата и прибора за IV разред машинске школе*, пето издање, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2002.
- [5] Милорад Јовановић, Вукић Лазић, Драган Адамовић, Нада Ратковић, *Машински материјали*, Машински факултет у Крагујевцу, 2003.
- [6] Ivana Suchy, *Handbook of Die Design*, Second edition, McGraw-Hill Handbooks, 2006.
- [7] Веб сајт компаније *Atenic Commerce*, <http://www.atenic-commerce.com/>, приступљено у периоду 04.2016. – 09. 2016.
- [8] Србислав Александровић, *Предавања из области „Технологије пластичног обликовања“ на предмету „Производне технологије“*, Факултет Инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу, Србија, септембар 2016. године
- [9] Каталог производа немачке компаније Fibro, *Standard parts*, издање јул 2015. године, преузет са веб адресе:
http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_EN/Standard_Parts_en.pdf, приступљено у периоду 04.2016. – 09.2016.
- [10] Потребни подаци преузети су са веб адресе: <http://metalopromet.rs/uporedni-standardi-celika/>, приступљено у периоду 04.2016. – 09.2016.
- [11] Народна банка Србије курсна листа за дан 05.09.2016. године,
<http://www.nbs.rs/internet/latinica/scripts/ondate.html>
- [12] Весна Марјановић, Ружица Николић, *Додатни наставни материјал из предмета „Отпорност материјала“*, Факултет Инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу, Србија, Мај 2016. године
- [13] Каталог производа немачке групације Schuler, *C-Frame presses and Stamping presses*, издање октобар 2015. године, преузето са веб адресе:
https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_stamping_cutting/download_stamping_cutting/stamping_cutting_broschuere_c_pressen_e.pdf, приступљено у периоду 04.2016. – 09.2016.
- [14] Светислав Јовичић, Ненад Марјановић, *Основи конструкција*, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2011.
- [15] Предавања проф. др. Најиме Yamashina о WCM методологији

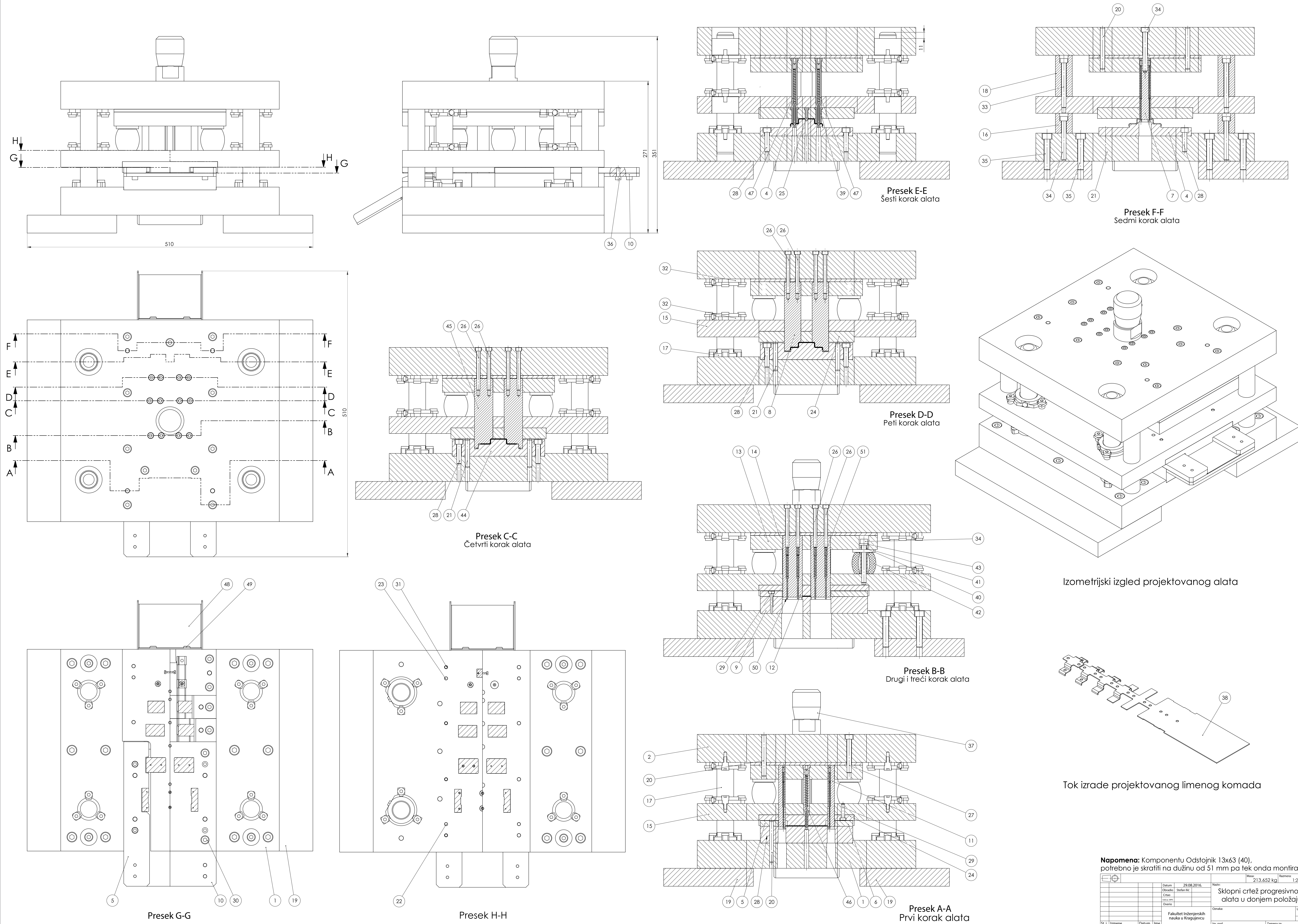
Прилог А

У овом прилогу достављена је техничка документација прогресивног (корачног) алата пројектованог у оквиру овог рада. У овом прилогу су достављена 33 техничка цртежа и саставница:

- Део од лима
- Склопни цртеж прогресивног алата у доњем положају
- Склопни цртеж прогресивног алата у горњем положају
- Саставница алата
- Основна плоча
- Горња плоча
- Доњи обликач за друго савијање (5)
- Резна плоча (6, 7)
- Лева водећа плоча
- Десна водећа плоча
- Склоп профилног пробојца (6, 7)
- Тело профилног пробојца (6, 7)
- Горњи обликач за друго савијање (5)
- Резна плоча (1, 2, 3)
- Плоча за вођење лима
- Склоп корачног ножа (1)
- Тело корачног ножа
- Профилни пробојац (2, 3)
- Носећа плоча
- Међуплоча
- Водећа плоча
- Доњи одстојник
- Горњи одстојник
- Подметач
- Притисна плоча
- Пилот
- Притезач лима
- Доњи обликач за прво савијање (4)
- Горњи обликач за прво савијање (4)
- Склоп кружног пробојца $L=110\text{ mm}$ (1)
- Тело кружног пробојца $L=110\text{ mm}$ (1)
- Склоп кружног пробојца $L=119\text{ mm}$ (6)
- Тело кружног пробојца $L=119\text{ mm}$ (6)
- Лимени олук

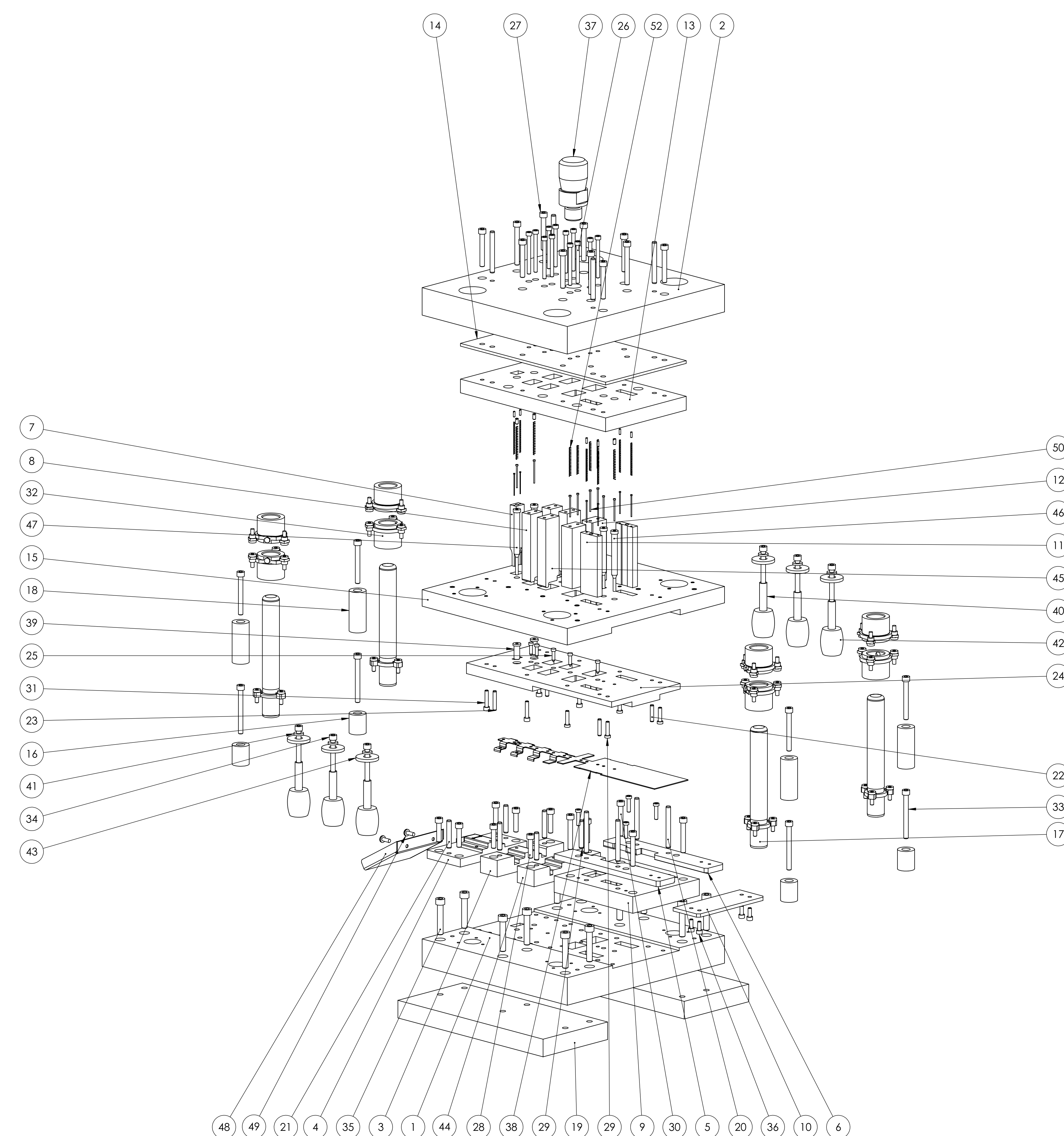
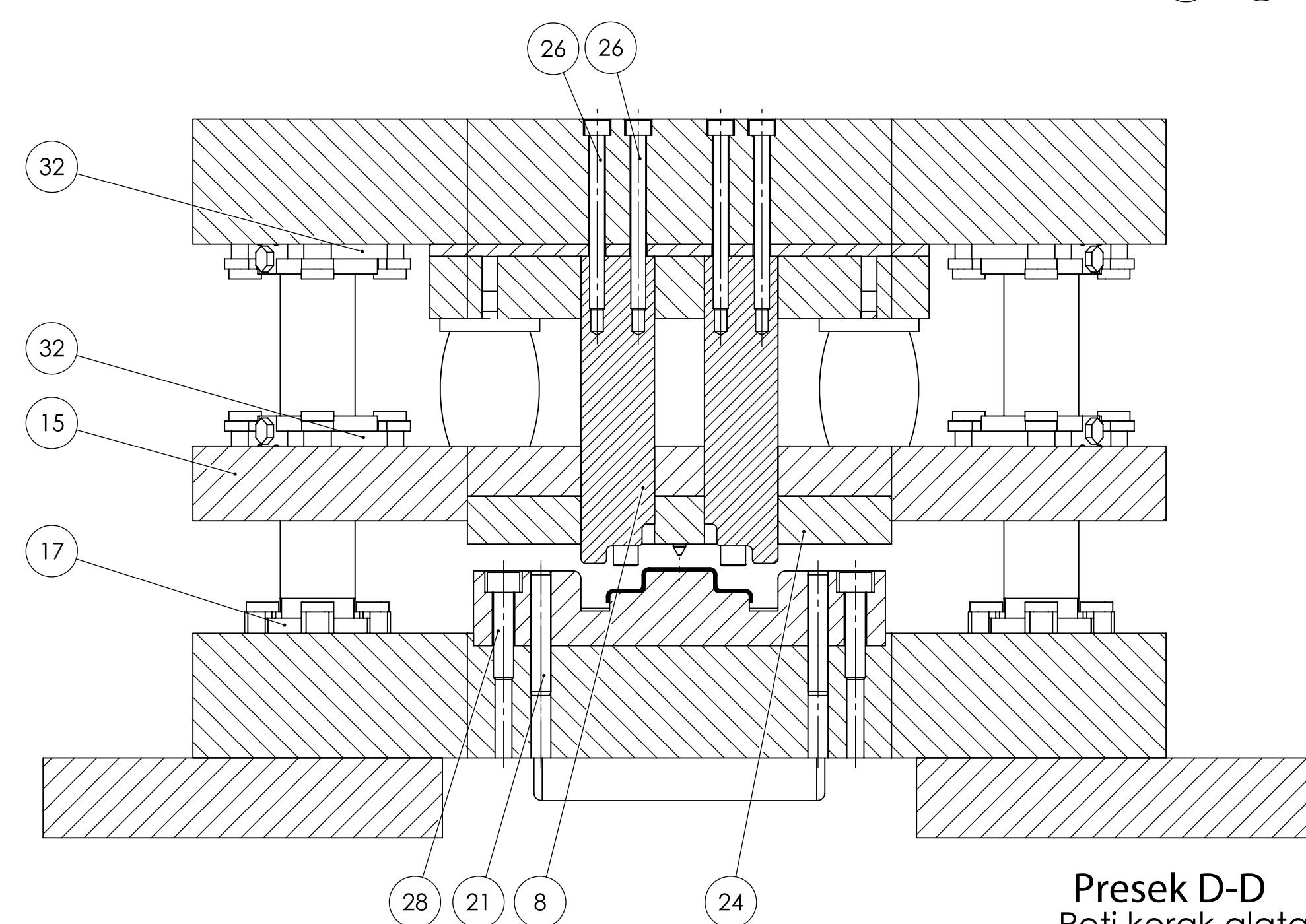
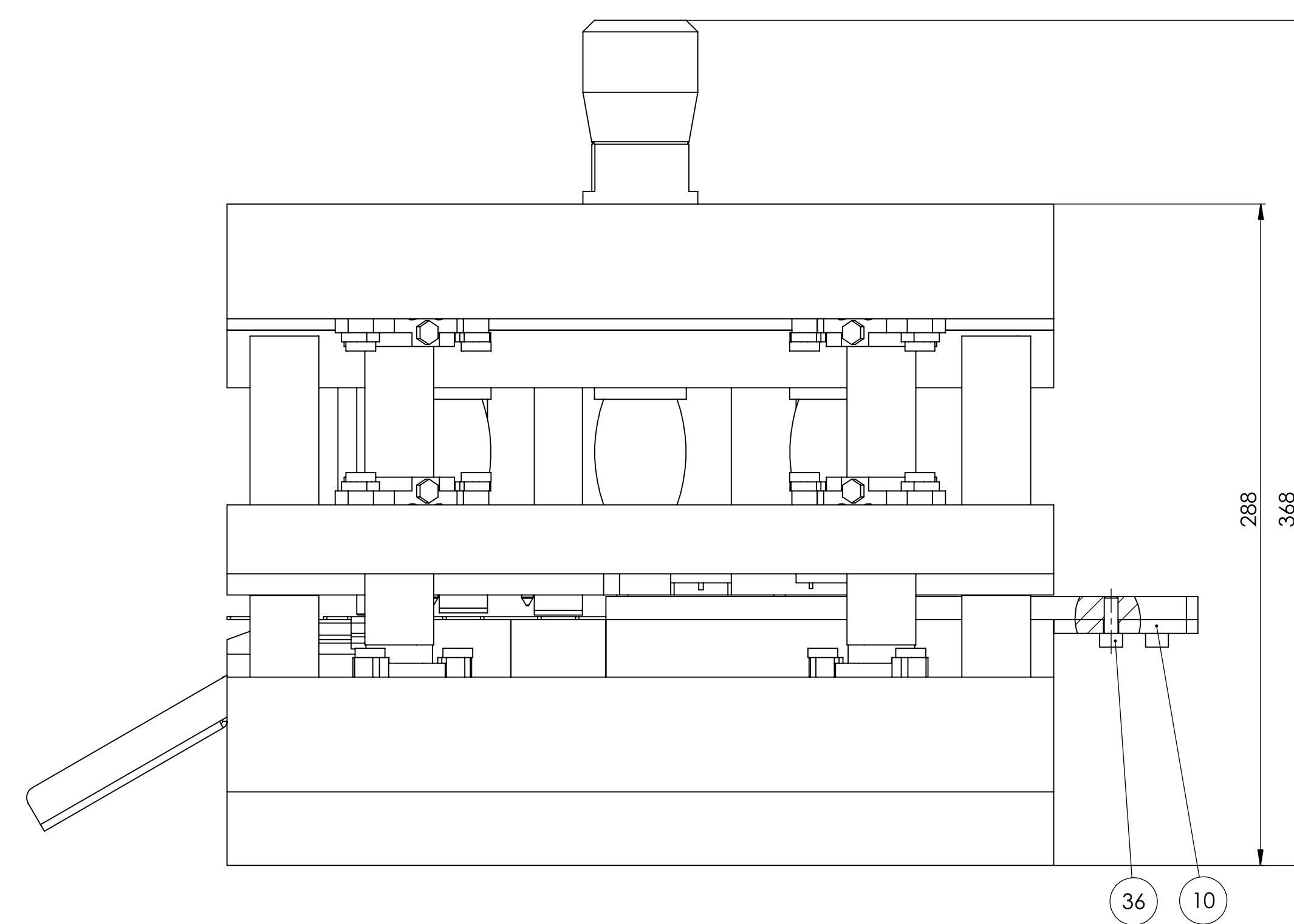


Tolerancije slobodnih mera				Površinska hrapavost				Površinska zaštita:			
Materijal: Č0146 - DC01								Termička obrada:			
								Masa: 33.5 g		Razmera: 1:1	
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Deo od lima			
				Obradio	Stefan Ilić						
				Crtao							
				Uskl.sa. SRPS							
				Overio							
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:		List:	
										L	
St. i.	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.		Zamena za:	

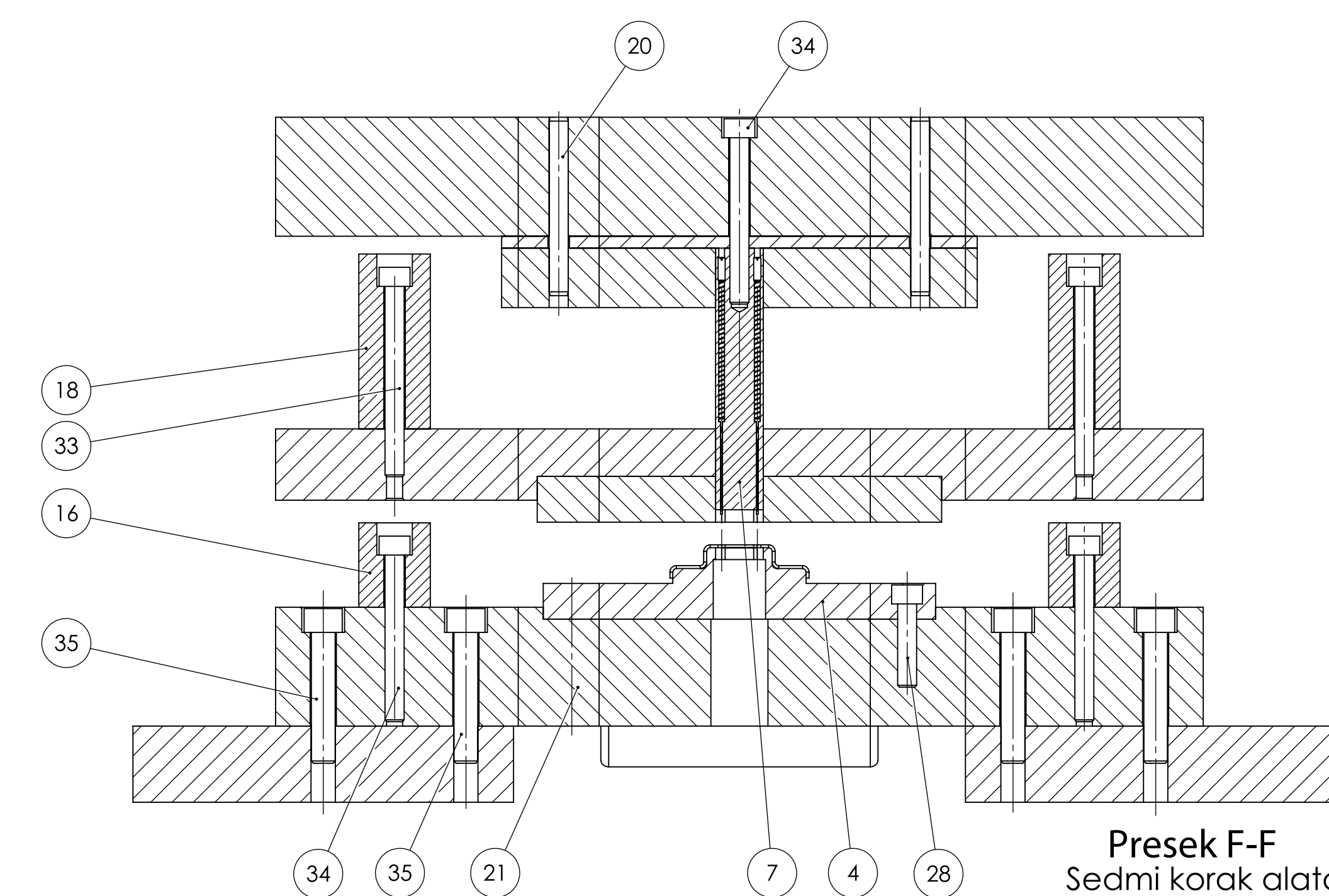
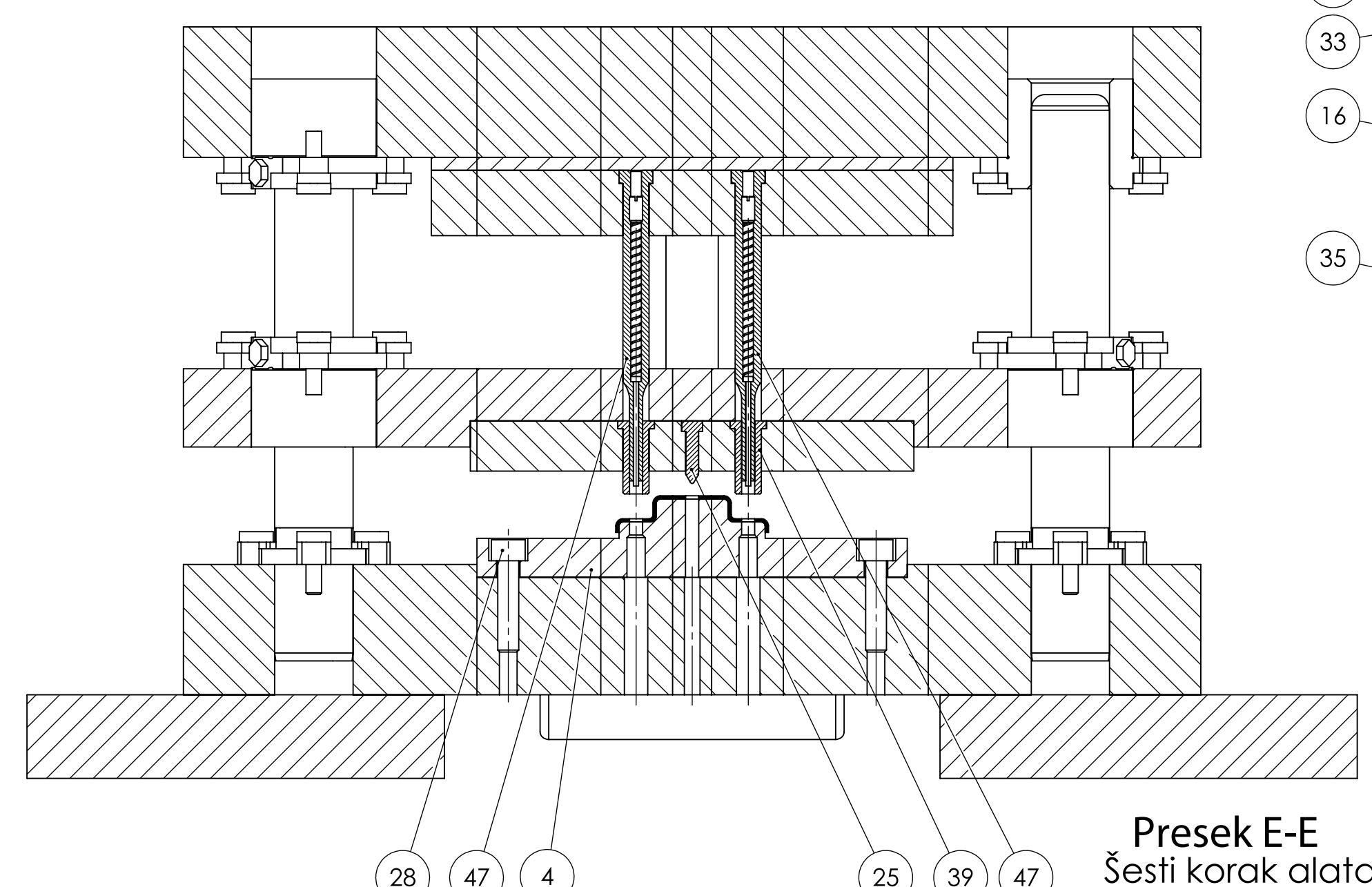
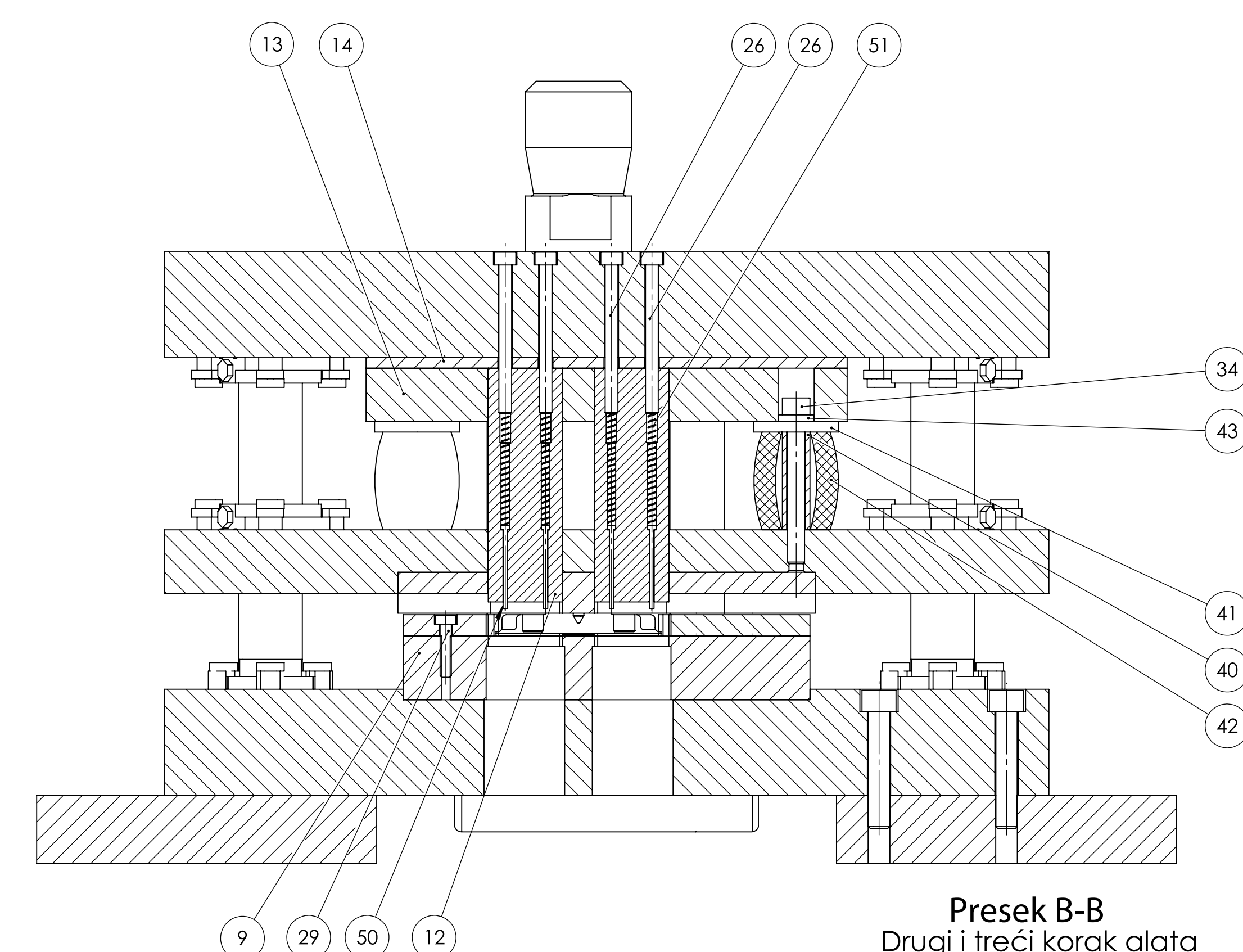


Napomena: Komponentu Odstojnik 13x63 (40), potrebno je skratiti na dužinu od 51 mm pa tek onda montirati.

		Datum: 29.08.2016.		Naziv: Sklopni crtež progresivnog alata u donjem položaju	
		Obradio: Stefan Ilić		Masa: 213.652 kg	
		Crtao: Stefan Ilić		Dimenzije: 1:2	
		Overtio: Stefan Ilić		Lis: 1	
		Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu		Oznaka: 13x63 (40)	
St. i. izmene		Datum		Ime	
				Izrađeno od: 1	
				Zamena od: 1	



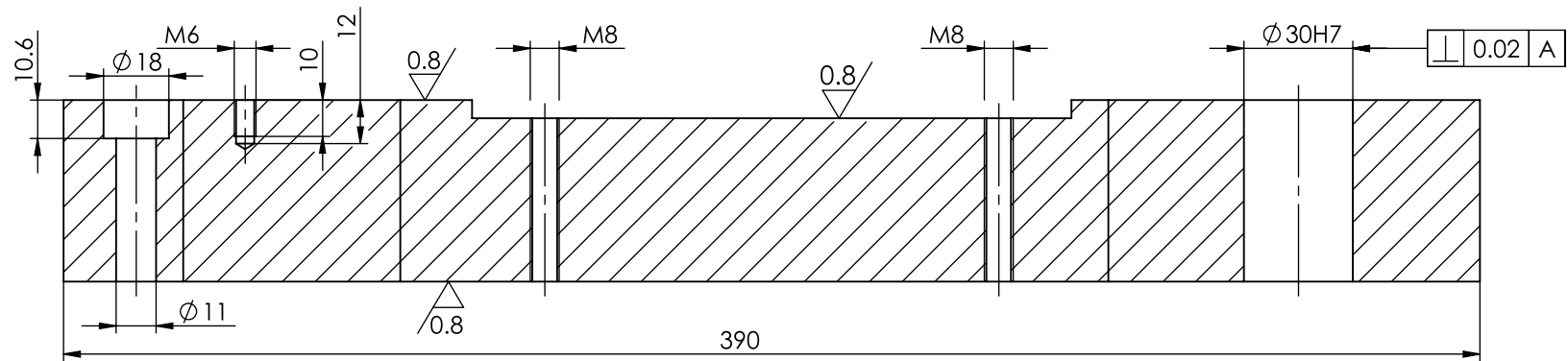
Presek A-A
Prvi korak alata



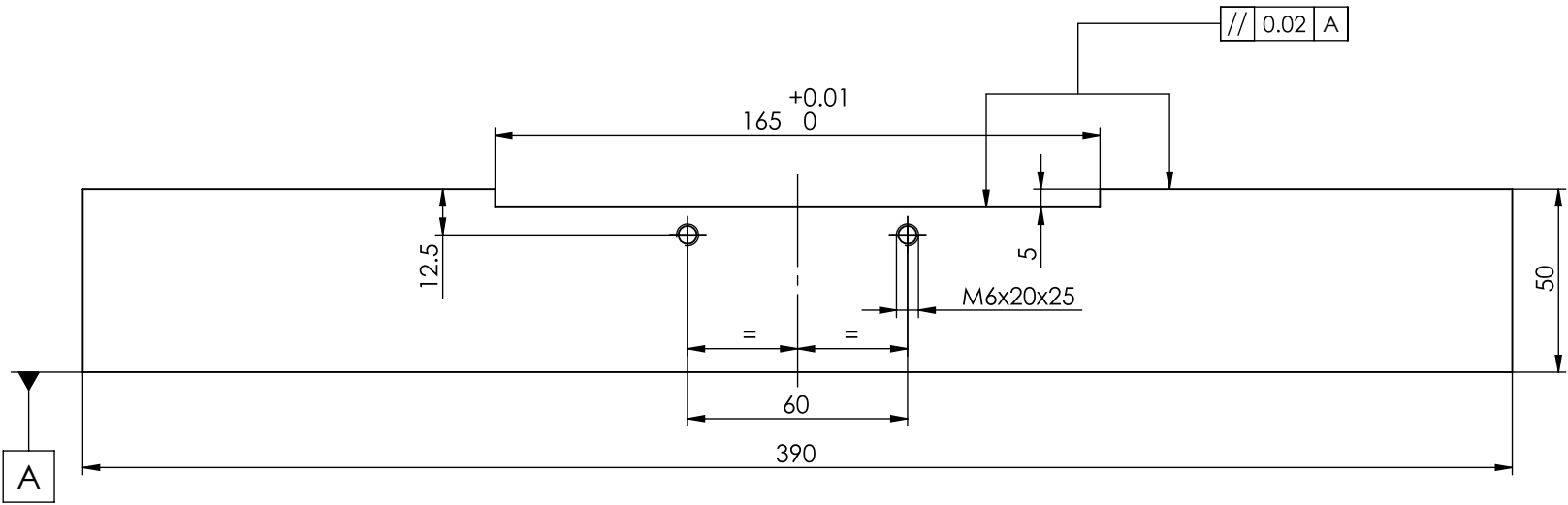
				Masa: 213.656 kg		Razmera: 1:2	
Datum: 29.08.2016.				Naziv:			
Obrazlo: Stefan Ilie				Sklopni crtež progresivnog			
Crtao:				alata u gornjem položaju			
(oseb. u SPIS)							
Overtio:							
Fakultet inženjerskih				Oznaka:			
nauka u Kragujevcu				List:			
St i	Ime i	Datum	Ime	Ime i	Datum	Ime	

51	Opruga 2.5x0.4x70	Fibro/Hennlich	4
50	Izbacivač 2x40	Fibro (naručuje se)	4
49	Zavrtanj M6x16		2
48	Oluk za gotove delove		1
47	Sklop kružnog probojca L=119 mm (6)	Fibro (naručuje se)	2
46	Sklop kružnog probojca L=110 mm (1)	Fibro (naručuje se)	2
45	Gornji oblikač za prvo savijanje (4)		2
44	Donji oblikač za prvo savijanje (4)		1
43	Podloška 8.4x17x3	Fibro 244.10.8.4.17.03	6
42	FibroFlex 32x50	Fibro 246.6.032.050	6
41	Podloška za FibroFlex $\varnothing$ 32	Fibro 244.6.032	6
40	Odstojnik 13x63	Fibro 244.9.32.063	6
39	Pritezač lima		2
38	Limena traka		1
37	Čep	Fibro 211.12.50.030	1
36	Zavrtanj M6x16x13; (8.8)	Fibro 2192.10.06.016	4
35	Zavrtanj M10x55x32; (8.8)	Fibro 2192.10.10.055	12
34	Zavrtanj M8x70x28; (12.9)	Fibro 2192.12.08.070	13
33	Zavrtanj M8x80x28; (8.8)	Fibro 2192.10.08.080	4
32	Vodeća navrtka	Fibro 2081.85.030	8
31	Zavrtanj M6x30x27; (8.8)	Fibro 2192.10.06.030	4
30	Zavrtanj M8x55x28; (8.8)	Fibro 2192.10.08.055	4
29	Zavrtanj M6x25x25.3; (8.8)	Fibro 2192.20.06.025	8
28	Zavrtanj M8x35x31; (8.8)	Fibro 2192.10.08.035	8
27	Zavrtanj M8x60x28; (8.8)	Fibro 2192.10.08.060	8
26	Zavrtanj M6x70x24; (8.8)	Fibro 2192.10.06.070	12
25	Pilot	Fibro (naručuje se)	5
24	Pritisna ploča		1
23	Čivija 6x36	Fibro 235.1.0600.036	2
22	Čivija 6x28	Fibro 235.1.0600.032	2
21	Čivija 8x50	Fibro 235.1.0800.050	6
20	Čivija 8x80	Fibro 235.1.0800.080	8
19	Podmetač		2
18	Gornji odstojnik		4
17	Vođica alata	Fibro 2021.29.030.180	4
16	Donji odstojnik		4
15	Vodeća ploča		1
14	Međuploča		1
13	Noseća ploča		1
12	Profilni probojac (2, 3)		2
11	Sklop koračnog noža (1)		2
10	Ploča za vođenje lima		1
9	Rezna ploča (1, 2, 3)		1
8	Gornji oblikač za drugo savijanje (5)		2
7	Profilni probojac (6, 7)		1
6	Desna vodeća ploča		1
5	Leva vodeća ploča		1
4	Rezna ploča (6, 7)		1
3	Donji oblikač za drugo savijanje (5)		1
2	Gornja ploča		1
1	Osnovna ploča		1
Redni broj	Naziv dela	Napomene	Količina
Obradio:		Naziv:	Sastavnica
Stefan Ilić		Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu	

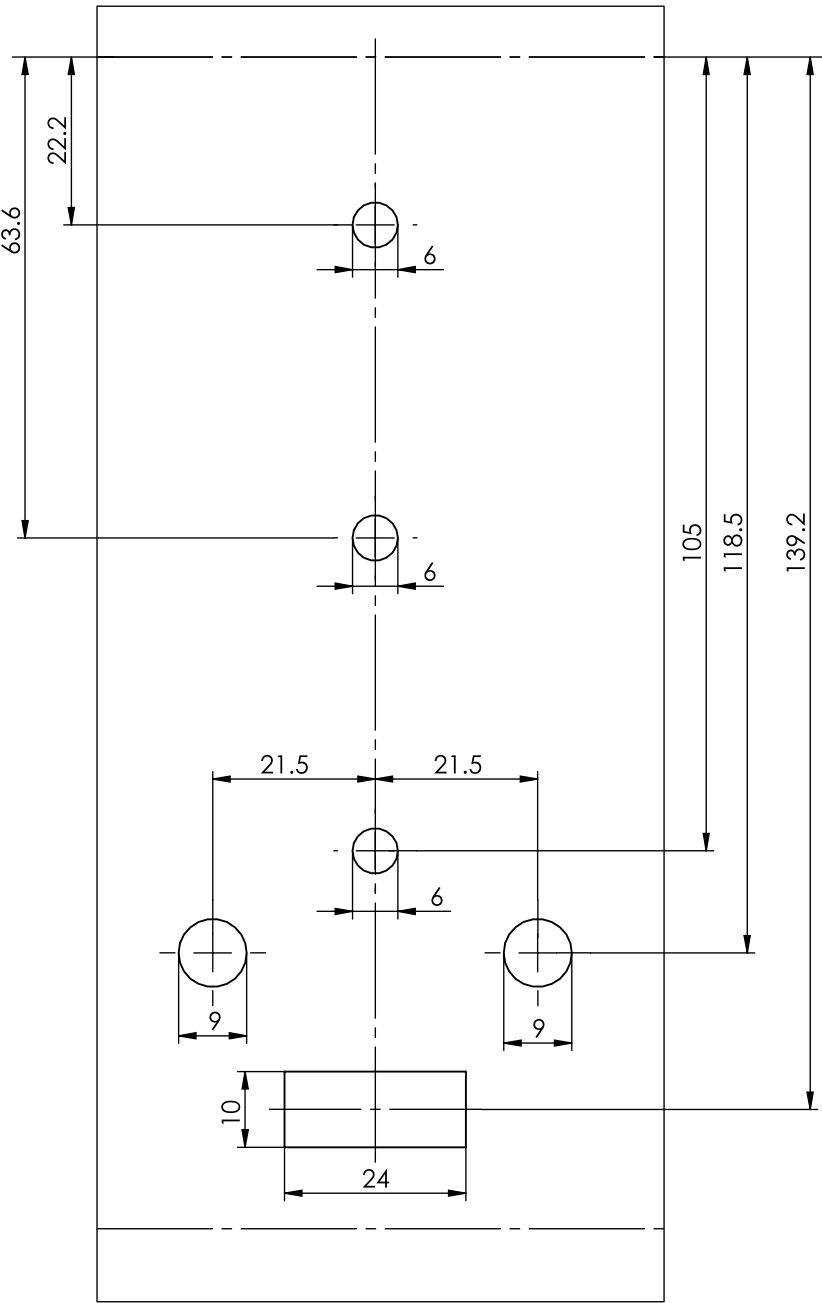
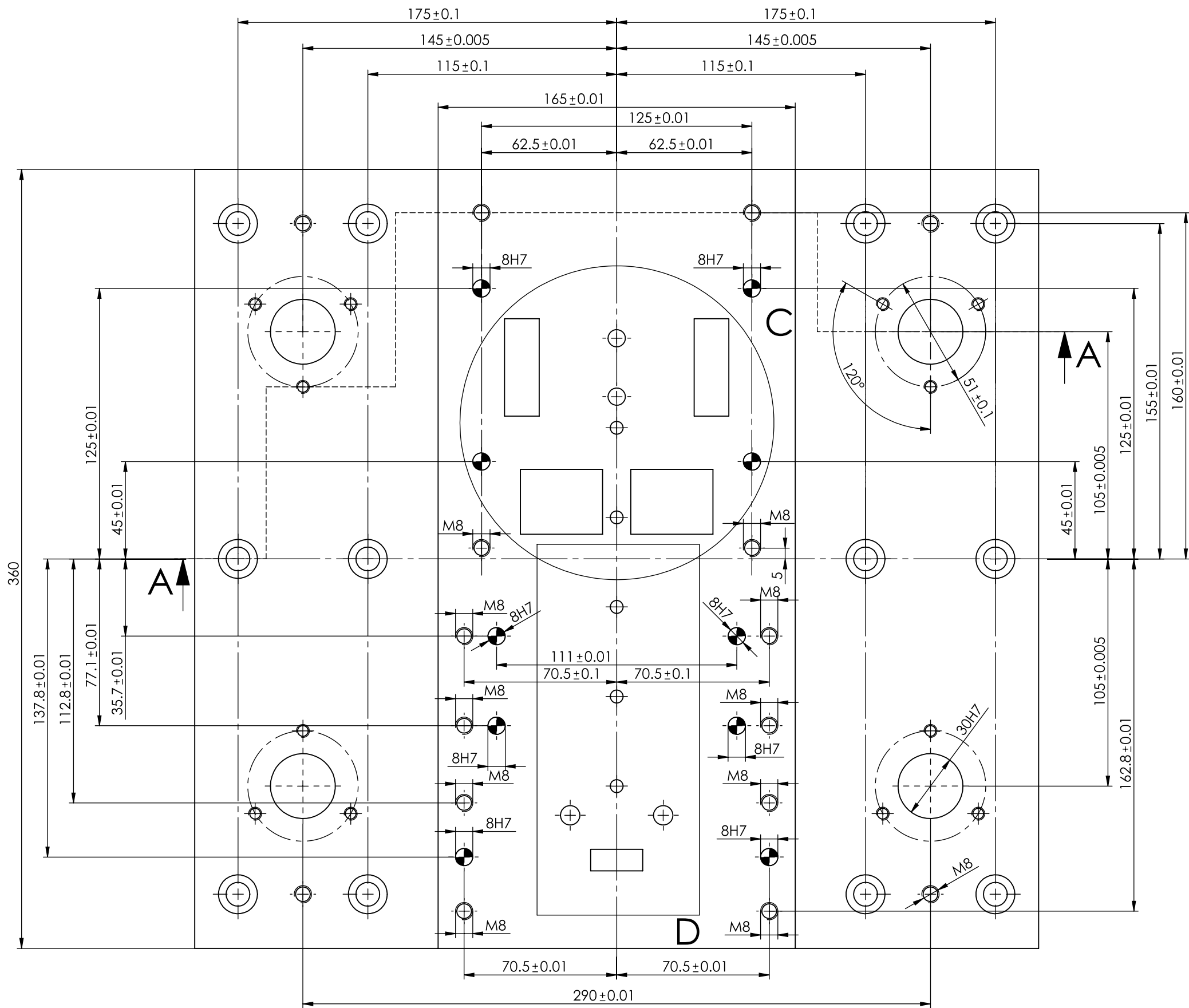
8H7	+0.015 0
30H7	+0.021 0



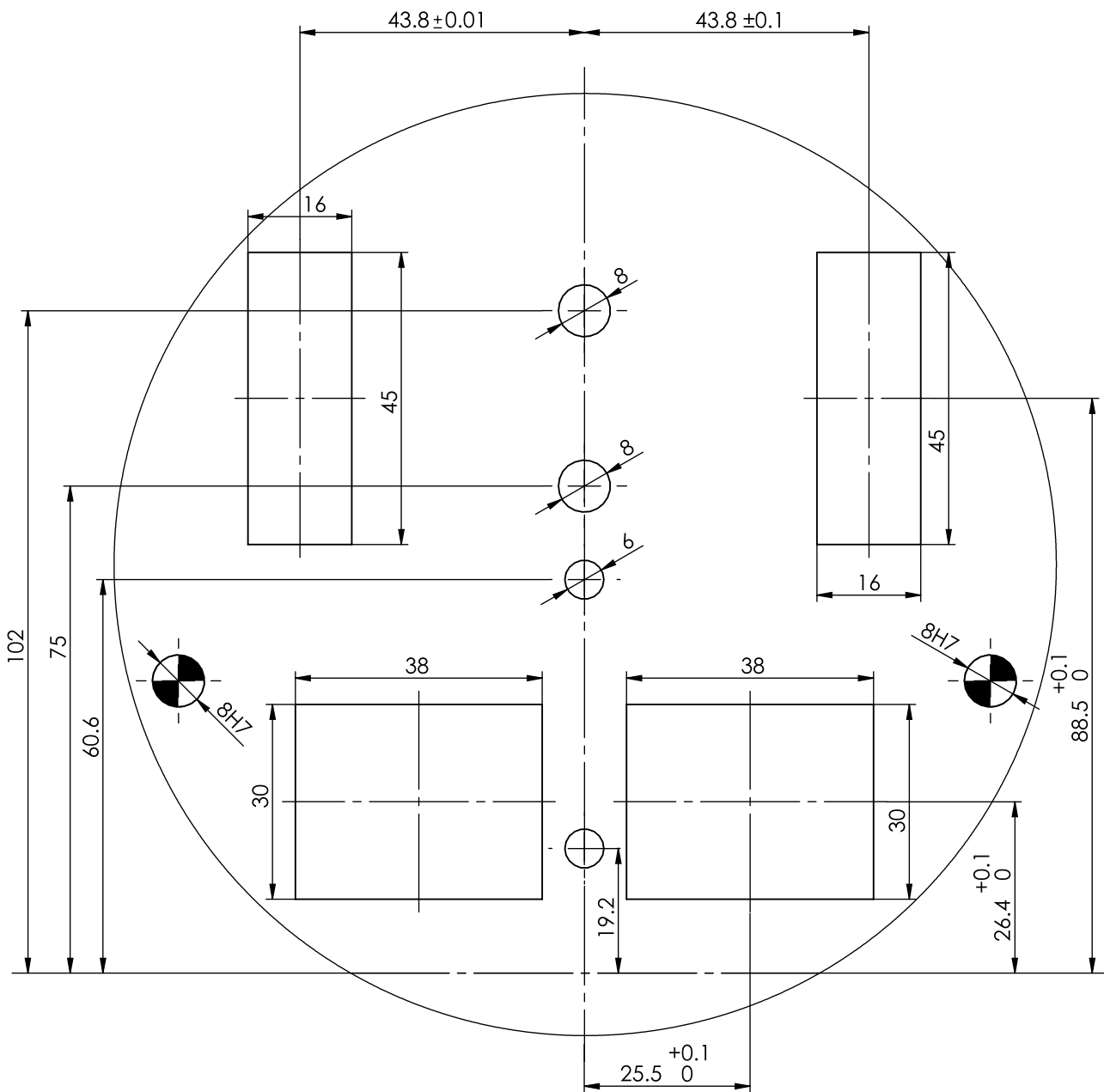
Presek A-A



Pogled B
Razmera 1:5



Detalj D
Razmera 1:1

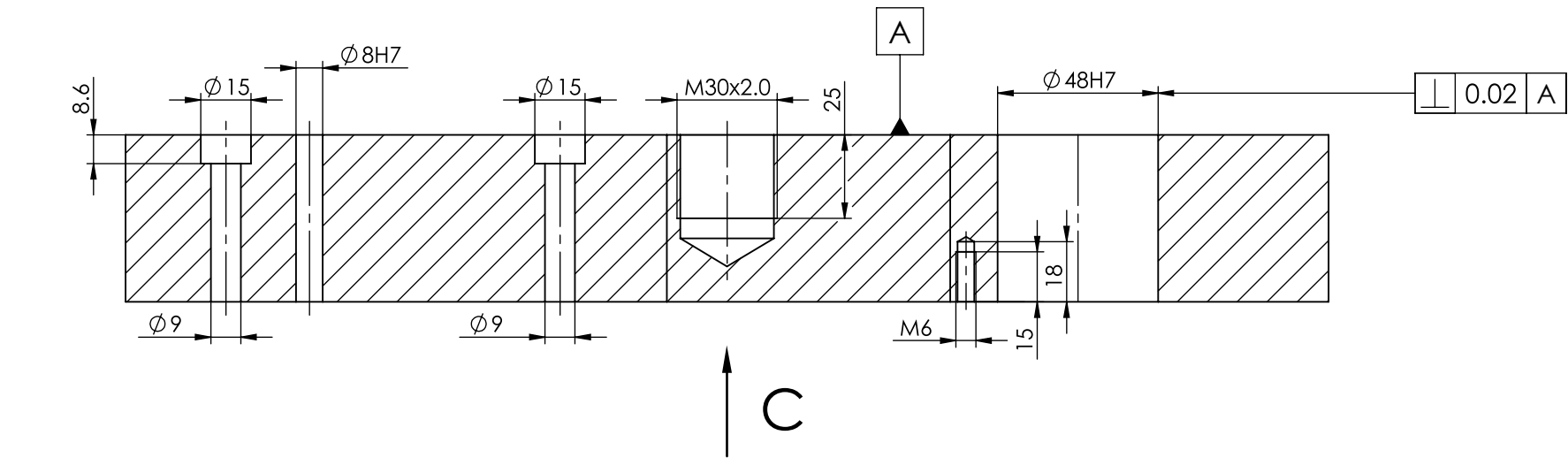


Detalj C
Razmera 1:1

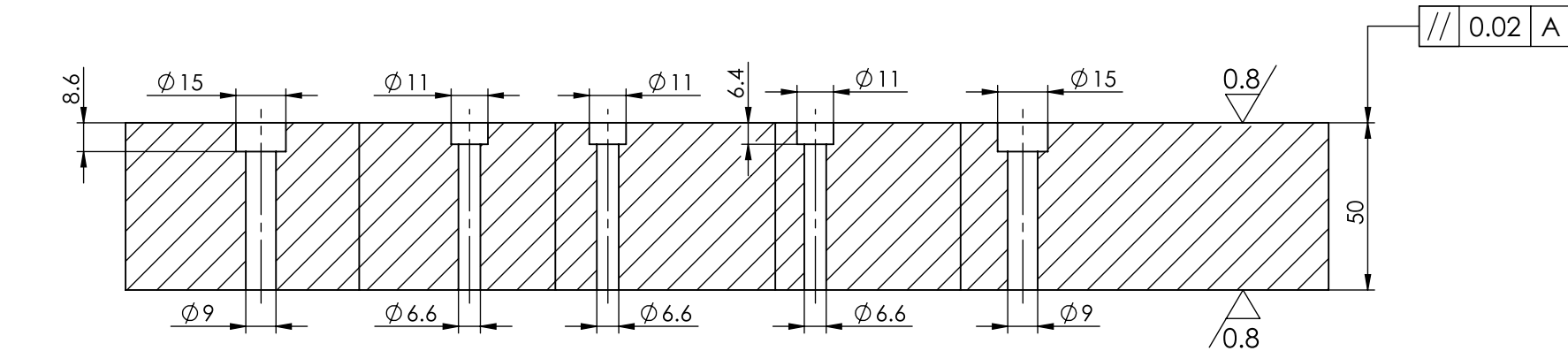
Napomena: Sve konture su otvori (osim rupe M6). Na mestima gde je potrebno narezati navoj, navoj se reže celom dubinom otvora.

Tolerancije slobodnih mera:		Površinska hrapavost		Površinska zaštita:	
Materijal: Č0361		Terminski rok:		Terminski rok:	
Broj delova u sklopu: 1		Datum: 29.08.2016.		Pozicija u sklopu: 1	
		Obradio: Stefan Ilić		Masa: 48.797 kg	
		Crtao:		Razmera: 1:2	
		Uključio: SRPS		Naziv:	
		Overio:		Oznaka:	
		Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu		Alat za obradu lima	
St. i.	Izmene	Datum	Ime	Izv. pod.	Zamena za:

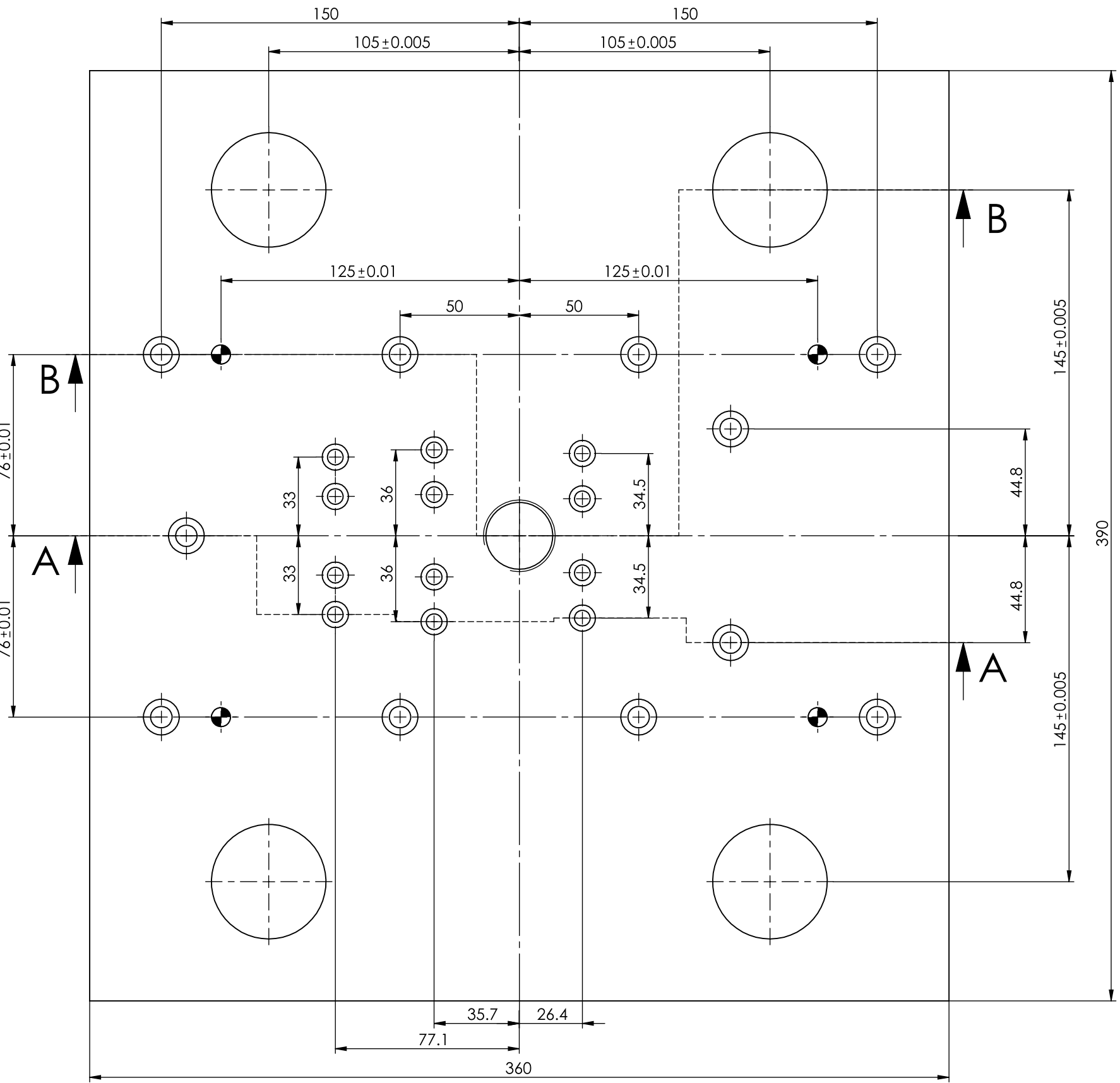
8H7	+0.015 0
48H7	+0.039 0



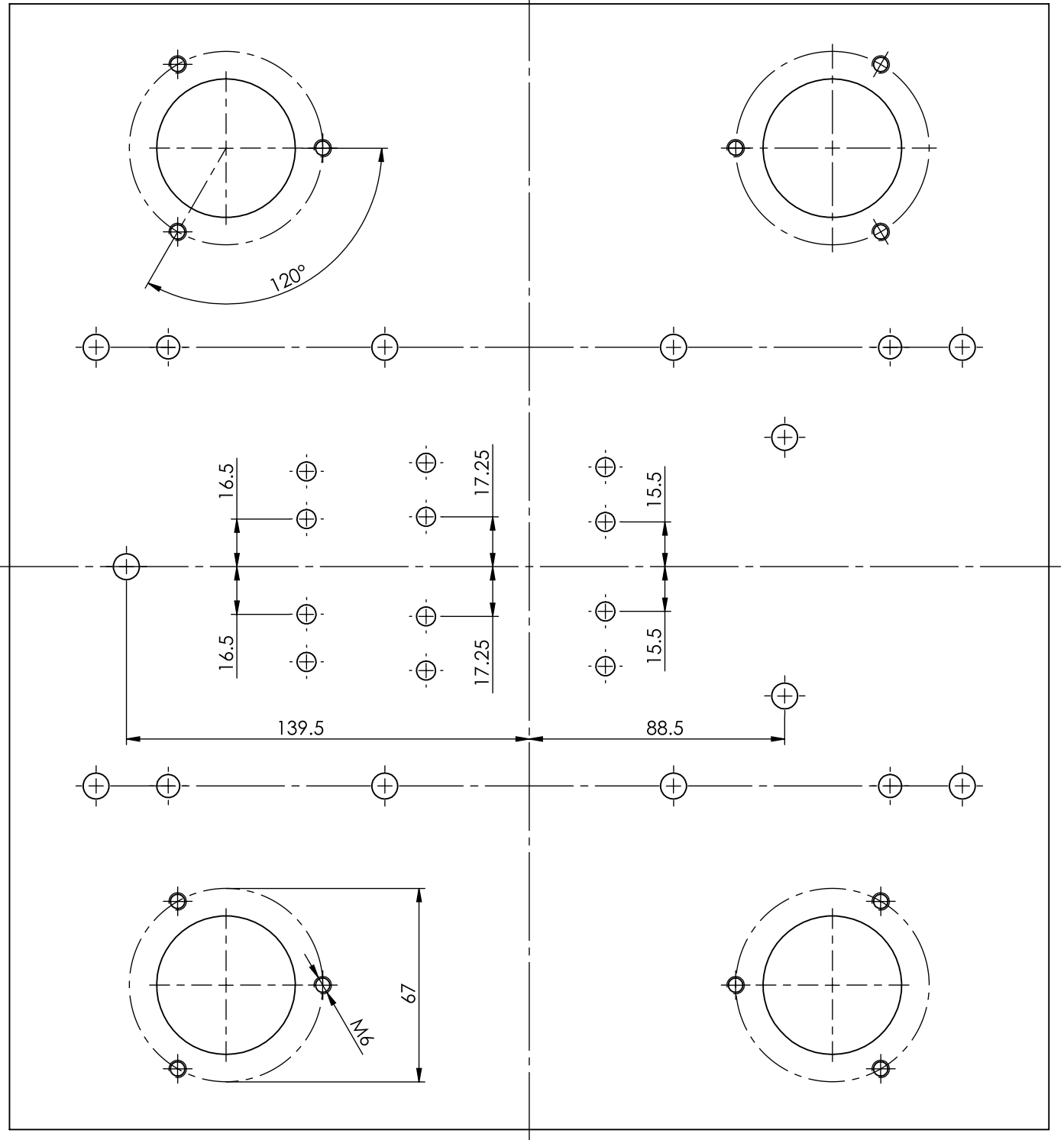
Presek B-B



Presek A-A



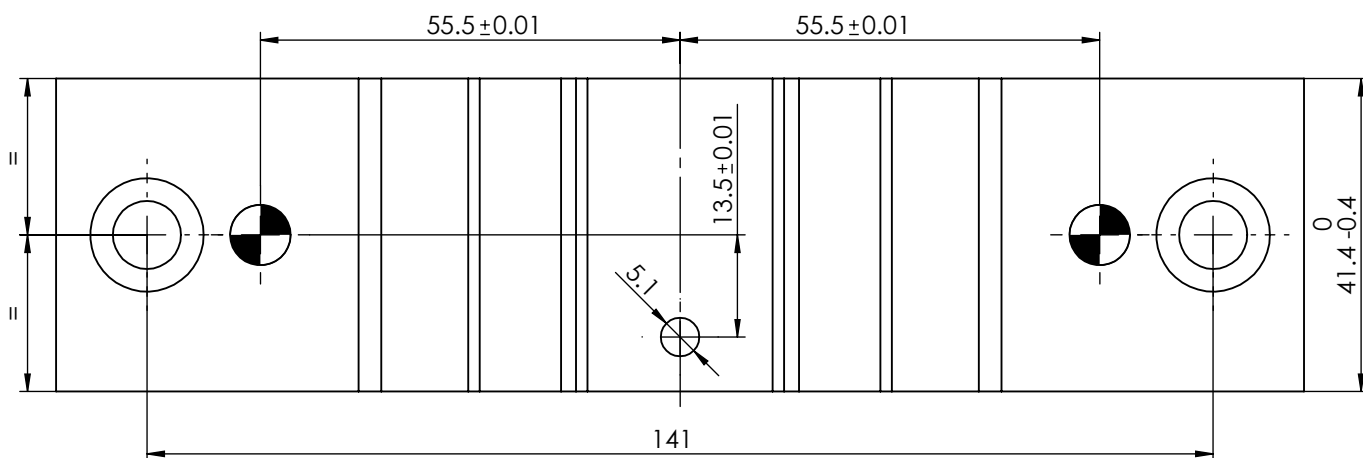
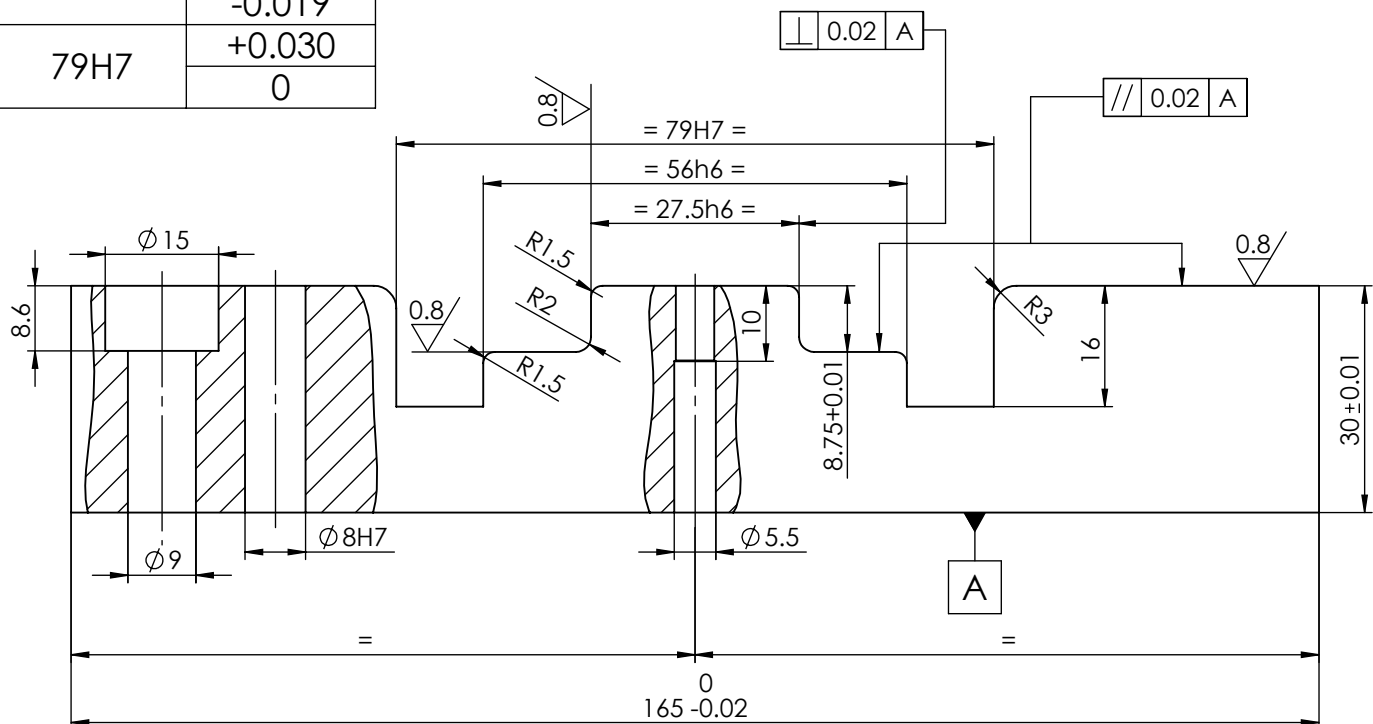
Pogled C



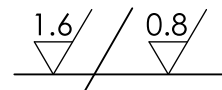
1.6/ 0.8/

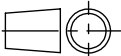
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost				Površinska zaštita:			
Materijal: Č 1530 (Č0361)				Termička obrada:				Naziv: Gornja ploča			
Broj delova u sklopu: 1				Pozicija u sklopu: 2				Razmera: 1:2			
Datum: 29.08.2016.				Obradio: Stefan Ilić				Izv. pod.			
Crtao				Overio				Zamena za:			
Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Alat za obradu lima				List: L			
St. i.	Izmene	Datum	Ime								

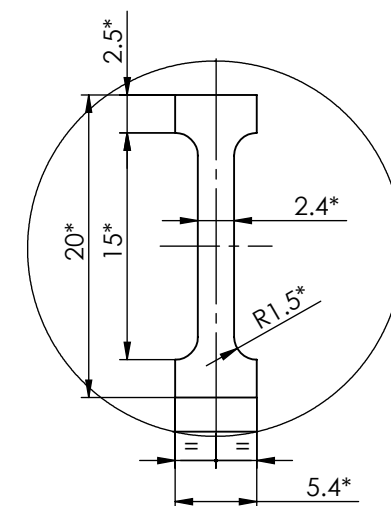
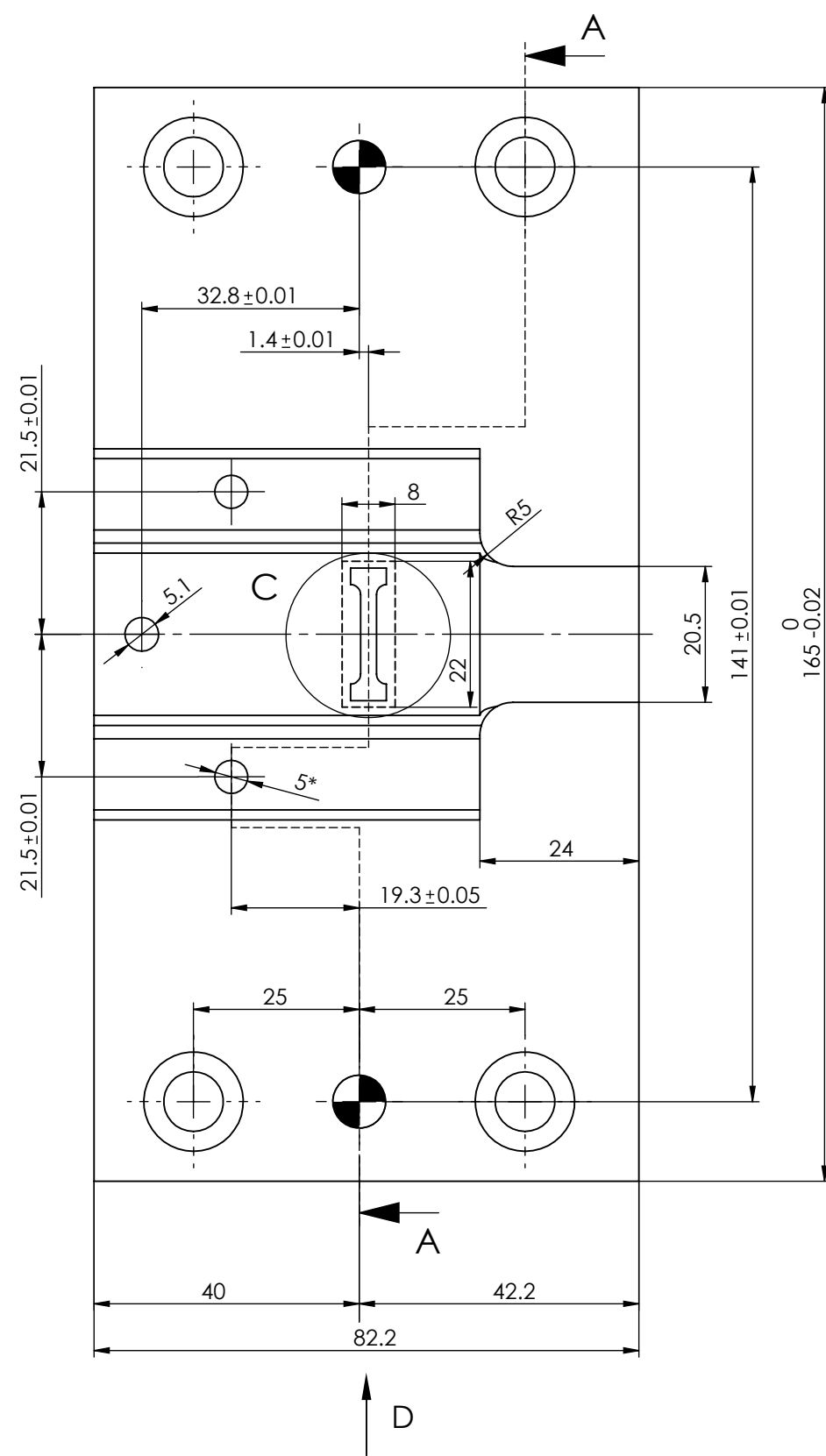
8H7	+0.015
	0
27.5h6	0
	-0.013
56h6	0
	-0.019
79H7	+0.030
	0



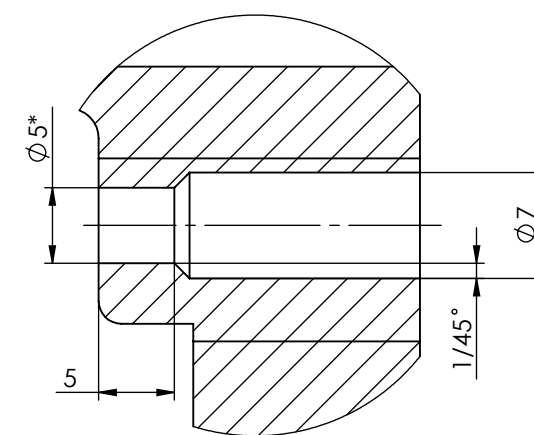
Radijuse R1.5, R2 i R3 tolerisati sa ± 0.05



Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:					
Materijal: Č3840								Termička obrada: HRC 59-60					
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 3		Masa: 1.314 kg		Razmera: 1:1	
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Donji oblikač za drugo savijanje (5)					
				Obradio	Stefan Ilić								
				Crtao									
				Uskl.sa. SRPS									
				Overio									
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:	
								Alat za obradu lima				L	
St. i.	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.		Zamena za:			



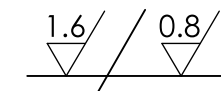
Detalj C
Razmera 2:1



Detalj B
Razmera 2:1

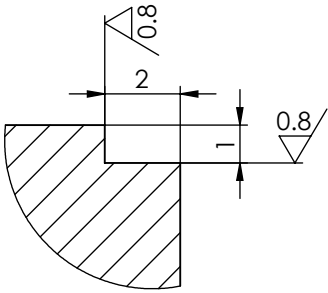
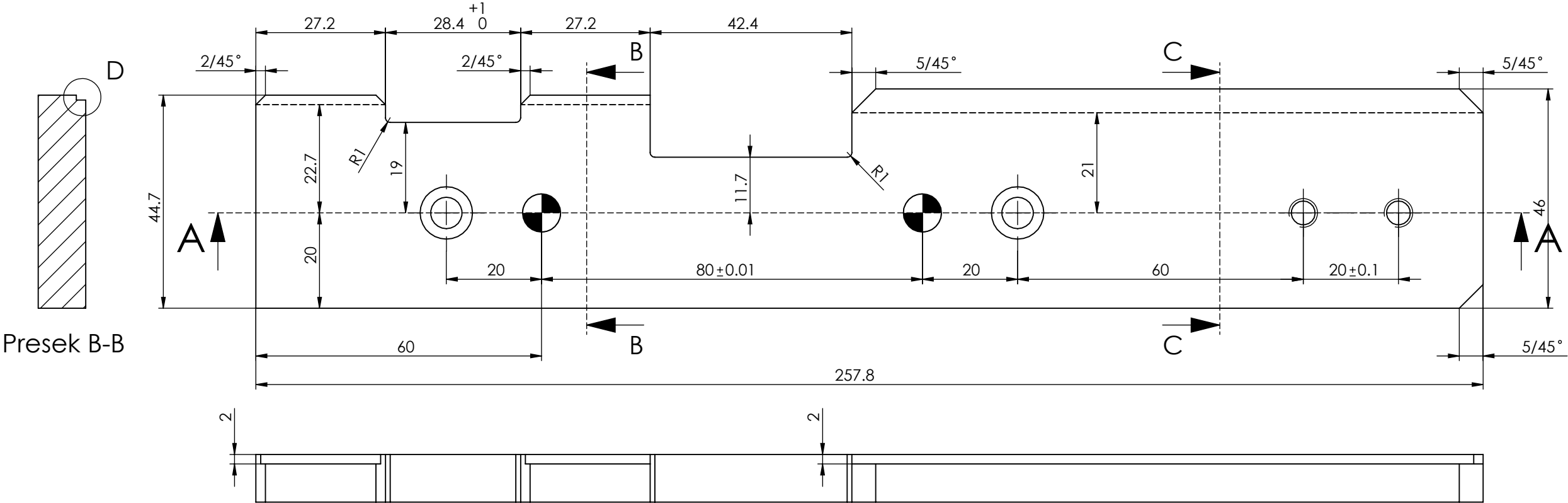
8H7	+0.015
	0
27h7	0
	-0.021
56h6	0
	-0.030

* Tolerancije +0.12

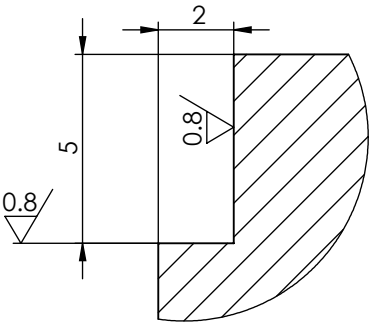


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:						
Materijal: Č4850								Termička obrada: 55 HRC						
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 4		Masa: 1.758 kg		Razmera: 1:1		
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Rezna ploča (6, 7)						
				Obradio	Stefan Ilić									
				Crtao										
				Uskl.sa. SRPS										
				Overio										
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu										Oznaka:
								Alat za obradu lima				L		
St. i.	Izмене			Datum	Ime		Izv. pod.				Zamena za:			

8H7	+0.015
	0



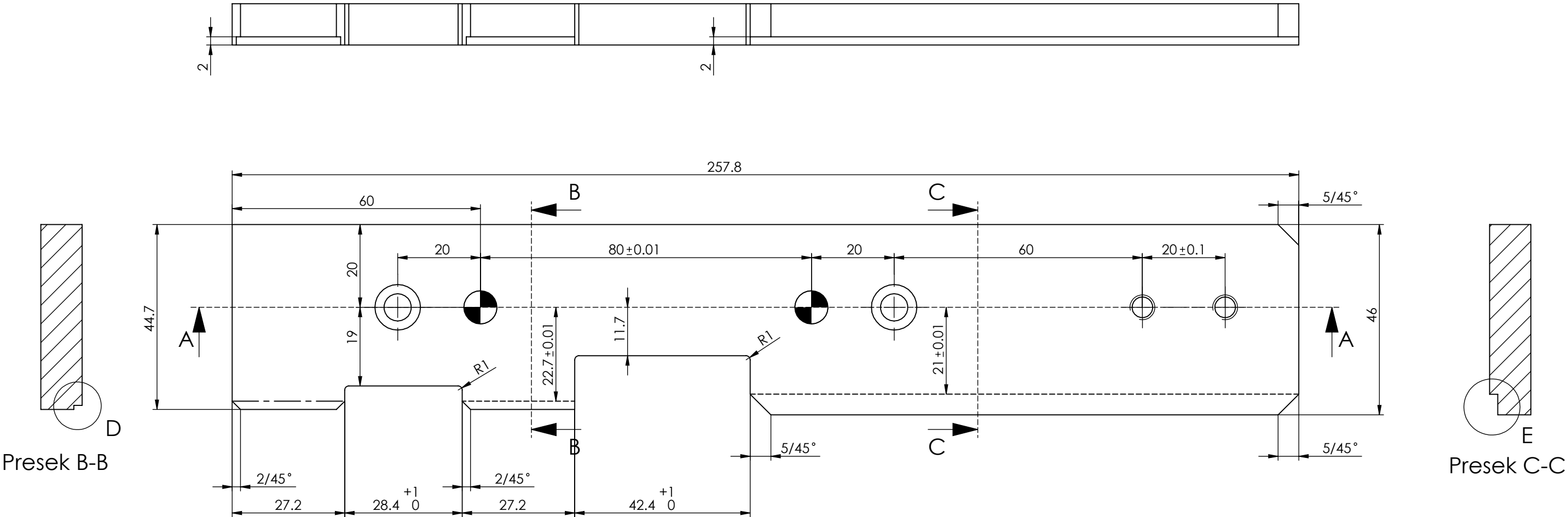
Detalj D
Razmera 5:1



Detalj E
Razmera 5:1

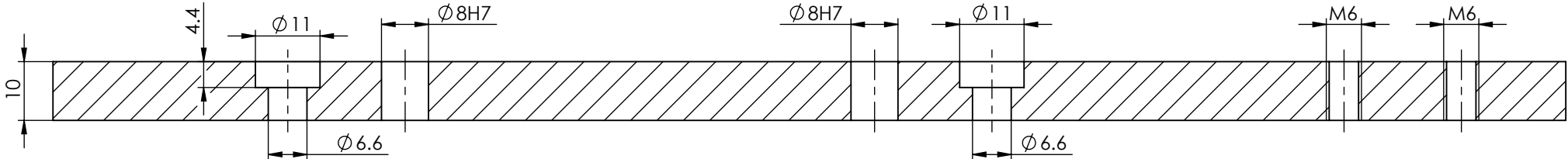
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:							
Materijal:				Č1730				Termička obrada:							
				Broj delova u sklopu:				5		Masa:		Razmera:			
				1				0.822 kg		1:1					
				Datum				29.08.2016.							
				Obradio				Stefan Ilić							
				Crtao											
				Uskl.sa. SRPS											
				Overio											
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Naziv:							
								Leva vodeća ploča							
St. i.				Izmene				Datum				Ime			
								Oznaka:				List:			
								Alat za obradu lima				L			
								Izv. pod.				Zamena za:			

8H7	+0.015
	0

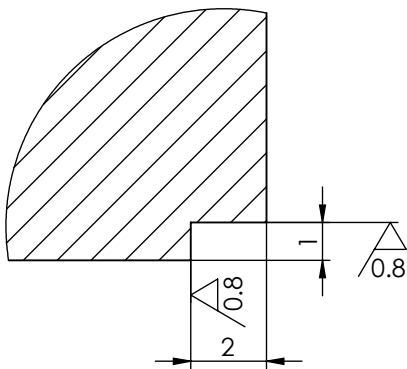
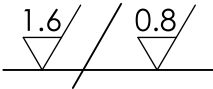


Presek B-B

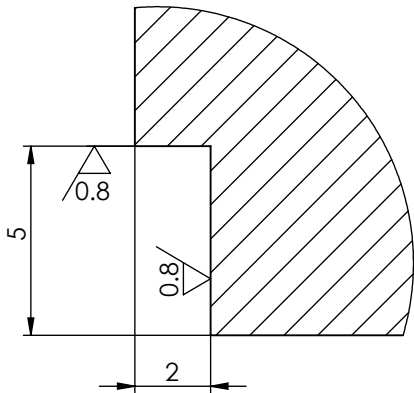
Presek C-C



Presek A-A

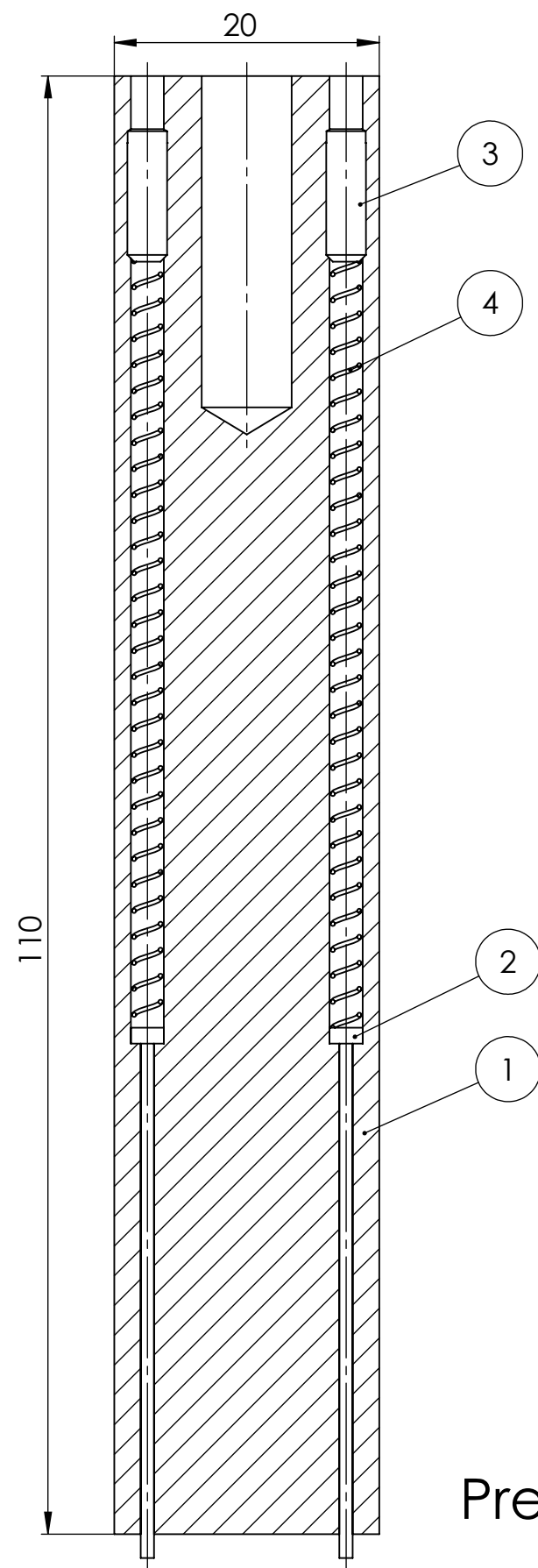


Detalj D
Razmera 5:1

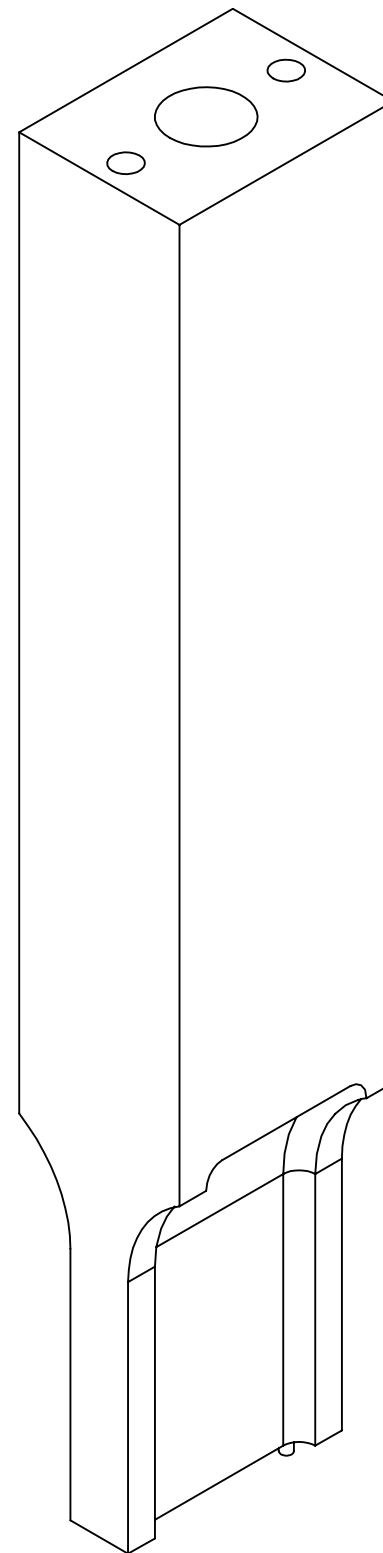
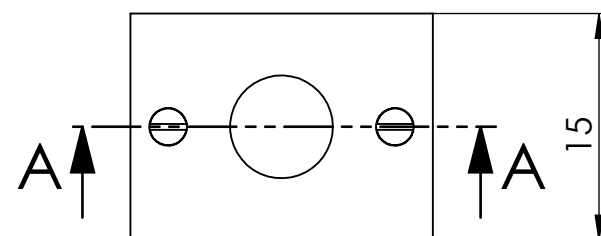


Detalj E
Razmera 5:1

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:											
Materijal: Č1730								Termička obrada: 30 HRC											
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 6		Masa: 0.822 kg		Razmera: 1:1							
				Datum	29.08.2016.				Naziv: Desna vodeća ploča										
				Obradio	Stefan Ilić														
				Crtao															
				Uskla. SRPS															
				Overio															
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka: Alat za obradu lima						List:					
														L					
St. i.	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.						Zamena za:					



Presek A-A

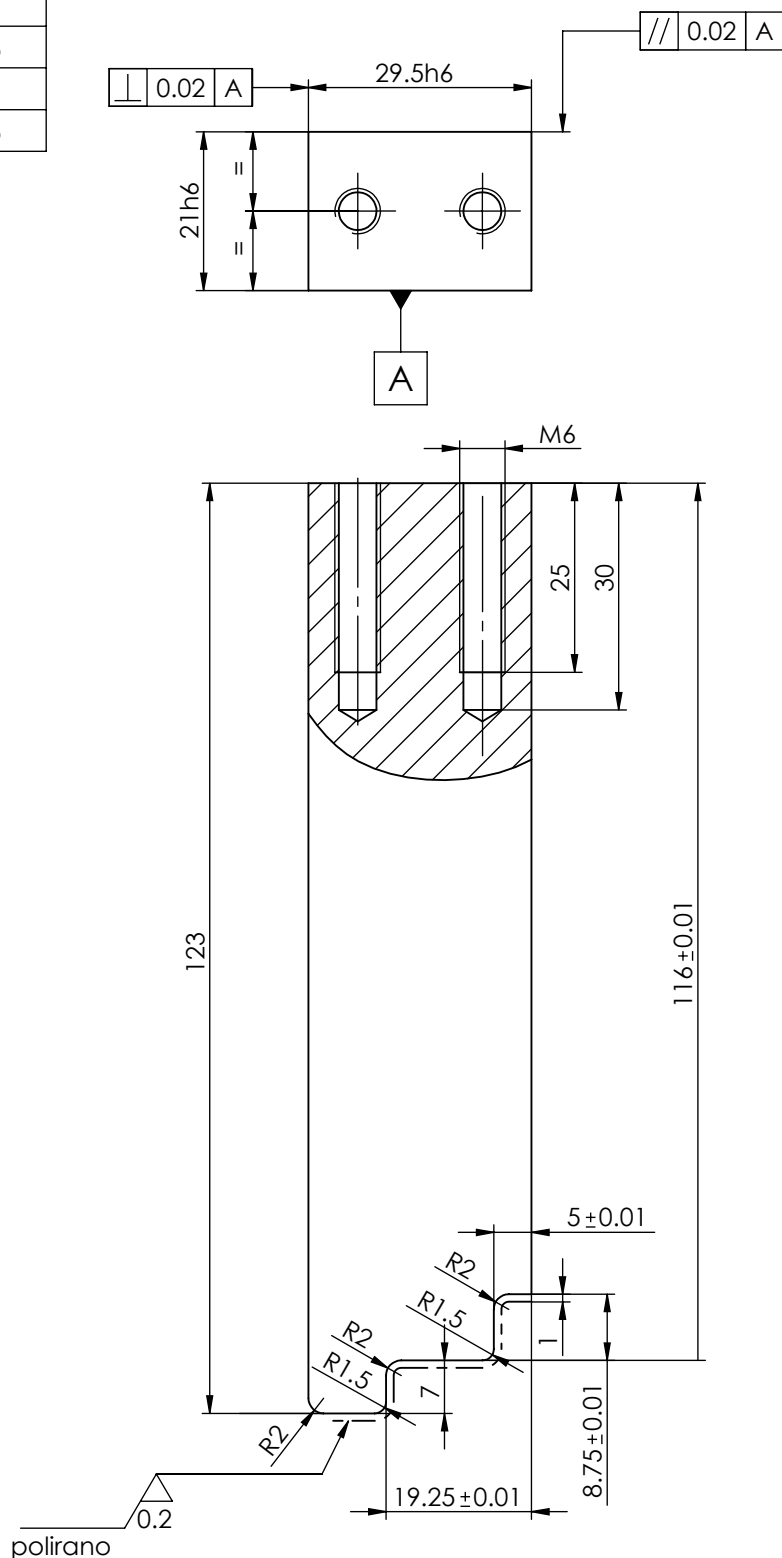


Preporučljivo je da po naružbini izradu ovog radnog organa izvrši nemačka kompanija Fibro.

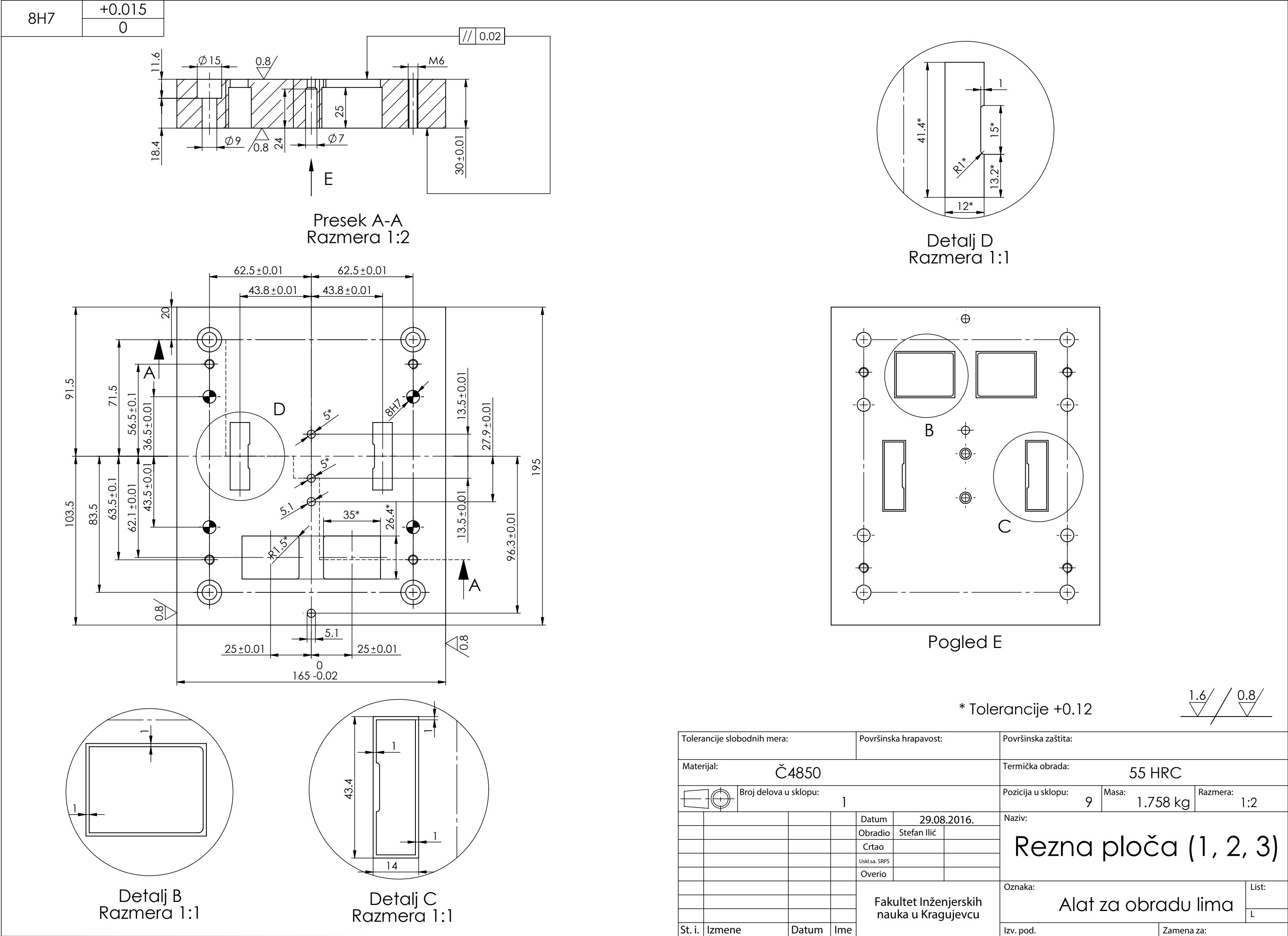
4	Opruga za finalni probojac	Fibro/Hennlich	2
3	Crvić M3 x 10-N		2
2	Izbacivač za profilni probojac (2, 3)	Fibro	2
1	Telo profilnog probojca (6, 7)	Fibro	1
Redni broj	Naziv komponente	Napomene	Količina

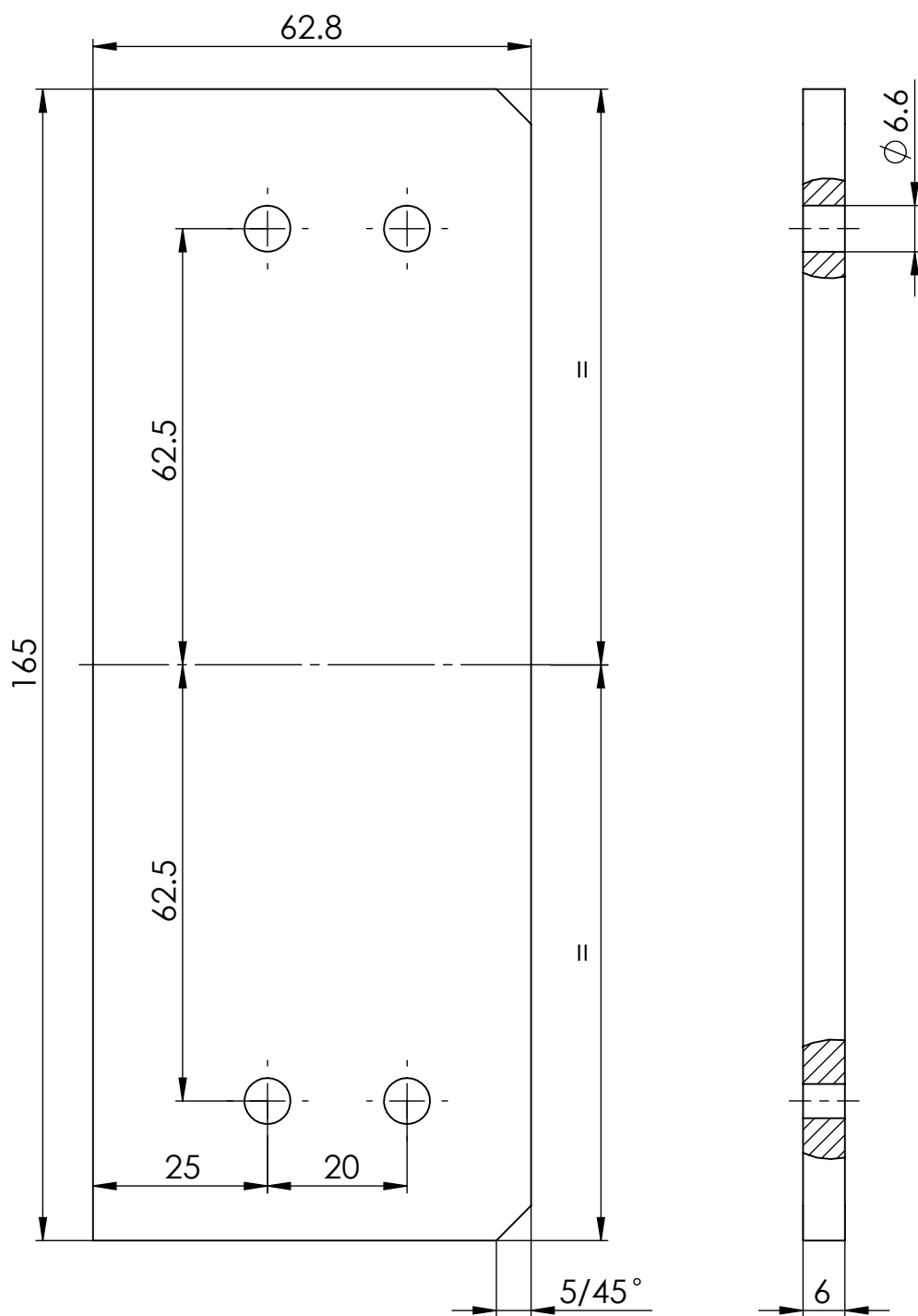
		Broj delova u sklopu: 1				Pozicija u sklopu: 7		Masa: 0.190 kg		Razmera: 1:2	
				Datum	29.08.2016.		Naziv: Sklop profilnog probojca (6, 7)				
				Obradio	Stefan Ilić						
				Crtao							
				Uskl.sa. SRPS							
				Overio							
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu			Oznaka:				List:
							Alat za obradu lima				L
St. i.	Izmene		Datum				Ime	Izv. pod.			

21h6	0
	-0.013
29.5h6	0
	-0.013

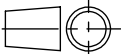


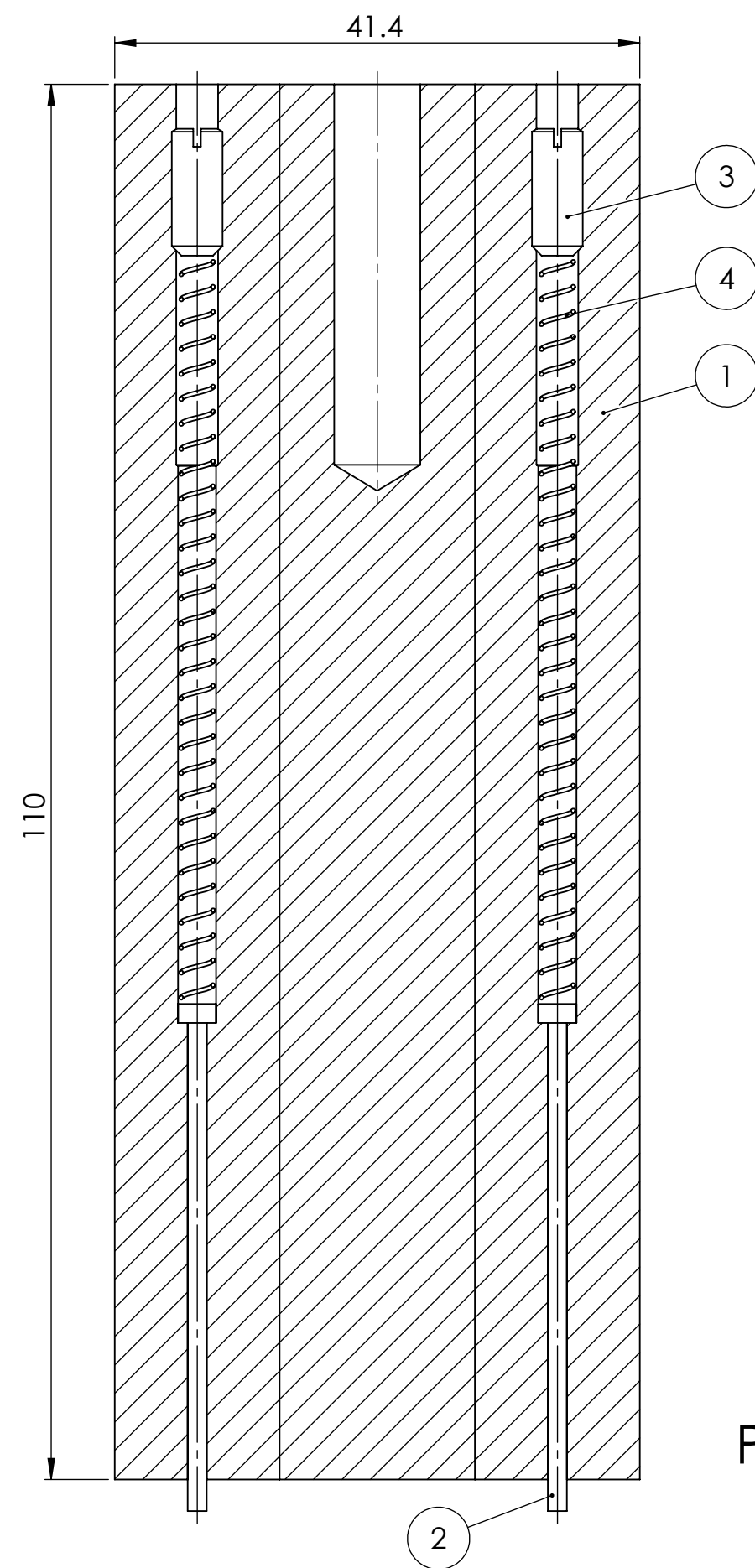
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:								
Materijal: Č3840								Termička obrada: 55 HRC								
		Broj delova u sklopu: 2						Pozicija u sklopu: 8		Masa: 0.551 kg		1:1				
				Datum	29.08.2016.				Naziv: Gornji oblikač za drugo savijanje (5)							
				Obradio	Stefan Ilić											
				Crtao												
				Uskl.sa. SRPS												
				Overio												
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu					Oznaka: Alat za obradu lima				List: L			
St. i.	Izmene			Datum	Ime					Izv. pod.		Zamena za:				



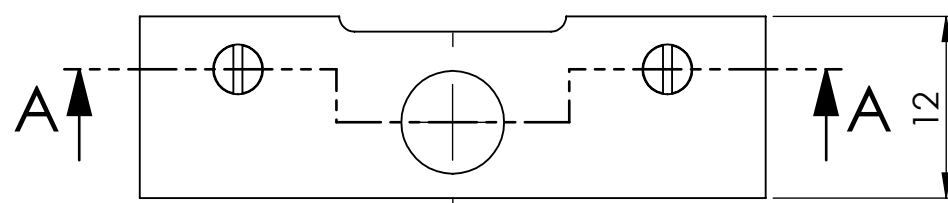


1.6/

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:						
Materijal: Č1730								Termička obrada:						
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 10		Masa: 0.477 kg		Razmera: 1:1		
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Ploča za vođenje lima						
				Obradio	Stefan Ilić									
				Crtao										
				Uskl.sa. SRPS										
				Overio										
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:		
								Alat za obradu lima				L		
St. i.	Izmene			Datum	Ime		Izv. pod.				Zamena za:			



Presek A-A

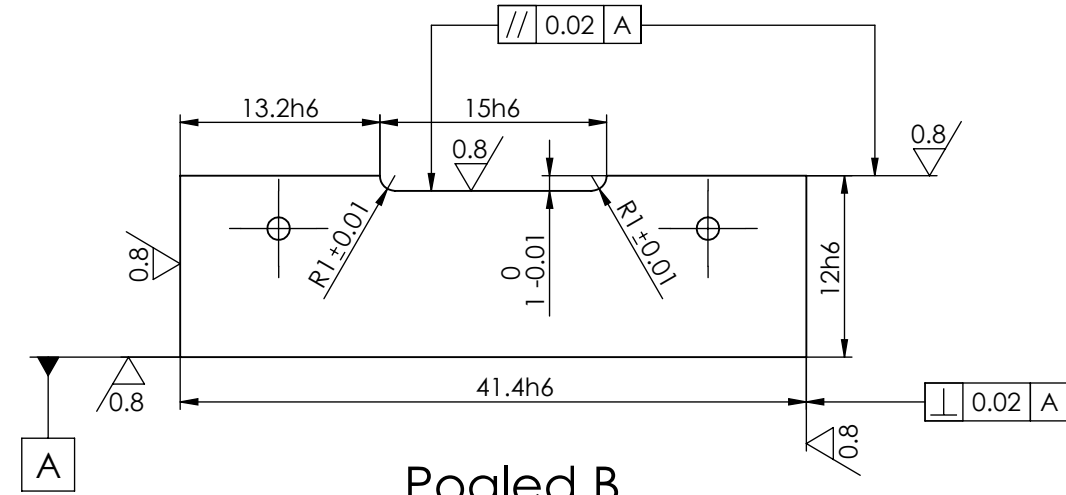
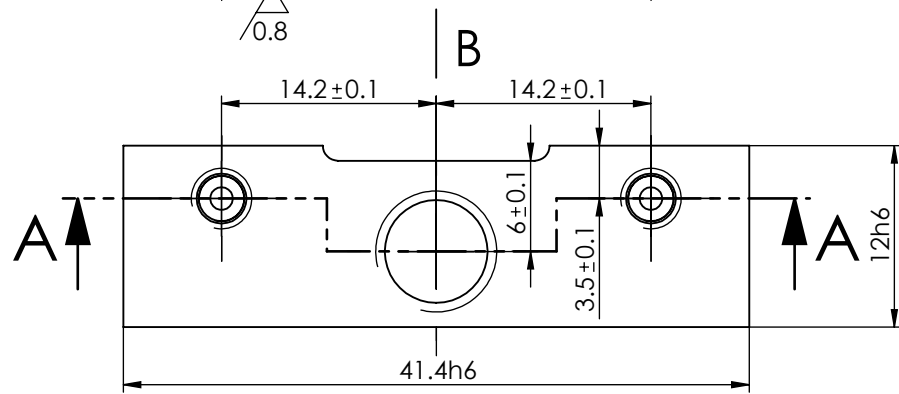
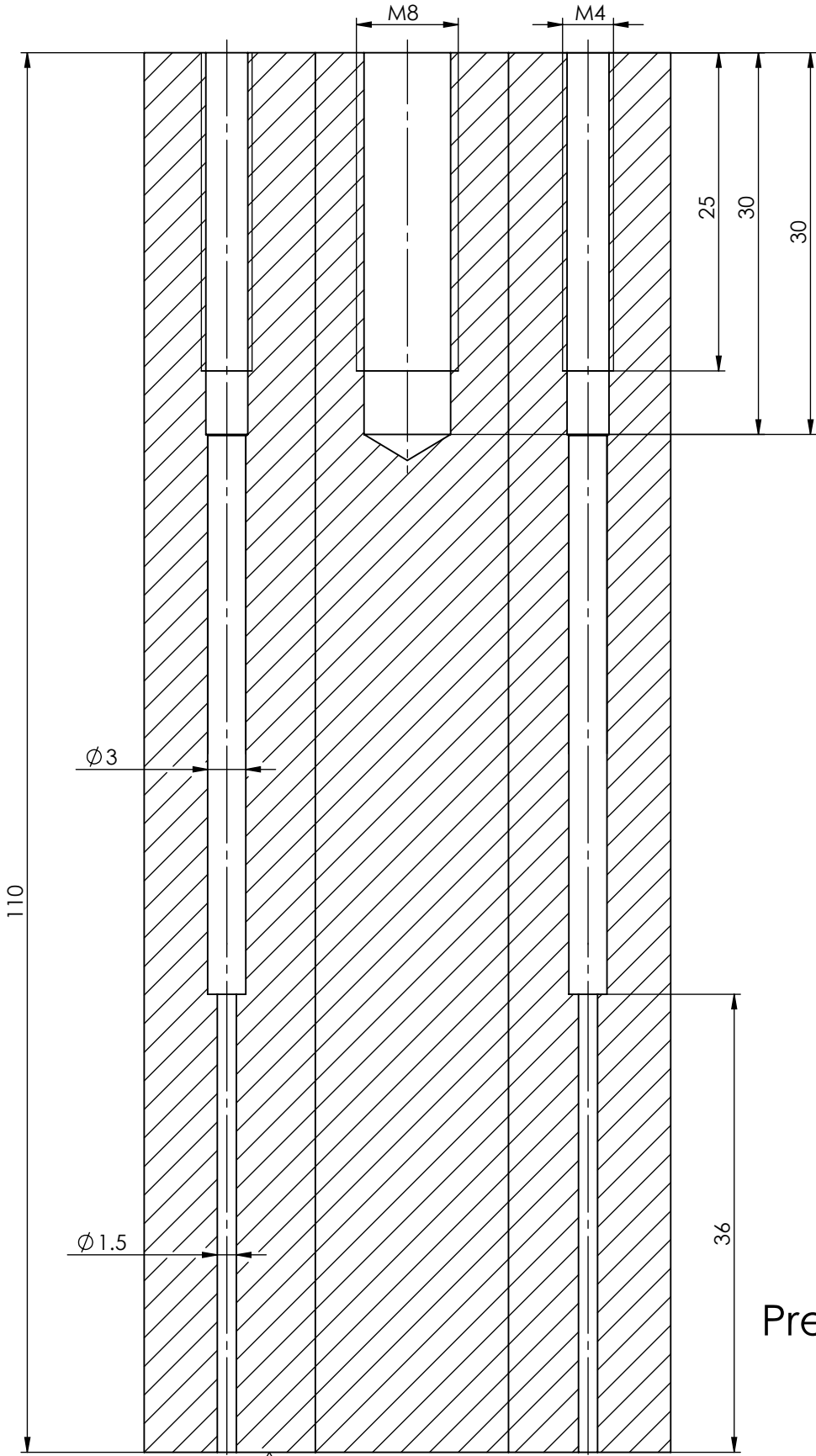


Preporučljivo je da po naružbini izradu ovog radnog organa izvrši nemačka kompanija Fibro.

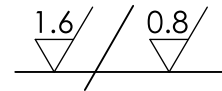
4	Opruga za koračni nož	Fibro	2
3	Crvić M4 x 10		2
2	Izbacivač za koračni nož	Fibro	2
1	Telo koračnog noža	Fibro	1
Redni broj	Naziv komponente	Standard	Količina

				Broj delova u sklopu: 2			Pozicija u sklopu: 11		Masa: 0.394 kg		Razmera: 1:2	
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Sklop koračnog noža (1)				
				Obradio	Stefan Ilić							
				Crtao								
				Uskl.sa. SRPS								
				Overio								
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu			Oznaka:				List:	
							Alat za obradu lima				L	
St. i.	Izmene		Datum	Ime	Izv. pod.				Zamena za:			

12h6	0
	-0.011
13.2h6	0
	-0.011
15h6	0
	-0.011
41.4h6	0
	-0.016

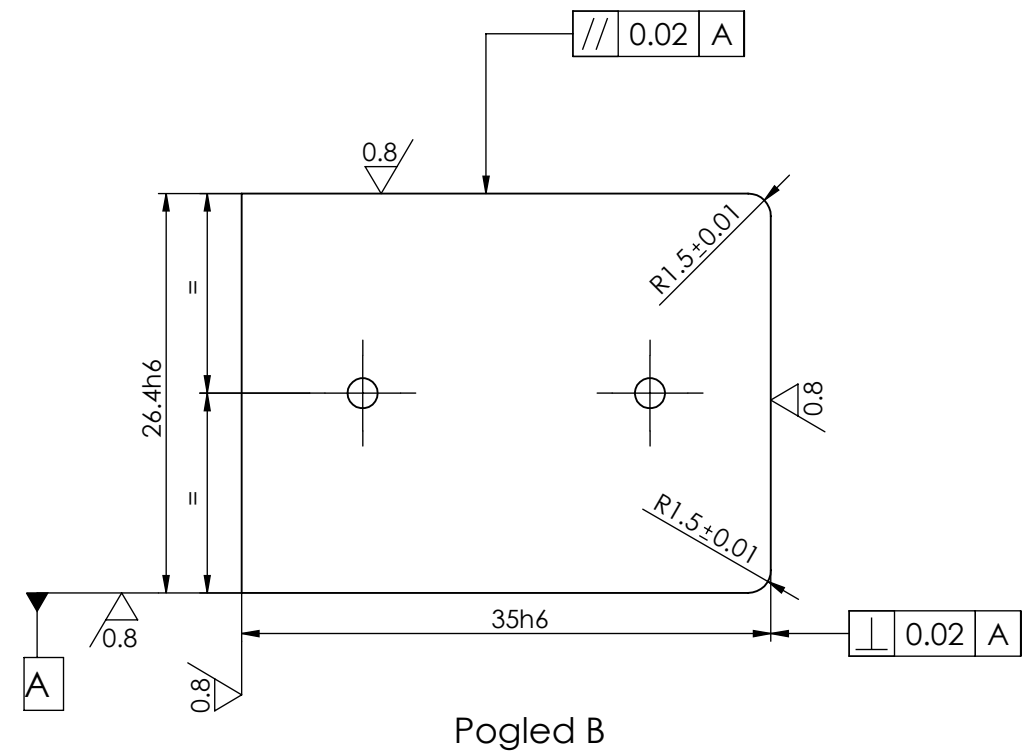
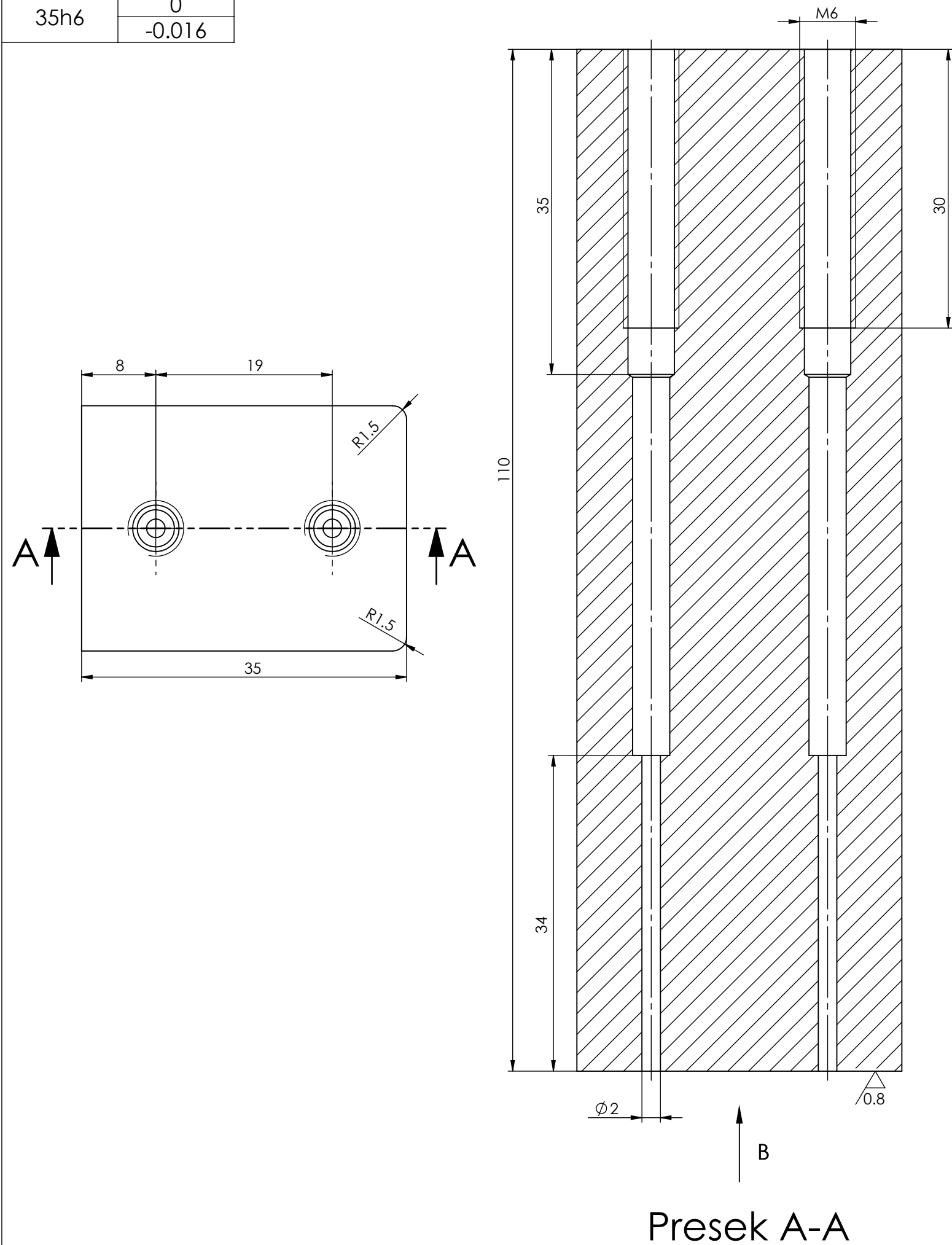


Pogled B

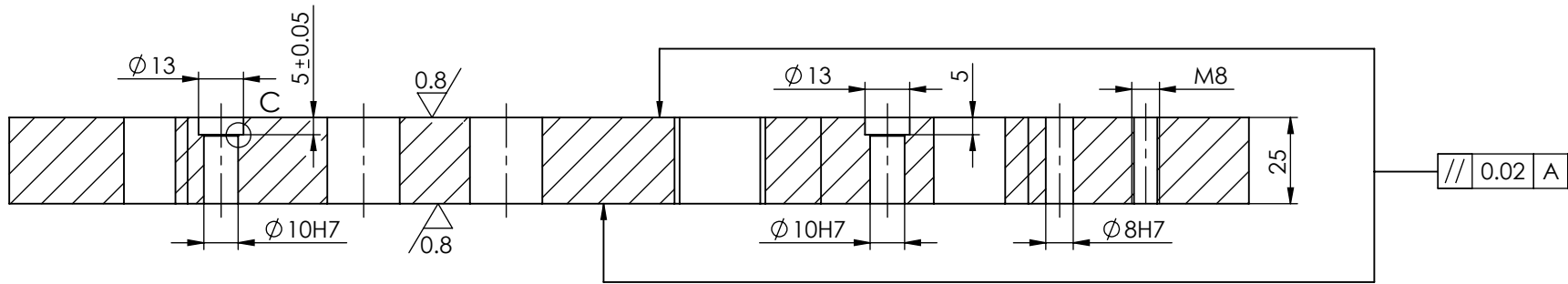


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:									
Materijal:				Č4850				Termička obrada:				60 HRC					
		Broj delova u sklopu:		1		Pozicija u sklopu:		1		Masa:		0.392 kg		Razmera:		1:1	
				Datum		29.08.2016.		Naziv: Telo koračnog noža									
				Obradio		Stefan Ilić											
				Crtao													
				Uskl.sa. SRPS													
				Overio													
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:					
								Sklop koračnog noža				L					
St. i.		Izmene		Datum		Ime		Izv. pod.				Zamena za:					

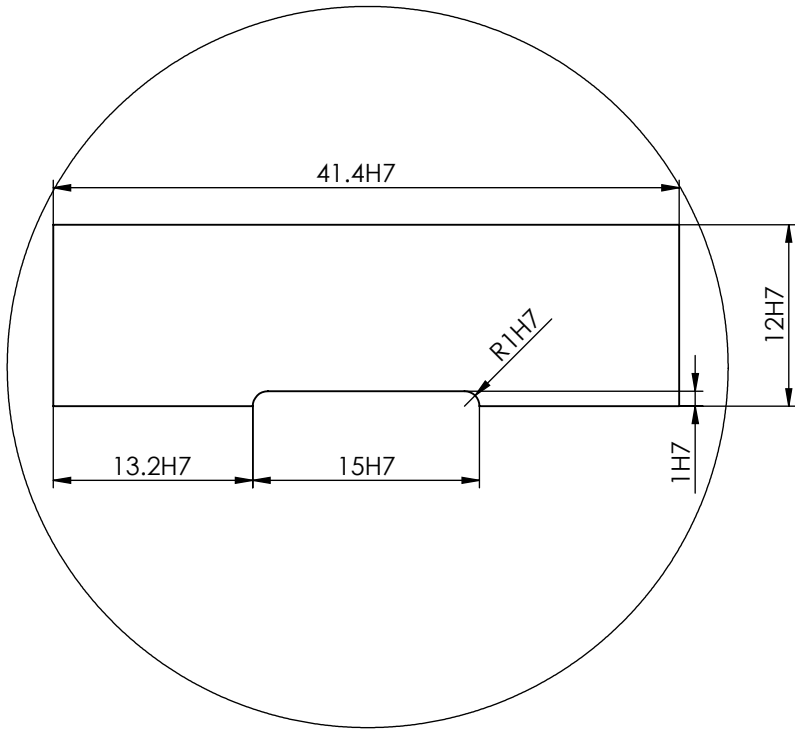
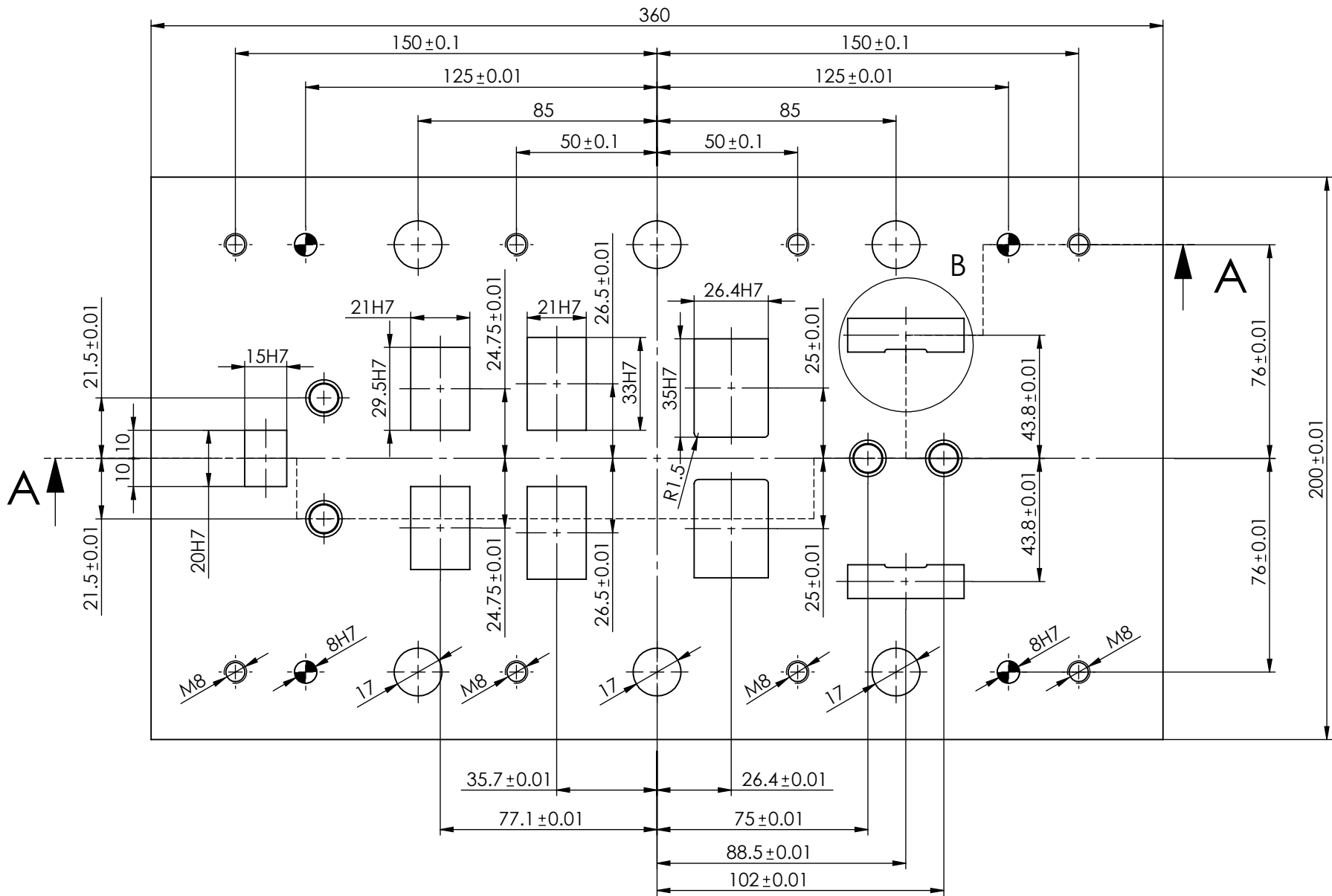
26.4h6	0
	-0.013
35h6	0
	-0.016



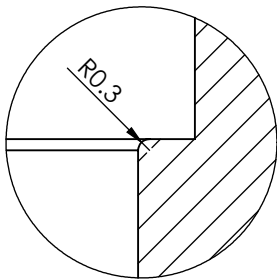
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:			
Materijal: Č4850				Termička obrada: 60 HRC				Naziv: Profilni probojac (2, 3)			
Broj delova u sklopu: 2				Pozicija u sklopu: 12				Masa: 0.766 kg			
Datum: 29.08.2016.				Obradio: Stefan Ilić				Razmera: 1:1			
Crtao:				Uskl.sa. SRPS:				Oznaka: Alat za obradu lima			
Overio:				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				List: L			
St. i.	Izmene	Datum	Ime	Izv. pod.				Zamena za:			



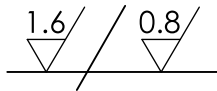
Presek A-A



Detalj B
Razmera 2:1



Detalj C
Razmera 5:1



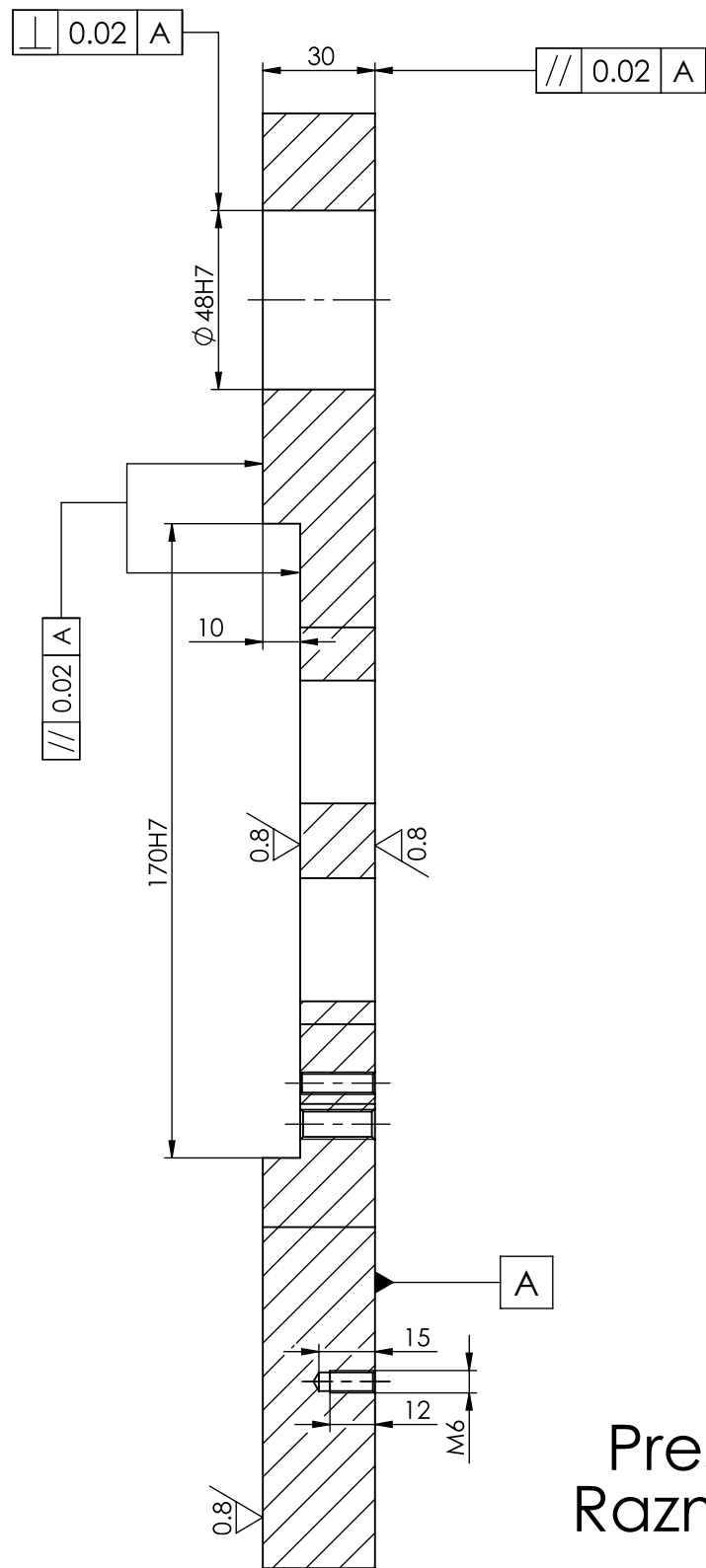
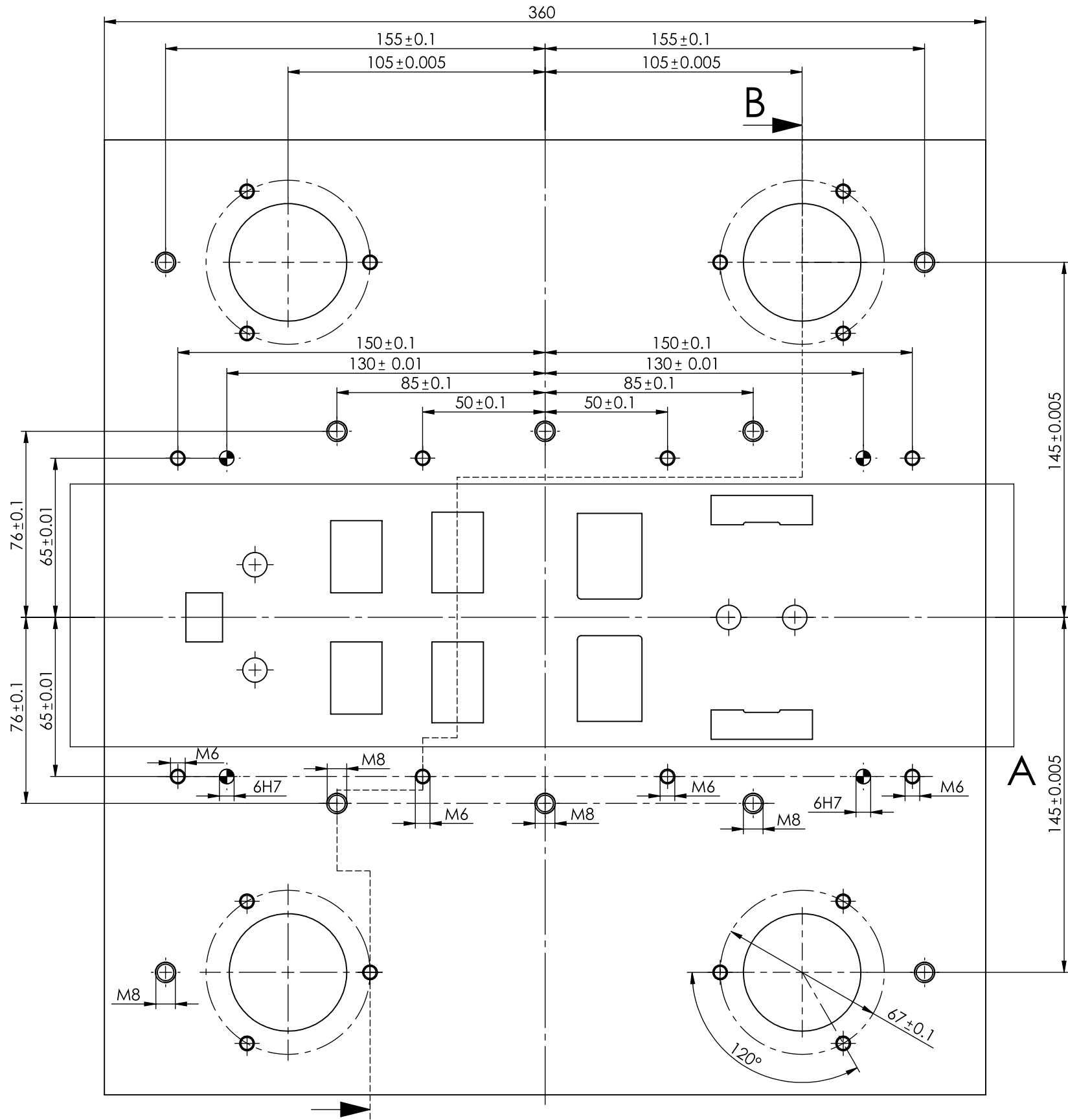
		13.2H7	+0.018 0	1H7	+0.010 0
29.5H7	+0.025 0	15H7	+0.018 0	8H7	+0.012 0
33H7	+0.025 0	20H7	+0.021 0	10H7	+0.015 0
35H7	+0.025 0	21H7	+0.021 0	12H7	+0.018 0
41.4H7	+0.025 0	26.4H7	+0.021 0	13H7	+0.018 0

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:							
Materijal: Č3134 (Č3136)								Termička obrada:							
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 13		Masa: 12.490 kg		Razmera: 1:2			
				Datum 29.08.2016.		Naziv: Noseća ploča									
				Obradio	Stefan Ilić										
				Crtao											
				Uskl.s.a. SRPS											
				Overio											
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu		Oznaka: Alat za obradu lima						List:			
												L			
St. i.		Izmene				Datum		Ime		Izv. pod.				Zamena za:	

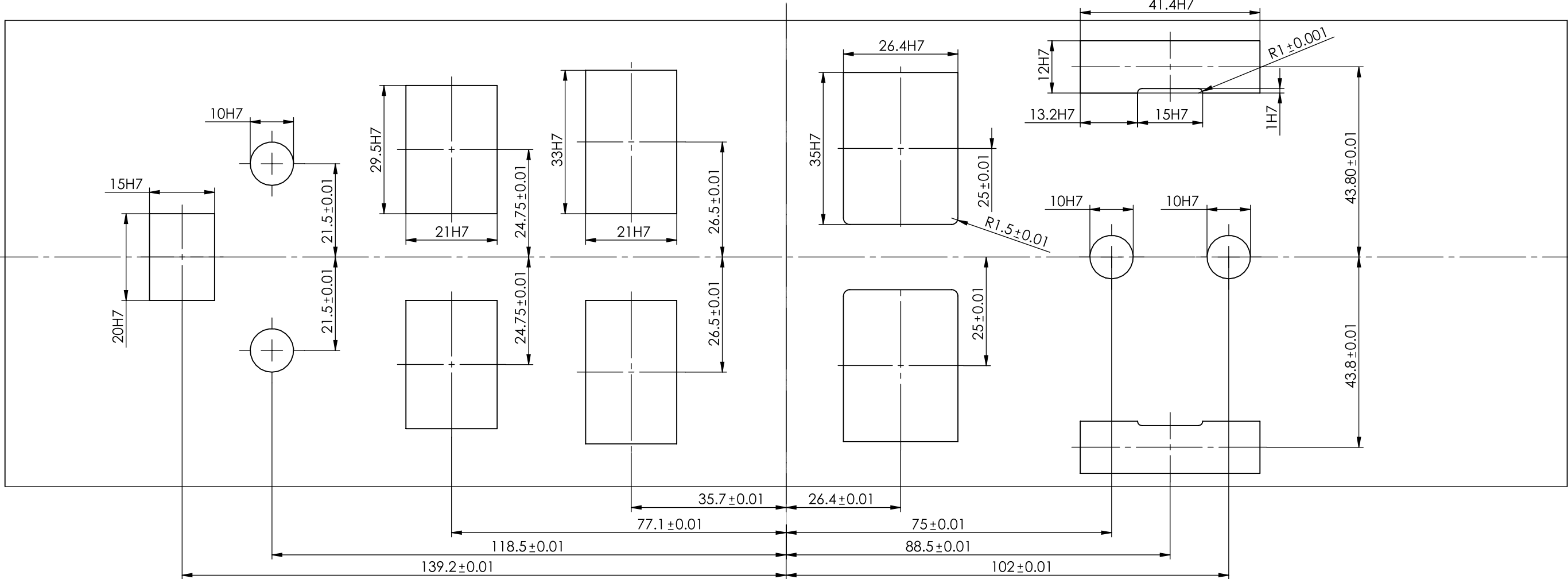


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:								
Materijal: Č3134 (Č3136)								Termička obrada: 55 HRC								
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 14		Masa: 0.822 kg		Razmera: 1:2				
				Datum	29.08.2016.				Naziv: Međuploča							
				Obradio	Stefan Ilić											
				Crtao												
				Uskl.sa. SRPS												
				Overio												
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka: Alat za obradu lima				List:				
												L				
St. i.	Izmene		Datum					Ime	Izv. pod.				Zamena za:			

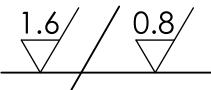
6H7	+0.012
	0
10H7	+0.015
	0
12H7	+0.018
	0
13H7	+0.018
	0
13.2H7	+0.018
	0
15H7	+0.018
	0
20H7	+0.021
	0
21H7	+0.021
	0
26.4H7	+0.021
	0
29.5H7	+0.021
	0
33H7	+0.025
	0
35H7	+0.025
	0
41.4H7	+0.025
	0
48H7	+0.025
	0
170H7	+0.040
	0



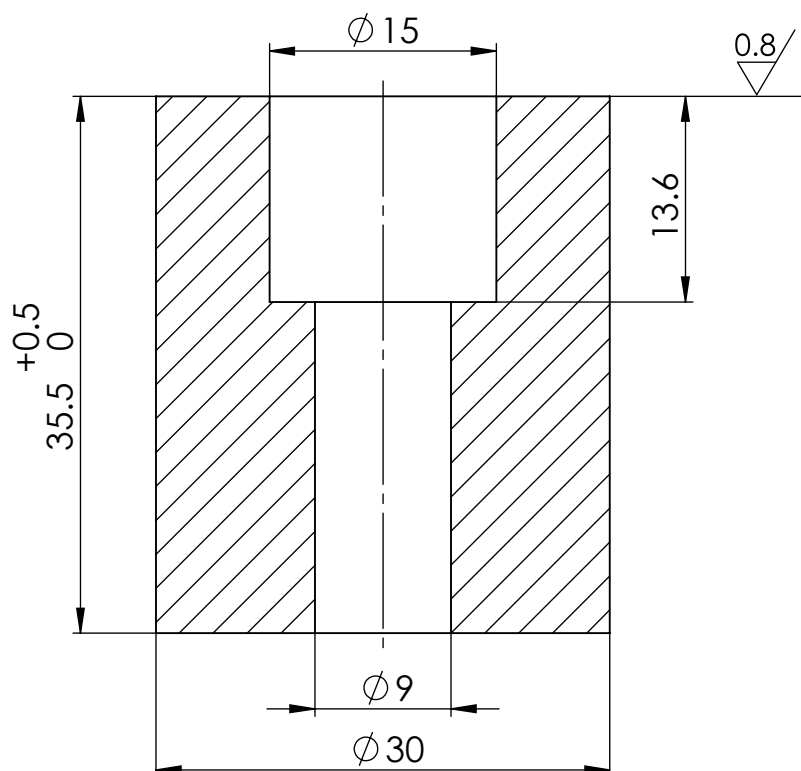
Presek B-B
Razmera 1:2



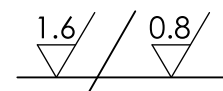
Detalj A
Razmera 1:1



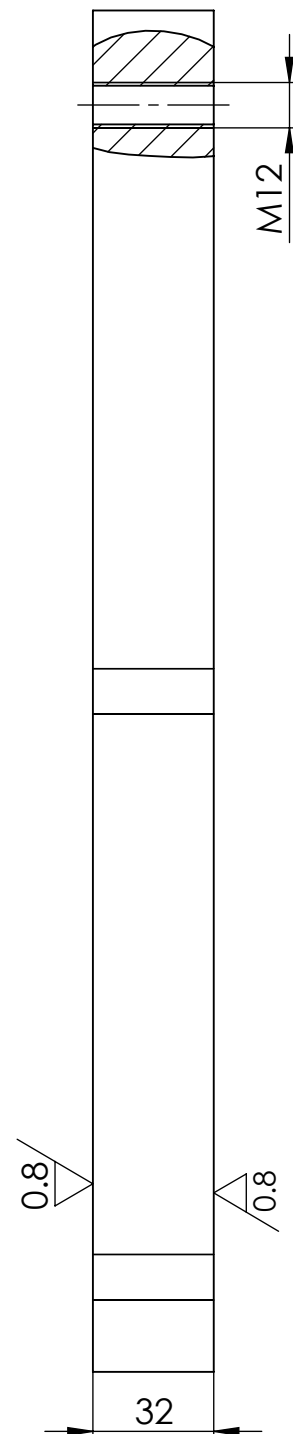
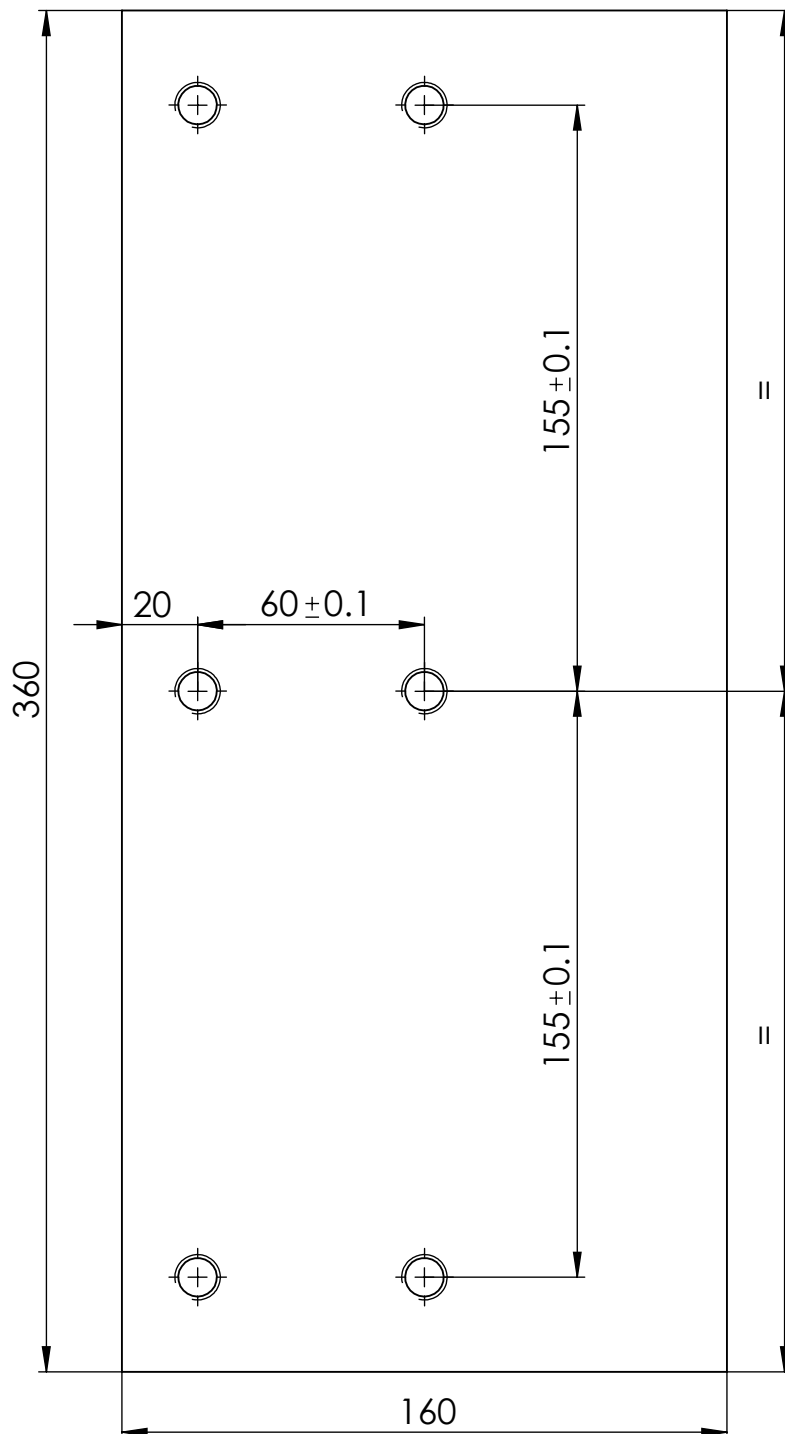
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost				Površinska zaštita:					
Materijal:				Č1530				Termička obrada:					
		Broj delova u sklopu:		1		Pozicija u sklopu:		15		Masa: 25.302 kg		Razmera: 1:2	
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Vodeća ploča					
				Obradio	Stefan Ilić								
				Crtao									
				Uskl.sa. SRPS									
				Overio									
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:	
								Alat za obradu lima				L	
St. i.		Izmene		Datum		Ime		Izv. pod.		Zamena za:			



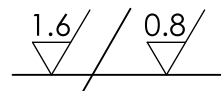
Tolerisanu dimenziju uskladiti u sklopu

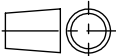


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:			
Materijal: Č1730								Termička obrada: 45 HRC			
Broj delova u sklopu: 4				Pozicija u sklopu: 16				Masa: 0.166 kg		Razmera: 1:1	
Datum: 29.08.2016.				Naziv: Donji odstojnik							
Obradio: Stefan Ilić											
Crtao:											
Uskl.sa. SRPS											
Overio:											
Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka: Alat za obradu lima				List: L			
St. i.	Izmene	Datum	Ime	Izv. pod.				Zamena za:			

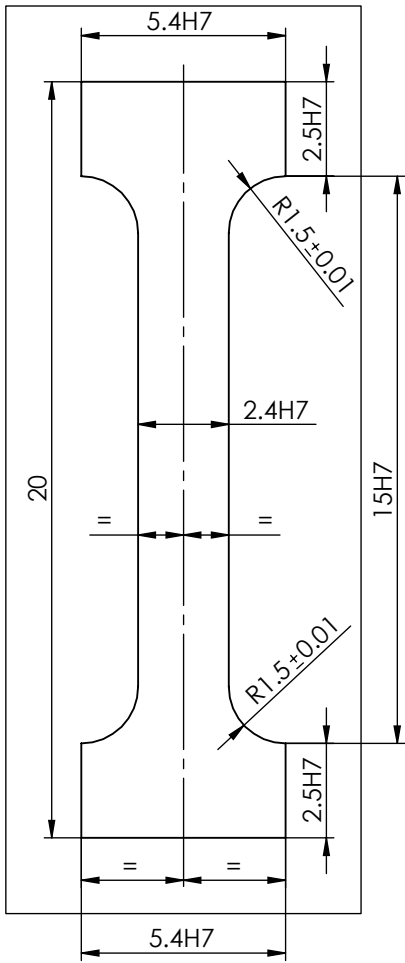


U sklopu izbrusiti oba komada na istu debljinu.

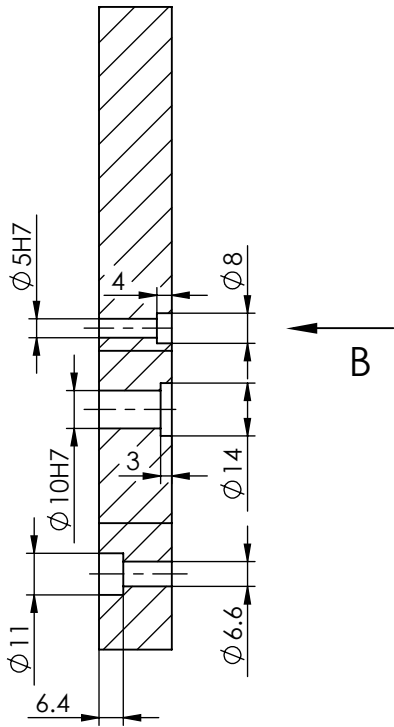


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:							
Materijal: Č0361								Termička obrada:							
		Broj delova u sklopu: 2						Pozicija u sklopu: 19		Masa: 14.255 kg		Razmera: 1:2			
				Datum	29.08.2016.				Naziv: Podmetač						
				Obradio	Stefan Ilić										
				Crtao											
				Uskl.sa. SRPS											
				Overio											
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:			
								Alat za obradu lima				L			
St. i.	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.				Zamena za:			

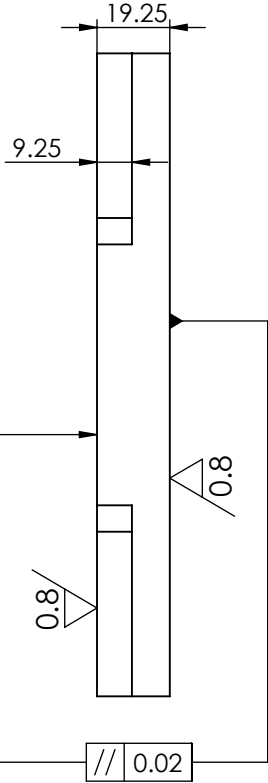
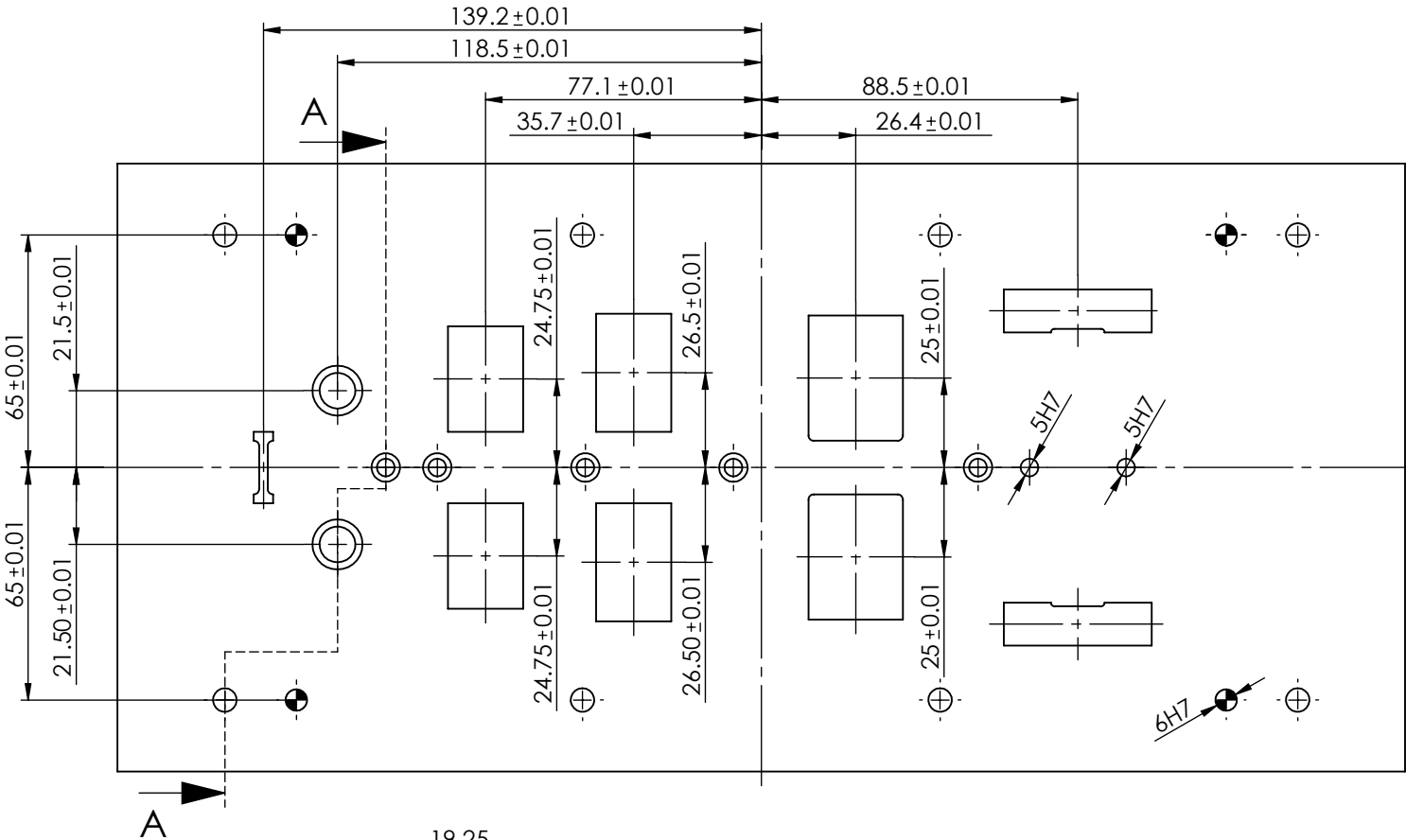
1H7	+0.010
	0
2.4H7	+0.010
	0
2.5H7	+0.010
	0
5H7	+0.012
	0
5.4H7	+0.012
	0
6H7	+0.012
	0
10H7	+0.015
	0
12H7	+0.018
	0
13.2H7	+0.018
	0
15H7	+0.018
	0
29.5H7	+0.021
	0
33H7	+0.025
	0
35H7	+0.025
	0
41.4H7	+0.025
	0



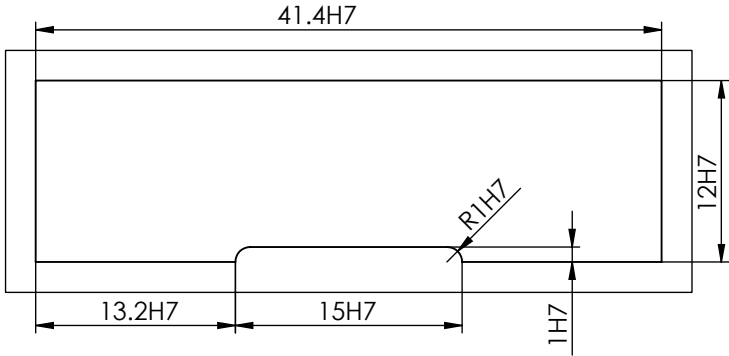
Detailj C
Razmera 5:1



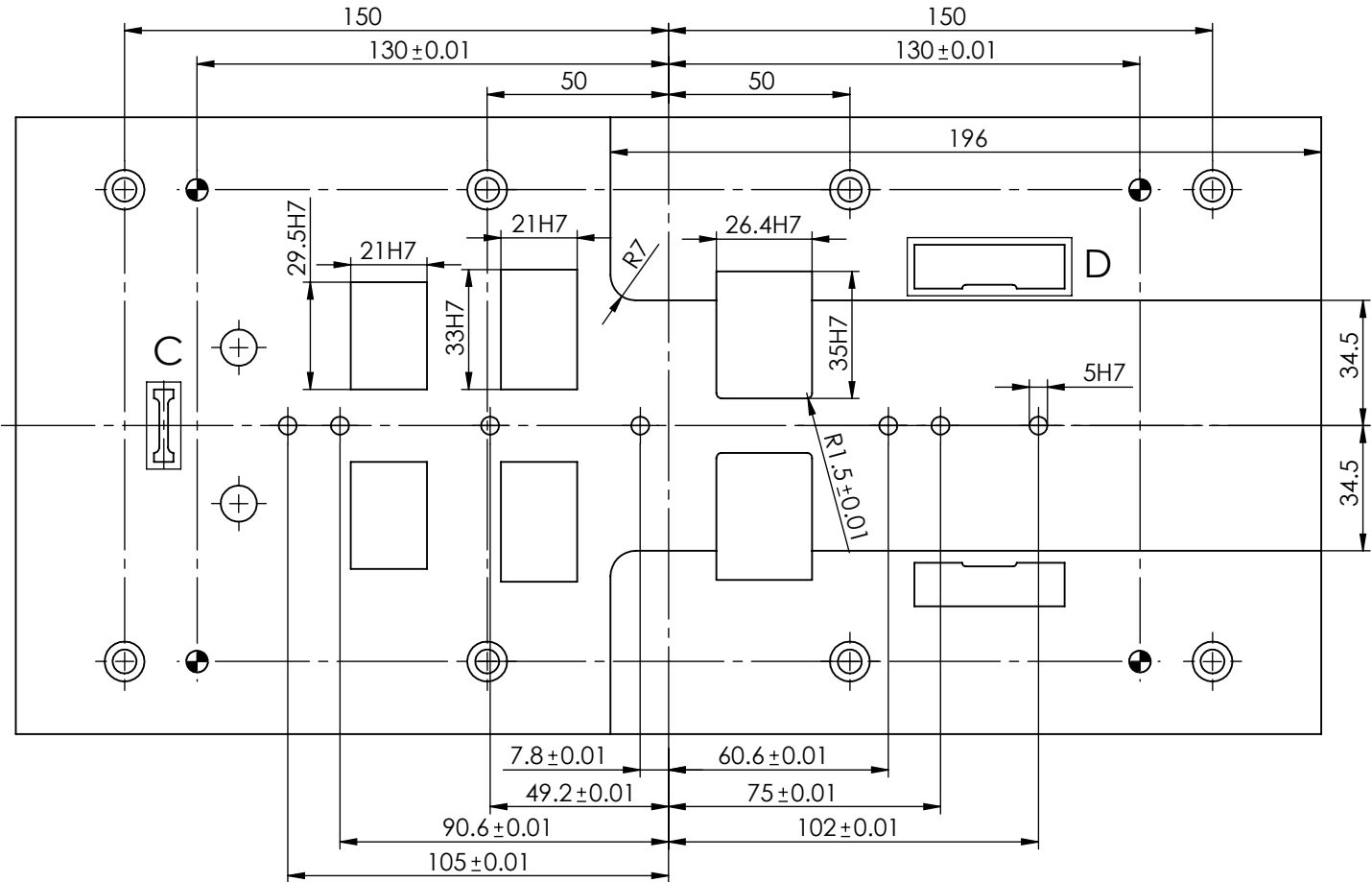
Presek A-A
Razmera 1:2



Pogled E



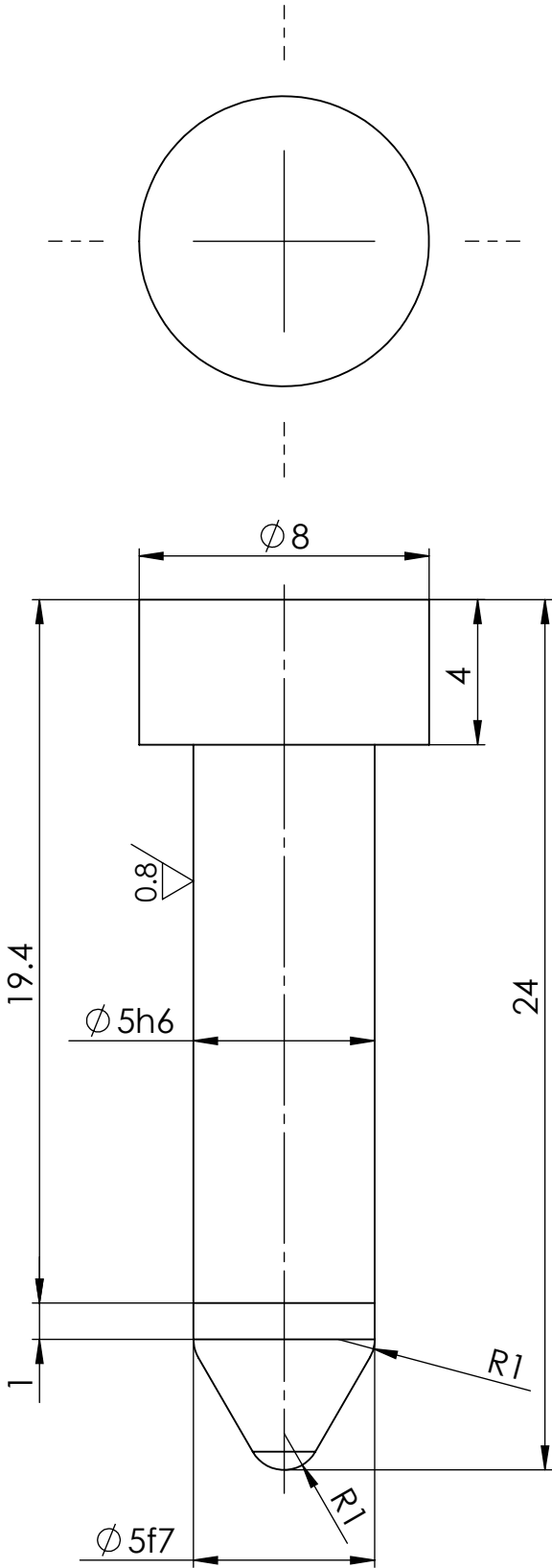
Detailj D
Razmera 2:1

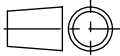


Pogled B

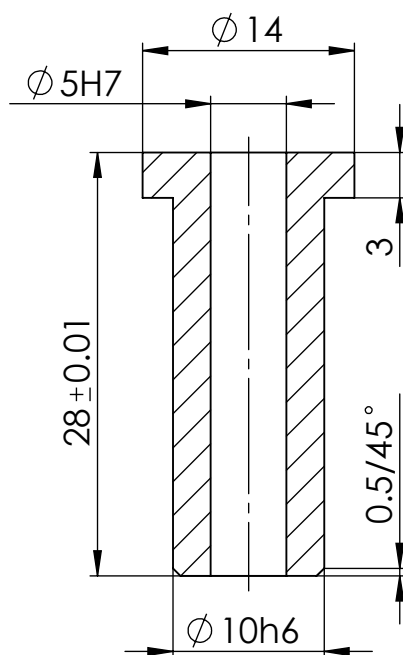
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:							
Materijal:				Č3840				Termička obrada:							
Broj delova u sklopu:				1				Pozicija u sklopu:		Masa:		Razmera:			
								24		6.919 kg		1:2			
				Datum				29.08.2016.							
				Obradio				Stefan Ilić							
				Crtao											
				Uskl.sa. SRPS											
				Overio											
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Naziv:							
								Pritisna ploča							
St. i.				Izmene				Datum				Ime			
								Oznaka:				List:			
								Alat za obradu lima				L			
								Izv. pod.				Zamena za:			

5h6	0
	-0.008
5f7	-0.010
	-0.022

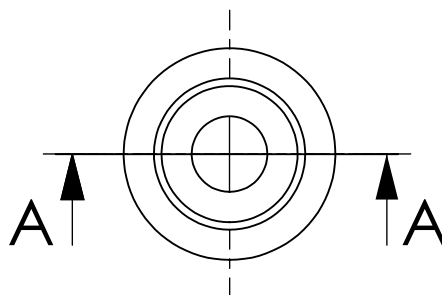


Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:							
Materijal: Č3840								Termička obrada: 55 HRC							
		Broj delova u sklopu: 5						Pozicija u sklopu: 25		Masa: 4.23 g		Razmera: 1:1			
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Pilot							
				Obradio	Stefan Ilić										
				Crtao											
				Uskl.sa. SRPS											
				Overio											
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:			
								Alat za obradu lima				L			
St. i.		Izmene		Datum		Ime		Izv. pod.				Zamena za:			

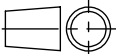
5H7	+0.012
	0
10h6	0
	-0.009



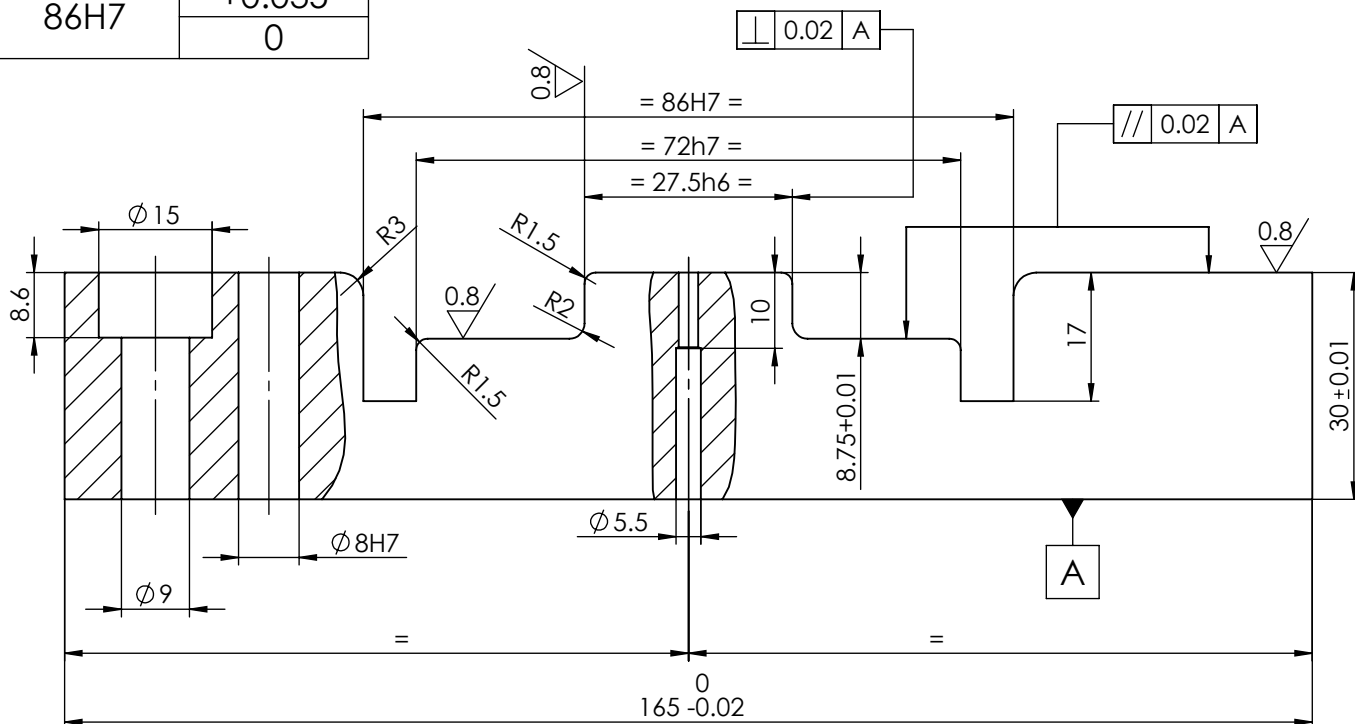
Presek A-A



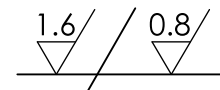
0.8/

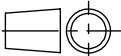
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:					
Materijal: Č3840								Termička obrada: 60 HRC					
		Broj delova u sklopu: 2						Pozicija u sklopu: 39		Masa: 14.49 g		Razmera: 2:1	
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Pritezač lima					
				Obradio	Stefan Ilić								
				Crtao									
				Uskl.sa. SRPS									
				Overio									
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:	
								Alat za obradu lima				L	
St. i.	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.		Zamena za:			

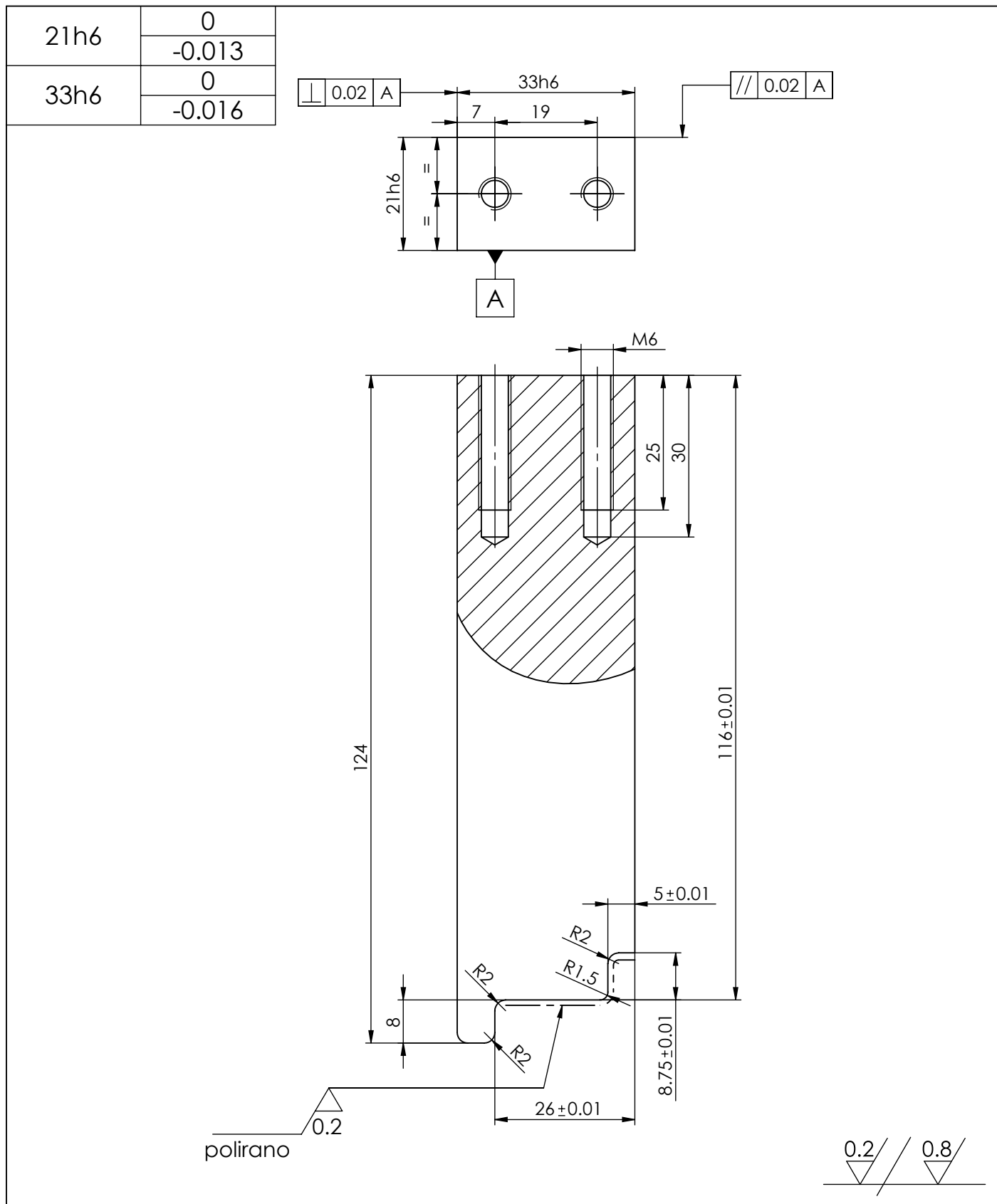
8H7	+0.015
	0
27.5h6	0
	-0.013
72h6	0
	-0.019
86H7	+0.035
	0

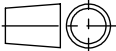


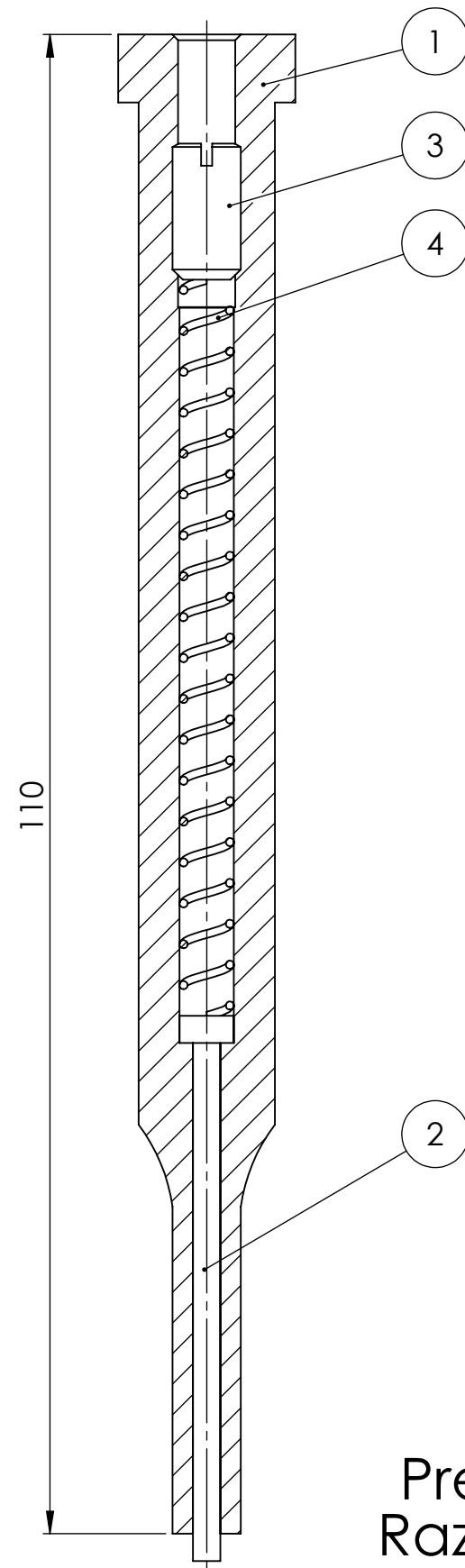
Radijuse R1.5, R2 i R3 tolerisati sa ± 0.05



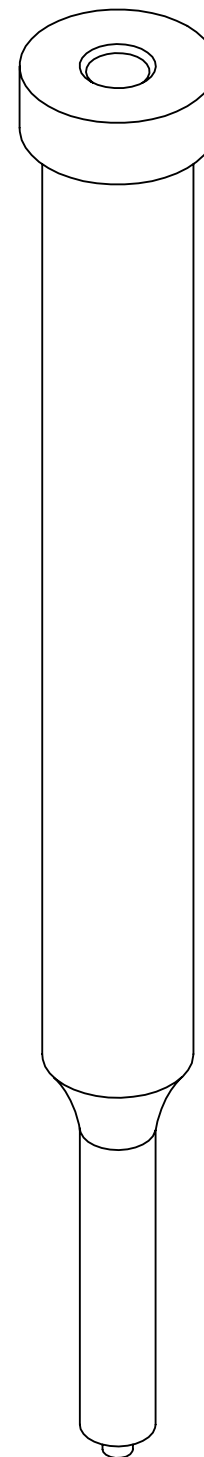
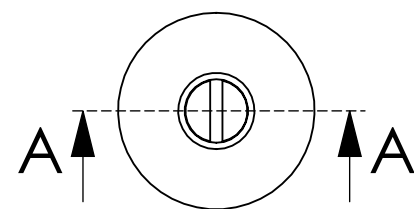
Tolerancije slobodnih mera				Površinska hrapavost				Površinska zaštita:										
Materijal: Č3840								Termička obrada: HRC 59-60										
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 44		Masa: 1.311 kg		Razmera: 1:1						
					Datum	29.08.2016.			Naziv: Donji oblikač za prvo savijanje (4)									
					Obradio	Stefan Ilić												
					Crtao													
					Uskl.sa SRPS													
					Overio													
					Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka: Alat za obradu lima				List:					
													L					
St. i.	Izmene		Datum						Ime		Izv. pod.				Zamena za:			



Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:					
Materijal: Č3840								Termička obrada: 55 HRC					
		Broj delova u sklopu: 2						Pozicija u sklopu: 45		Masa: 0.615 kg		Razmera: 1:1	
				Datum	29.08.2016.			Naziv: Gornji oblikač za prvo savijanje (4)					
				Obradio	Stefan Ilić								
				Crtao									
				Uskl.sa. SRPS									
				Overio									
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka: Alat za obradu lima				List: L	
St. i.	Izmene			Datum	Ime	Izv. pod.				Zamena za:			



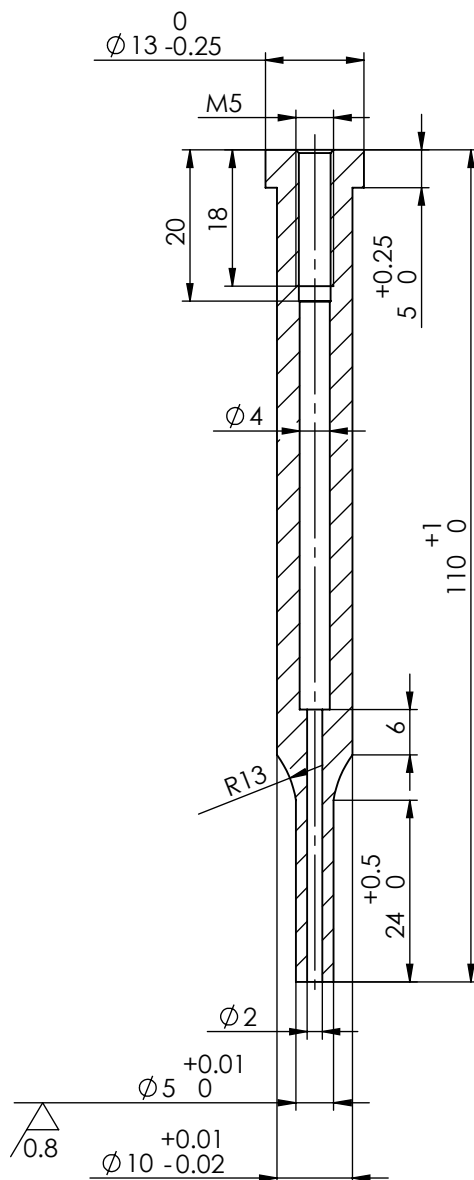
Presek A-A
Razmera 2:1



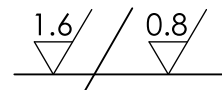
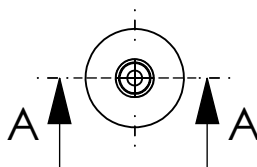
Preporučljivo je da po naružbini izradu ovog radnog organa izvrši nemačka kompanija Fibro.

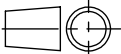
4	Opruga za kraći kružni probojac	Fibro	1
3	Crvić M5 x 10		1
2	Izbacivač za kraći kružni probojac	Fibro	1
1	Telo kraćeg kružnog probojca (1)	Fibro	1
Redni broj	Ime komponente	Napomene	Količina

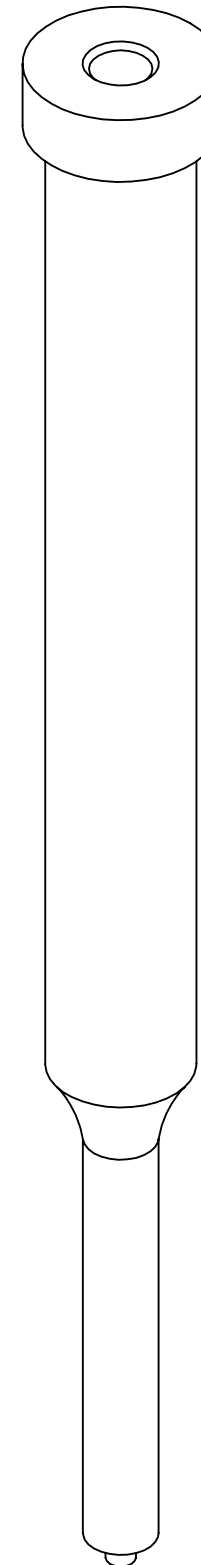
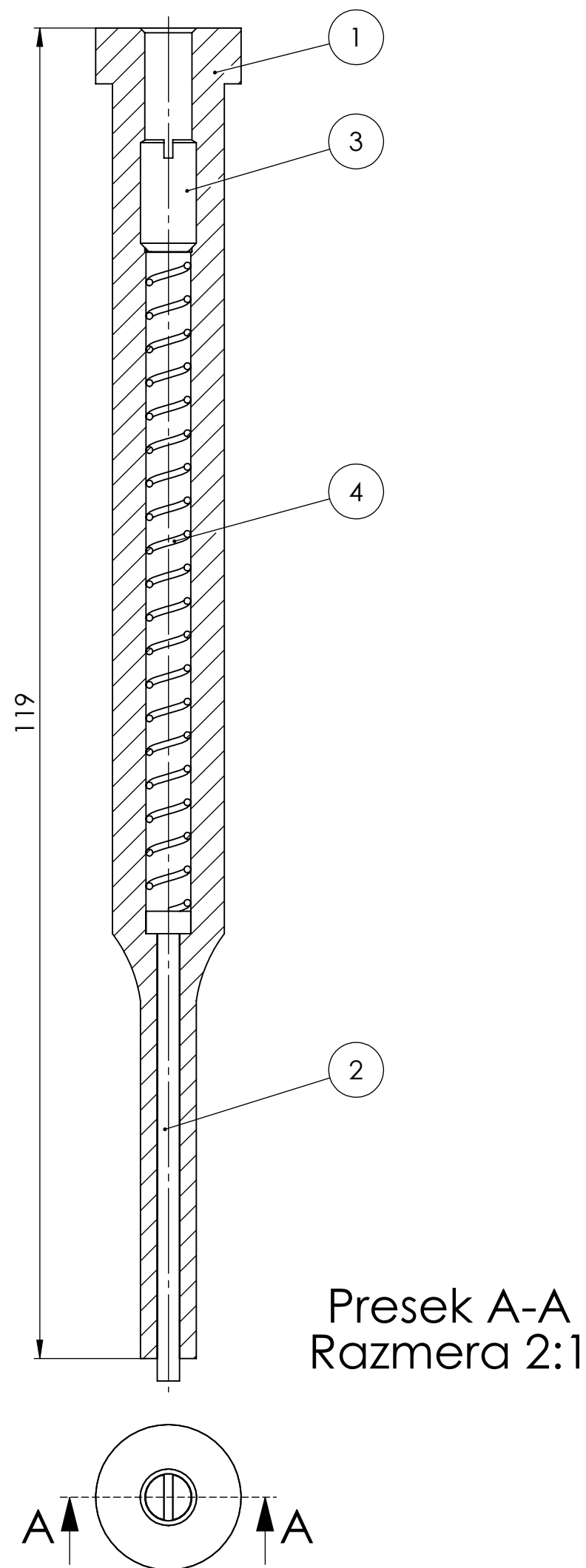
		Broj delova u sklopu: 2				Pozicija u sklopu: 46		Masa: 48.82 g		Razmera: 1:2	
				Datum	29.08.2016.		Naziv: Sklop kraćeg kružnog probojca (1)				
				Obradio	Stefan Ilić						
				Crtao							
				Uskl.sa. SRPS							
				Overio							
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu			Oznaka: Alat za obradu lima				List:
											L
St. i.	Izmene	Datum	Ime				Izv. pod.				Zamena za:



Presek A-A



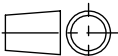
Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:						
Materijal: Č4850								Termička obrada: 60 HRC						
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 1		Masa: 47.10 g		Razmera: 1:2		
					Datum	29.08.2016.			Naziv: Telo kraćeg kružnog probojca (1)					
					Obradio	Stefan Ilić								
					Crtao									
					Uskl.sa. SRPS									
					Overio									
					Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:	
									Sklop kraćeg kružnog probojca (1)				L	
St. i.	Izmene		Datum		Ime		Izv. pod.				Zamena za:			

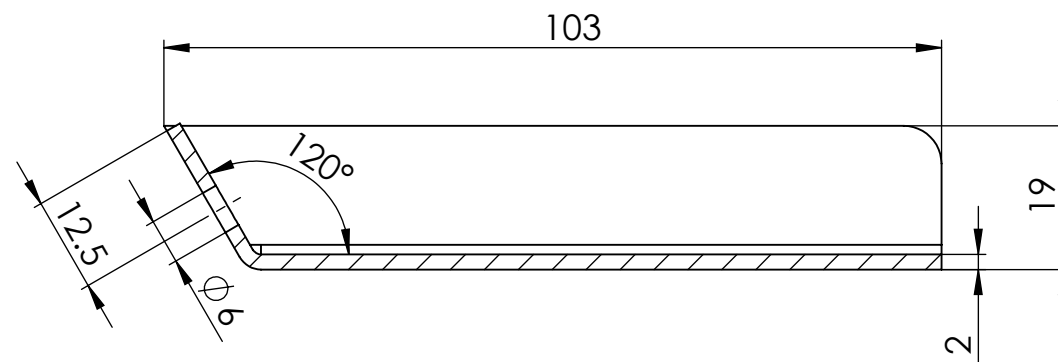
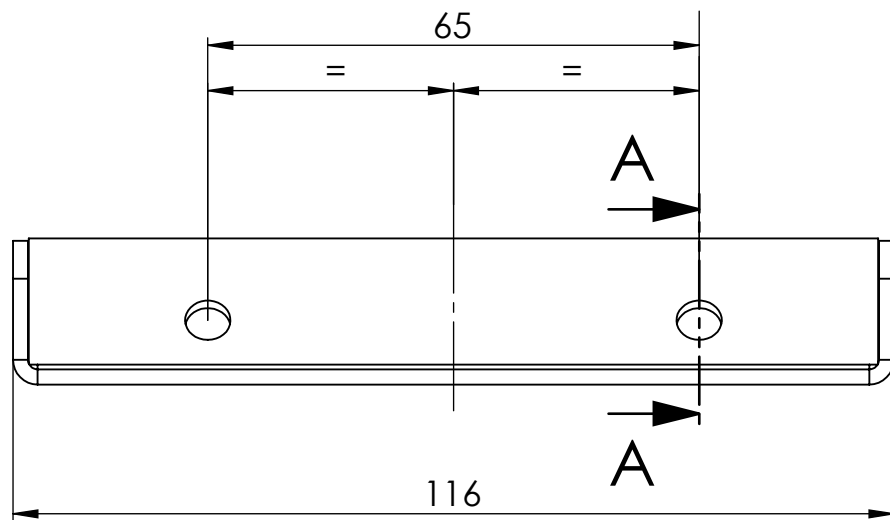


Preporučljivo je da po naružbini izradu ovog radnog organa izvrši nemačka kompanija Fibro.

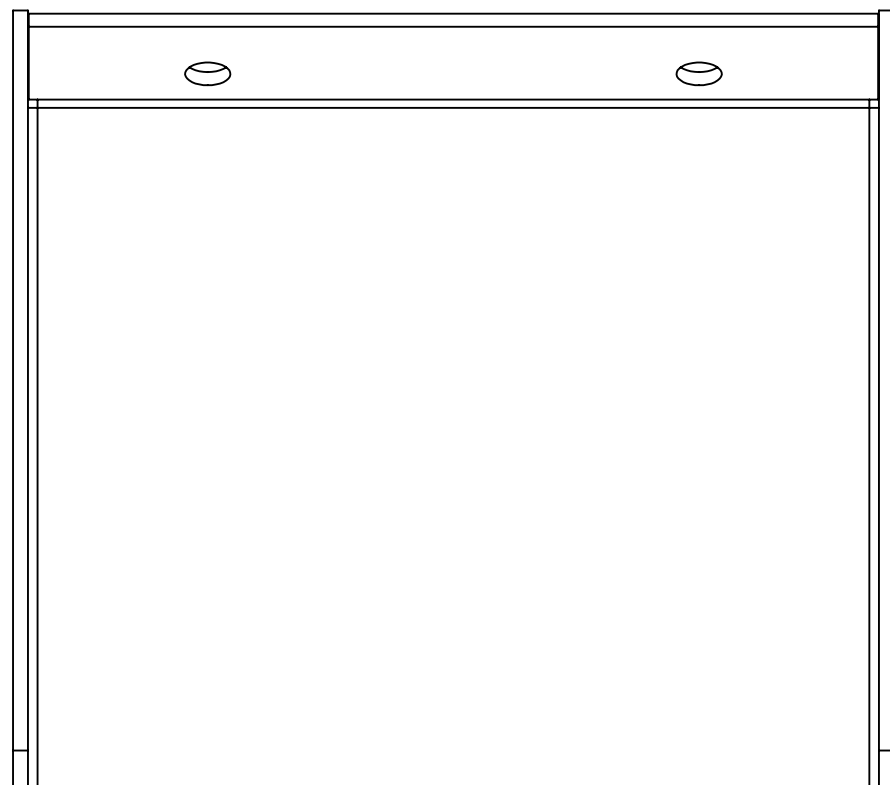
4	Opruga za duži kružni probojac	Fibro	1
3	Crvić M5 x 10		1
2	Izbacivač za duži kružni probojac	Fibro	1
1	Telo dužeg kružnog probojca	Fibro	1
Redni broj	Ime komponente	Napomene	Broj komada

		Broj delova u sklopu: 2				Pozicija u sklopu: 47		Masa: 50.5 g	Razmera: 1:2
				Datum	29.08.2016.				
				Obradio	Stefan Ilić				
				Crtao					
				Uskl.sa. SRPS					
				Overio					
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu					
St. i.	Izmene	Datum	Ime	Naziv: Sklop dužeg kružnog probojca L=119 mm (6)					
				Oznaka:					
				Alat za obradu lima					
				List:					
				L					
				Izv. pod.				Zamena za:	

Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:						
Materijal: Č4850								Termička obrada: 60 HRC						
		Broj delova u sklopu: 1						Pozicija u sklopu: 1		Masa: 48.18 g		Razmera: 1:2		
					Datum	29.08.2016.			Naziv: Telo dužeg kružnog probojca					
					Obradio	Stefan Ilić								
					Crtao									
					Uskl.sa. SRPS									
					Overio									
					Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:	
									Sklop dužeg kružnog probojca (1)				L	
									Izv. pod.				Zamena za:	
St. i.	Izmene													



Presek A-A



Tolerancije slobodnih mera:				Površinska hrapavost:				Površinska zaštita:							
Materijal: Č0146								Termička obrada:							
		Broj delova u sklopu:		1		Pozicija u sklopu:		48		Masa: 0.251 kg		1:1			
				Datum		29.08.2016.		Naziv: Limeni oluk							
				Obradio		Stefan Ilić									
				Crtao											
				Uskl.sa. SRPS											
				Overio											
				Fakultet Inženjerskih nauka u Kragujevcu				Oznaka:				List:			
								Alat za obradu lima							
												L			
St. i.		Izmene		Datum		Ime		Izv. pod.				Zamena za:			

Limeni oluk

Alat za obradu lima