

# Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Машинске конструкције и механизација**

**Предмет: Компјутерско моделирање и симулације машинских елемената и конструкција**

**Број индекса: 2003/2016**

**Радич Љ. Јеремић**

## **Конструисање и израда компоненти од танких лимова завршни рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. др Мирко Благојевић, ред. проф. - ментор

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише процес конструисања и израде делова од танких лимова коришћењем савремених PLM софтвера.

Препоручена литература:

[1] Walters, John, Sean Kurtz, Wei-Tsu Wu, and Juipeng Tang. "The "State of the art" in cold forming simulation." *Journal of materials processing technology* 71, no. 1 (1997), pp. 64-70.

[2] Kurukuri, S., Antonius H. van den Boogaard, A. Miroux, and B. Holmedal. "Warm forming simulation of Al–Mg sheet." *Journal of Materials Processing Technology* 209, no. 15-16 (2009), pp. 5636-5645.

Крагујевац, фебруар 2019.

Ментор:

др Мирко Благојевић, ред. проф.

---

## Резиме

У овом завршном раду је описан процес конструкције и израде делова (компоненти) од танких лимова. Овај завршни рад је исписан у пет поглавља. У првом поглављу је дат увод са описом досадашњих истраживања у овој области. Такође је дата и мотивација за одабир овакве теме. У другом поглављу су дате теоријске основе са освртом на најчешће коришћене начине савијања, као и на најчешће коришћене машине у овој области. У трећем поглављу је детаљно описан начин конструисања једног дела из праксе у три CAD софтвера: Inventor, Catia и SolidWorks. У четвртном поглављу је дат опис како се врши практична израда конструисаног дела. На крају, у петом поглављу су изведени закључци и дати су правци даљег усавршавања у овој области.

**Кључне речи:** компоненте од танких лимова, савијање, конструисање, практична израда

## Abstract:

This final paper describes the process of construction and fabrication of thin sheet metal parts (components). This final paper is written in five chapters. The first chapter provides an introduction describing the research to date in this area. The motivation for choosing such a topic was also given. The second chapter provides theoretical basics with reference to commonly used bending methods as well as to the most commonly used machines in this field. Chapter 3 describes in detail how to construct one piece of practice into three CAD softwares: Inventor, Catia, and SolidWorks. The fourth chapter describes how to make the constructed part practically. Finally, Chapter 5 draws conclusions and gives directions for further development in this area.

Key words: thin sheet metal components, bending, construction, practical production

## Садржај

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Резиме                                                                             | 3  |
| Садржај                                                                            | 4  |
| Списак слика                                                                       | 5  |
| 1. Увод                                                                            | 7  |
| 1.1 Опис проблема                                                                  | 7  |
| 1.2 Досадашње стање у области конструисања компоненти од танких лимова             | 8  |
| 1.3 Мотивација                                                                     | 9  |
| 2. Теоријске основе добијања компоненти савијањем лимова                           | 10 |
| 2.1 Важност савијања лимова у индустрији                                           | 11 |
| 2.2 Принципи савијања лимова                                                       | 11 |
| 2.2.1 Кружно савијање лимова                                                       | 12 |
| 2.2.2 Савијање лимова под углом                                                    | 13 |
| 2.2.3 Профилно савијање лимова                                                     | 14 |
| 2.3 Технике савијања лимова                                                        | 15 |
| 2.3.1 V-савијање лима                                                              | 15 |
| 2.3.2 Савијање лима ослањањем                                                      | 16 |
| 2.3.3 Савијање лима у три тачке (кружно савијање)                                  | 16 |
| 2.3.4 Остале технике савијања лимова                                               | 17 |
| 2.4 Могућности израде компоненти савијањем                                         | 17 |
| 3. Начини конструисања компоненти од танких лимова                                 | 18 |
| 3.1 Употреба специјализованих софтвера за конструисање компоненти од танких лимова | 18 |
| 3.2 Анализа добијања дела у софтверу Autodesk Inventor 2020                        | 18 |
| 3.3 Анализа добијања дела у софтверу SolidWorks 2018                               | 26 |
| 3.4 Анализа добијања дела у софтверу CATIA V5R18                                   | 33 |
| 4. Израда изабраног дела                                                           | 39 |
| 5. Закључак                                                                        | 42 |
| Литература                                                                         | 43 |

## Списак слика

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Слика 2-1 Пример готовог производа добијеног савијањем лима                                                                                               | 12 |
| Слика 2-2 Кружно савијање лимова: а) машина за ручно кружно савијање лимова; б) машина за <i>CNC</i> кружно савијање лимова                               | 13 |
| Слика 2-3 Машине за савијање лимова под углом: а) машина за ручно савијање; б) машина за механичко савијање; в) машина за <i>CNC</i> хидраулично савијање | 14 |
| Слика 2-4 Машине за профилно савијање лимова: а) машина за обраду табли од лима; б) машина за израду профила од лима                                      | 14 |
| Слика 2-5 Преса за <b>B</b> савијање лима                                                                                                                 | 15 |
| Слика 2-6 Пример савијања лима ослањањем                                                                                                                  | 16 |
| Слика 2-7 Савијање лима у 3 тачке                                                                                                                         | 16 |
| Слика 2-8 Примери добијених делова од танких лимова: а) носач електро-плочице; б) носач телевизора; в) оков за намештај; г) заштитна облога               | 17 |
| Слика 3-1 Изглед дела израђеног од танког лима                                                                                                            | 18 |
| Слика 3-2 Дијалог за подешавање дебљине лима                                                                                                              | 19 |
| Слика 3-3 Команда Face за добијање базе дела                                                                                                              | 19 |
| Слика 3-4 Изглед добијене базе дела од танког лима                                                                                                        | 20 |
| Слика 3-5 Дијалог команде Flange                                                                                                                          | 20 |
| Слика 3-6 Изглед савијених страница                                                                                                                       | 21 |
| Слика 3-7 Добијање хоризонтално савијене странице                                                                                                         | 21 |
| Слика 3-8 Употреба команде MoveFace                                                                                                                       | 22 |
| Слика 3-9 Употреба команде Cut                                                                                                                            | 22 |
| Слика 3-10 Употреба команде Mirror                                                                                                                        | 23 |
| Слика 3-11 Команда Corner Round за уклањање оштрих ивица                                                                                                  | 23 |
| Слика 3-12 Изглед коначног модела од танког лима: а) савијено стање; б) развијено стање                                                                   | 24 |
| Слика 3-13 Добијање изометријског приказа модела у Drafting окружењу                                                                                      | 24 |
| Слика 3-14 Додавање развијеног стања у Drafting окружење                                                                                                  | 25 |
| Слика 3-15 Додавање таблице савијања: а) позивање таблице; б) изглед додате таблице                                                                       | 25 |
| Слика 3-16 Креирање базе дела                                                                                                                             | 26 |
| Слика 3-17 Уношење основних параметара и дебљине лима                                                                                                     | 27 |
| Слика 3-18 Edge Flange за уношење савијања на ивицама базе танког лима                                                                                    | 27 |
| Слика 3-19 Коришћење команде Edge Flange за добијање комплекснијих облика страница                                                                        | 28 |
| Слика 3-20 Приказ додавања странице коришћењем команде Edge Flange на основу скице                                                                        | 28 |
| Слика 3-21 Пример коришћења команде за обарање ивица Fillet                                                                                               | 29 |
| Слика 3-22 Пример коришћења команде Extruded Cut за уклањање вишка материјала                                                                             | 29 |
| Слика 3-23 Коришћење команде Extrude Cut за израду слотова                                                                                                | 30 |
| Слика 3-24 Коначни изглед добијеног дела заштитне кутије прекидача                                                                                        | 30 |
| Слика 3-25 Изглед развијеног стања коришћењем команде Flatten                                                                                             | 31 |
| Слика 3-26 Коришћење команде Model View за увожење развијеног стања модела у цртеж                                                                        | 31 |
| Слика 3-27 Развијено стање са свим потребним котама за савијање и табела савијања                                                                         | 32 |
| Слика 3-28 Приказ уласка у окружење Generative Sheetmetal Design                                                                                          | 33 |
| Слика 3-29 Изглед прозора Sheet Metal Parameters за уношење основних параметара                                                                           | 33 |
| Слика 3-30 Изглед прозора за аутоматско прерачунавање <b>K</b> фактора                                                                                    | 34 |
| Слика 3-31 Приказ команде Wall за дефинисање базе савијања                                                                                                | 34 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Слика 3-32 Приказ коришћења команде Wall On Edge                                          | 35 |
| Слика 3-33 Уношење последњих савијања коришћењем команде Wall On Edge                     | 35 |
| Слика 3-34 Коришћење продужења страница у секцији Extremities                             | 36 |
| Слика 3-35 Приказ коришћења команде Cutout за одстрањивање вишка материјала               | 36 |
| Слика 3-36 Коришћење команде Cutout за исецање слотова                                    | 37 |
| Слика 3-37 Обарање ивица командом Corner                                                  | 37 |
| Слика 3-38 Приказ коначног модела од танког лима                                          | 38 |
| Слика 3-39 Приказ развијеног стања у окружењу Drawing                                     | 38 |
| Слика 4-1 Пример припреме програма за сечење на фибер-ласеру марке Bodor                  | 39 |
| Слика 4-2 Изглед радног окружења за припрему технологије и израду сечењем на фибер-ласеру | 40 |
| Слика 4-3 Унутрашњост кабине и стола за сечење на фибер-ласеру                            | 40 |
| Слика 4-4 Припрема за савијање на масини марке Ermaksan модел Power Bend Falcon           | 41 |

## Увод

Обрада метала пластичним деформисањем спада у један од најраспрострањенијих начина обраде метала у данашње време. Ова врста обраде се заснива на особини метала да се под дејством сила пластично деформише и задржава тако добијени облик кад се пређе граница еластичности и уђе у зону пластичног деформисања. Посебно је корисна примена оваквих метода обраде метала пластичним деформисањем у великосеријској и масовној производњи због знатне уштеде у материјалу. Наиме, код метода обраде пластичном деформацијом нема, или има у најмањој могућој мери отпадака од материјала, за разлику од метода које се заснивају на обради материјала скидањем струготине. Циљ метода које се користе за обраду пластичним деформисањем је да са што мање радних захвата и операција од металних лимова добију готов део који се са најмањом могућом дорадом, или уопште без дораде може уградити у одговарајући склоп, као саставни елеменат тог склопа. Да би се овај циљ постигао, потребно је материјал оптеретити изнад границе еластичности, чиме се он доводи у стање пластичног течења. Рад и силу која је потребна да се пластична деформација оствари омогућавају машине за обраду деформацијом као што су:

- Пресе,
- Ковачки чекићи,
- Машине за савијање,
- Аутомати и
- Маказе за одсецање металних лимова итд.

Савијање има значајну примену при обради лима деформисањем где се добијају различити профили, носачи, делови каросерија, добоши за резервоаре, облоге за котлове и др. Зависно од мера и облика делова, савијање лимова изводи се у алатима за савијање на механичким или хидрауличним пресама и на специјалним машинама за савијање. У општем случају, према облику делова добијених савијањем, разликују се:

- кружно савијање,
- фазонско савијање и
- исправљање (као обрнути процес савијања, нпр. код профилисања лимова).

### 1.1 Опис проблема

На машине за савијање се постављају различити алати (призме или калупи у зависности од геометрије дела који се израђује) који имају улогу да материјалу, то јест металном лиму, дају жељени облик и димензије. Дакле, силу деформације даје машина, а геометрију радног комада обезбеђује алат. Из овога следи да је за правилан избор технологије обраде пластичном деформацијом потребно извршити следеће кораке:

1. Анализа процеса пластичне деформације метала,
2. Конструкција дела и алата и
3. Избор машине.

1. Анализом процеса се из равнотежних услова и услова пластичности за дотични начин израде израчунавају напонско-деформационе величине, на основу којих се добијају силе и рад потребан за извршење жељене деформације. Након тога се траже услови под којима се постиже оптимални процес израде дела, тј. највећи могући степен деформације и најмањи број радних операција. Такође се тражи налажење најприкладнијих димензија припремка и облика основног материјала и готовог дела.

2. И део и алат морају по својој конструкцији да задовоље услове техно-економског рентабилитета, тј. да се алат састоји из што је могуће више стандардних елемената и да буде што је могуће једноставнији за израду, а израда дела да буде у што мањем броју операција. Тиме се постиже нижа цена дела и алата, али то не сме да утиче на квалитет процеса производње.

3. Маchine се бирају зависно од врсте операције, потребној сили, раду, снази и од осталих параметара процеса обраде. Универзалне машине за обраду деформацијом (кривајне, хидрауличке, фриксионе пресе, парни, ваздушни, падајући чекићи итд.) могу се користити зависно од конструкције дела и алата за различите процесе обраде пластичном деформацијом.

У овом завршном раду ће бити приказана само конструкција делова од танких лимова, док ће конструкција алата бити дата неком другом приликом.

## 1.2 Досадашње стање у области конструисања компонената од танких лимова

Како је технологија унапредовала, тако је порасла и тежња човека да добије што квалитетнији производ на што бржи и јефтинији начин. Принцип хладног деформисања је широко позната и прихваћена метода у индустријској пракси [1]. Постоје многи међународни радови о обради метала, како о топлој тако и хладној деформацији [2-4], а нарочито уз помоћ рачунарских технологија, [5]. Циљ овог рада је да се изврши анализа процеса добијања дела кроз конструкцију и практичну израду на машини. Резултате добијене конструкцијом треба пренети на право стање савијања дела у пракси. Тако је настала идеја да се прати развој новог производа и учествује у његовој конструкцији и изради. Обостраним интересовањем и сарадњом дат је допринос реализацији идеје и указано је на сличности и разлике савијеног дела добијеног у реалним условима и добијеног конструкцијом у три различита софтвера, а тиме је остварен циљ овог рада.

### 1.3 Мотивација

Од свих технологија обраде метала, технологија пластичног деформисања метала заузима веома истакнуто место. То је обрада метала без скидања струготине, обавља се под дејством спољашњих сила деформације. Током обраде деформисањем метал мења своје карактеристике: повећава му се чврстоћа и жилавост, а што је најважније не мења се влакнаста структура материјала која се током обраде резањем не може сачувати. Предности обраде деформисањем су: висока тачност израђених делова, добијање бољих механичких карактеристика материјала, могућност израде компликованих производа који се резањем уопште не би могли добити и висока продуктивност.

Недостаци обраде пластичном деформацијом су: смањење пластичности у току деформисања и висока цена машина за обављање операција деформисања и алата. Материјал се током деформисања оптерећује изнад границе еластичности, доводи се у стање пластичног течења чиме му је обезбеђено да трајно задржи захтевани облик. Обрада се може вршити у хладном и топлом стању што зависи од облика, димензија, особина почетног материјала, сложености готовог дела, конструкције алата и машине [6].

Због свих ових добрих карактеристика процеса обраде пластичним деформисањем, као и због самог радног места кандидата, јавила се велика мотивација да се овај процес прикаже од различитих метода конструисања делова од танких лимова па до израде конструисаних делова.

## 2. Теоријске основе добијања компоненти савијањем лимова

Под обрадом метала пластичном деформацијом (обработом метала без скидања струготине) подразумевају се оне методе обраде при којима се метал даје трајна деформација и жељени облик, односно његово одвајање где се улази у подручје механике лома и простирање истог унутар металног континуума. Технологије и метода обраде деформацијом има много и оне имају широку примену у металној индустрији (металоперађивачкој, моторној, ауто, авио индустрији, прецизној механици, индустрији полупроизвода, итд.). За разлику од обраде метала скидањем струготине која има примену како у појединачној тако и у серијској производњи, обрада метала деформацијом (без скидања струготине) се везује искључиво за серијску производњу. Циљ обраде метала деформацијом је да се са најмање могућим губитком материјала и са најмањим бројем операција добију готови комади који се могу непосредно употребити или уградити у одговарајући склоп, као његови саставни елементи. Груба подела свих поступака обраде металних лимова деформацијом врши се у две групе:

1. Запреминско деформисање и
2. Обрада лима деформисањем, [7, 8].

Запреминско деформисање се дели на следеће операције:

1. Пресовање (сабијање, утискивање, калибрисање),
2. Истискивање (истосмерно, супротносмерно, комбиновано) и
3. Ковање (слободно ковање у алатима које се реализује на чекићима, пресама и на специјалним ковачким машинама).

Обрада лима деформисањем се дели на следеће операције:

1. Одсецање на маказама ( одсецање трака, одсецање комада, одсецање различитих припремака),
2. Просецање и пробијање,
3. Дубоко извлачење (без промене дебљине материјала, са стањењем зида),
4. Развлачење (извлачење притискивањем),
5. Обликовање лима деформисањем (сужавање, проширивање, провлачење, исправљање),
6. Савијање (савијање у еласто-пластичном подручју, савијање у алатима на пресама и чисто пластично савијање, кружно завијање, кружно савијање, савијање преко ваљака, развијање елемената).

Поступком савијања могу да се добију различити профили. Овде ће бити објашњено савијање металних лимова различитим методама.

## 2.1 Важност савијања лимова у индустрији

Савијање лимова је једна од најчешћих операција у изради различитих машинских и других делова, а одмах након резања. У основи, савијање лима се може сврстати у категорију обраде метала без скидања струготине, а у којем се користе пластична својства лима.

Овакав начин обраде метала проналази примену у различитим гранама индустрије почевши од бродоградње, ауто индустрије па до индустрије металних производа намењених продаји на тржишту широке потрошње.

Пластична својства лимова омогућују металним лимовима да, након савијања, остају у положају који је одређен призмом за савијање или калупом. Оно што је важно напоменути је да неки материјали након деловања одређене силе пуцају, односно након што се деформишу под одређеним углом у њиховој структури настају пукотине које могу довести до каснијег пуцања. Међутим, случајеви пуцања метала приликом машинског савијања лима су ретки.

## 2.2 Принципи савијања лимова

По правилу, савијање лимова се може поделити на угаоно и кружно савијање. Разлика између ове две врсте савијања у првом плану се односи на изглед крајњег производа. Свака од техника савијања има карактеристичне машине које се употребљавају у процесима савијања.

За кружно савијање лимова се користе:

- Машине за савијање са три ваљка или
- Машине за савијање са четири ваљка.

За угаоно савијање лимова се користе:

- Ручне машине за савијање,
- Механичке машине за савијање и
- Хидрауличне машине за савијање.

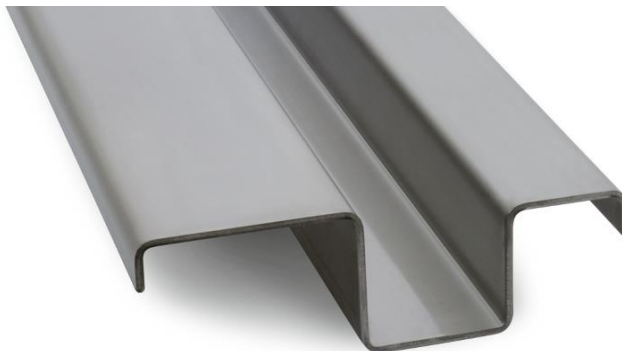
Савијање лимова може се вршити и са претходним загревањем. Овакав приступ има бројне предности код захтевнијих поступака обликовања. Наиме, претходним загревањем метални лим поприма боља обрадива својства и могуће га је у знатно већој мери обликовати складно захтевима. Међутим, уз предности које овакво обликовање доноси постоје и недостаци који се првенствено тичу појаве корозије.

Дебљина лимова које је могуће савијати зависи од самих машина за савијање. У пракси постоје машине за савијање које могу савијати лимове дебљине од тек неколико милиметара па до десетак а и више милиметара.

Приликом савијања било којом техником без обзира на добра пластична својства, сваки савијени метал има одређену еластичност. Еластичност враћа метал у првобитно стање, а што може довести до разлика између добијеног и жељеног облика. Међутим, еластичност се може избећи

правилним избором параметара савијања (савијањем делова на већу меру како би се после престанка дејства силе вратили у жељене димензије).

Резање и савијање лимова су две најчешће операције које се користе у данашњој индустрији. Надаље, ове две операције често претходе бројним другим операцијама попут заваривања, брушења, бушења итд. На слици 2-1 је приказан профил од танког лима добијен савијањем.



Слика 2-1 Пример готовог производа добијеног савијањем лима

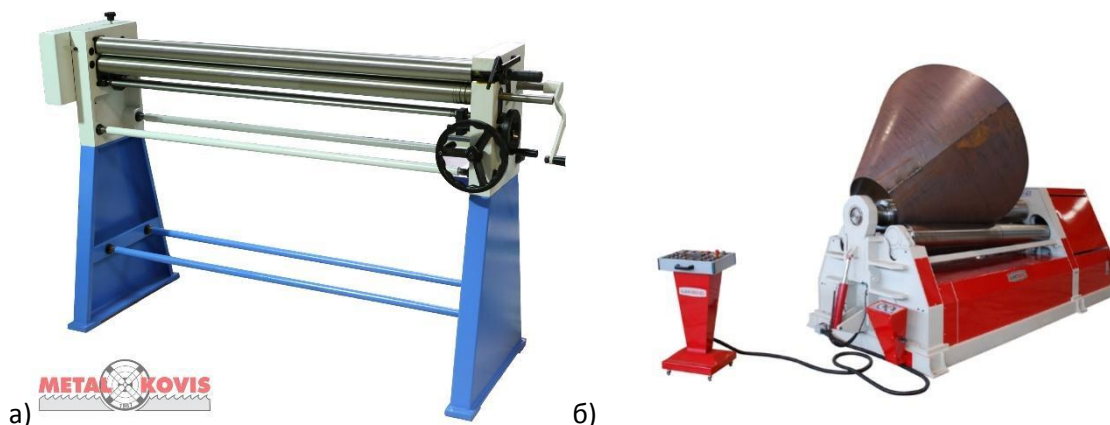
Даље у овом поглављу ће бити представљене машине које се користе за претходно описане врсте савијања.

#### 2.2.1 Кружно савијање лимова

Кружно савијање лимова и метала се обавља помоћу машина за савијање са 3 ваљка, односно, машинама за савијање са 4 ваљка. Први и други ваљак служе као ослонац на који се лим наслања, док трећи ваљак, за разлику од прва два, је већи и нема свој властити погон. Велики, односно, први ваљак се може померати транслаторно и на тај начин се регулише савијање. Већина машина за кружно савијање лимова има паралелне ваљке, али постоје и машине код којих су ваљци хоризонтално размакнута што омогућава цилиндрично савијање.

Машине за савијање лимова и метала са четири ваљка пружају различите начине савијања. Три ваљка служе само као ослонац, док је један ваљак радни. Ваљци који служе као ослонац се могу померати транслаторно, односно, мењати свој положај. Сам начин рада код машине за савијање са четири ваљка је готово идентичан начину рада машина за савијање са три ваљка.

Узнапредовала технологија омогућила је развој нумерички вођених машина за савијање лимова и метала чиме се добија прецизније и квалитетније савијање. Примери кружног савијања лимова су дати на слици 2-2.



Слика 2-2 Кружно савијање лимова: а) машина за ручно кружно савијање лимова; б) машина за CNC кружно савијање лимова

### 2.2.2 Савијање лимова под углом

Савијање лимова под углом користи се за савијање дугих и танких лимова. Машина која се користи приликом ове операције се састоји од два основна дела. Овакав начин савијања користи силу до 25 тона за савијање.

За савијање под углом лимова могу се употребљавати седеће пресе (Слика 2-3):

- Ручне механичке пресе за савијање – машина се састоји од радног стола на који се ставља лим, односно, метал који се жели савити. Оваквим начином могу се савијати лимови до 2 mm дебљине,
- Механичке машине за савијање – оваква машина се састоји од радног стола на који се монтира призма. Погон овакве машине је електромоторни (трофазни електрични мотор). Лим, односно, метал који се савија се поставља ручно на радни сто. Након што се сви параметри подесе, контрола параметара савијања је аутоматска.
- Хидрауличке машине за савијање – уколико се захтеви за савијањем не могу удовољити помоћу претходно наведених машина, приступа се хидрауличном савијању. Оваква машина користи знатно веће силе приликом савијања што омогућава савијање дебљих и тврђих материјала, тј. лимова.





в)

Слика 2-3 Машине за савијање лимова под углом: а) машина за ручно савијање; б) машина за механичко савијање; в) машина за *CNC* хидраулично савијање

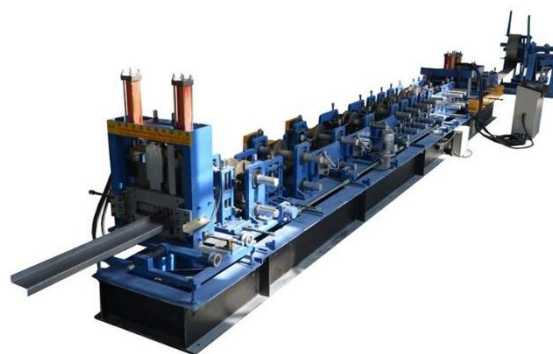
### 2.2.3 Профилно савијање лимова

Профилним савијањем лимова добијају се производи релативно велике дужине (нпр. олуци). Приликом оваквог савијања најчешће се ради о вишеугаоном савијању. Профилно савијање лимова и метала води лим, односно, метал кроз серију ваљака где се на сваком ваљку обавља постепено савијање. Машине које обављају профилно савијање могу савити чак до 200 метара лимова, односно, метала по минути.

Савијање лимова и метала је поступак хладне (топле у неким случајевима) обраде метала приликом које се користе машине за савијање са силама до неколико тона.



а)



б)

Слика 2-4 Машине за профилно савијање лимова: а) машина за обраду табли од лима; б) машина за израду профила од лима

## 2.3 Технике савијања лимова

Данашње машине за савијање лимова омогућавају различите начине савијања. Осим кружног, односно профилног савијања, лимови се могу савијати на следеће начине:

- V савијање лима,
- Савијање ослањањем,
- Савијањем у три тачке и
- Остале врсте савијања

Избор начина савијања метала зависи од захтева које савијени метални лим мора да испуни. Осим тога, савијање зависи и од дебљине метала који се савија, односно од његовог хемијског састава (врсте).

Врсте машина за савијање лима дефинисане су принципом рада. У основи, машине за савијање лима се могу поделити на хидрауличне, пнеуматске и серво-електричне. Осим споменутих постоје и ручне машине за савијање лима, односно ручни алати за савијање који користе човекову снагу како би обликовали лим.

Примена поменутих врста машина за савијање зависи од дебљине лима који се савија. У пракси се за лимове мањих дебљина користе пнеуматске, односно серво-електричне машине, док се за лимове већих дебљина користе хидрауличне машине.

### 2.3.1 V-савијање лима

V савијање лима једно је од најчешћих врста савијања. Процес савијања састоји се од деловања притискивача на лим који се креће према призми. Призма не треба бити истих или сличних димензија као притискивач, а угао савијања одређен је величином еластичности лима. Међутим, један од главних недостатака овакве врсте савијања је могућност механичких напрслина код лима. Осим тога, још један од недостатака овакве врсте савијања је мала прецизност у односу на друге технике.

Оно што је још важно напоменути код овакве врсте савијања је чињеница да притискивач не притиска лим до краја у призми већ само онолико колико је то захтевано делом који се израђује. На слици 2-5 је приказана преса за V савијање лима.



Слика 2-5 Преса за V савијање лима

### 2.3.2 Савијање лима ослањањем

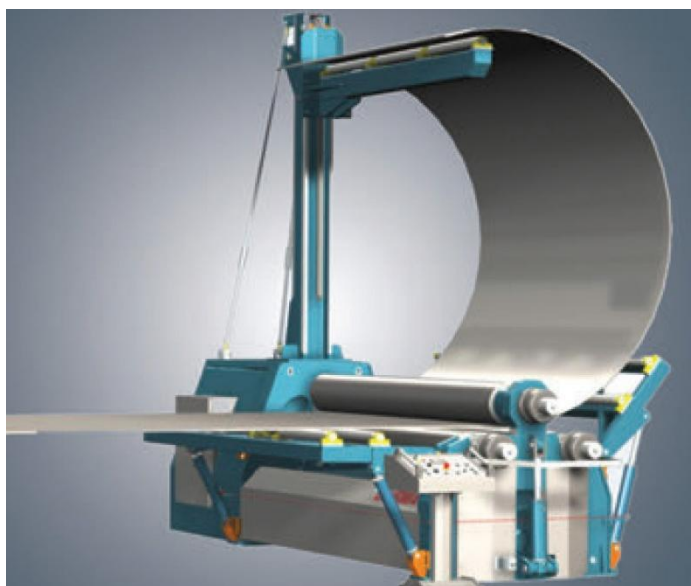
Савијање ослањањем је техника савијања лима слична V савијању. Машина за савијање се, једнако као и код претходно описане технике, састоји од притискивача и призме. Међутим, притискивач код оваквог савијања у потпуности притиска лим у призму. Крајњи изглед лима дефинисан је коришћеном призмом. Сила која је потребна за савијање зависи од радијуса, односно угла матрице. По правилу, што је радијус савијања мањи потребна је већа сила за савијање. На слици 2-6 је дат пример оваквог савијања.



Слика 2-6 Пример савијања лима ослањањем

### 2.3.3 Савијање лима у три тачке (кружно савијање)

Савијање лима у три тачке једна је од новијих метода савијања. Овакво савијање користи покретни ваљак који може да прилагођава своју висину, а покретан је серво мотором. Овакав принцип савијања користи се само у случајевима кад се захтева висока прецизност, а разлог томе је првенствено због високе цене ових машина. Ова врста савијања дата је на слици 2-7.



Слика 2-7 Савијање лима у 3 тачке

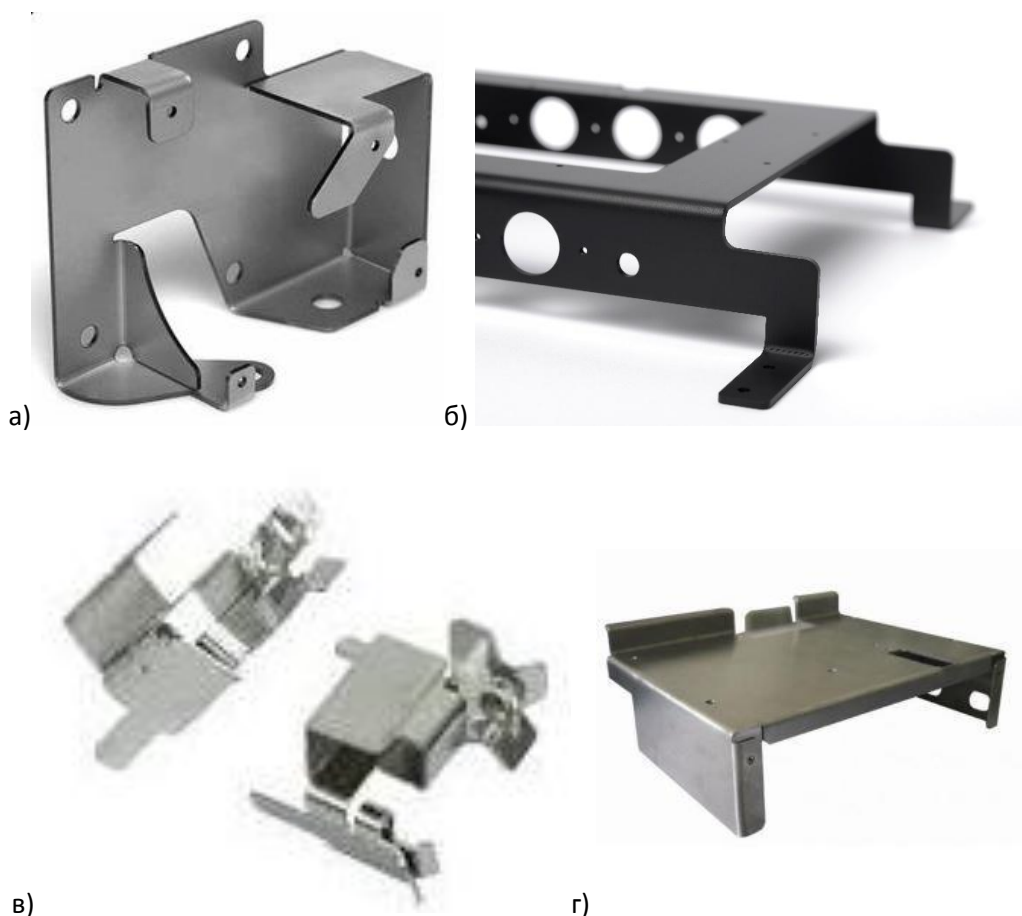
### 2.3.4 Остале технике савијања лимова

Од осталих техника и метода које се користе за савијање металних лимова треба истакнути савијање уметањем лима између матрица, већ споменуто кружно савијање, савијање помоћу ваљака и профилно савијање помоћу ваљака.

Избор методе савијања метала у многоме зависи од прецизности, еластичности и величине металног лима који се савија. Осим тога, приликом избора методе савијања треба узети у обзир еластично исправљање метала које захтева употребу додате силе како би метални лим задржао жељени облик.

## 2.4 Могућности израде компонената савијањем

У овом завршном раду биће обрађени делови који се добијају савијањем лимова на хидрауличкој преси. Овакав вид савијања пружа веома велике могућности за добијање различитих врста делова за разне намене. На слици 2-8 су дати примери овако добијених делова.



Слика 2-8 Примери добијених делова од танких лимова: а) носач електро-плочице; б) носач телевизора; в) оков за намештај; г) заштитна облога

Због могућности добијања различитих облика и димензија делова на овај начин, њихове могућности примене у индустријској пракси су веома велике.

### 3. Начини конструисања компонената од танких лимова

Начини конструисања компонената од танких лимова морају да буду у највећем борју случајева аналогни са добијањем ових делова у пракси. Веома је битно да се при конструисању оваквих делова води рачуна да се жељени део добија из што мањег броја операција. У данашње време конструисање делова од танких лимова знатно олакшава употреба CAD софтвера у ове сврхе.

#### 3.1 Употреба специјализованих софтвера за конструисање компонената од танких лимова

Рад са компонентама од танких лимова је у данашње време могуће спроводити у разним CAD софтверима. Најчешћи софтвери у употреби за ову сврху су:

- Dassault Systems CATIA,
- Dassault Systems SolidWorks,
- Autodesk Inventor и други.

У оквиру овог завршног рада ће бити приказана употреба сваког од поменутих софтвера понаособ за одабрани део, као и израда истог у пракси (која ће бити приказана у следећем поглављу).

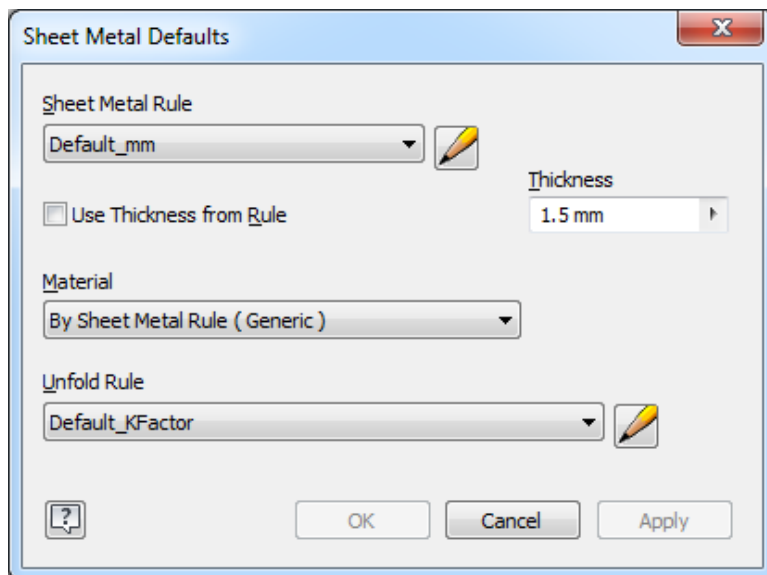
#### 3.2 Анализа добијања дела у софтверу Autodesk Inventor 2020

Добијање делова од танких лимова, компонената од танких лимова, у софтверском пакету Autodesk Inventor 2020 се врши у окружењу Sheet Metal Design. Ово окружење се значајно разликује од окружења Part Design које се користи за добијање пуних делова. Добијање делова од танких лимова, тј. израда оваквих модела се врши аналогно њиховој производњи. У овом поглављу биће објашњено детаљно како се добија део од танког лима приказан на слици 3-1, [9].



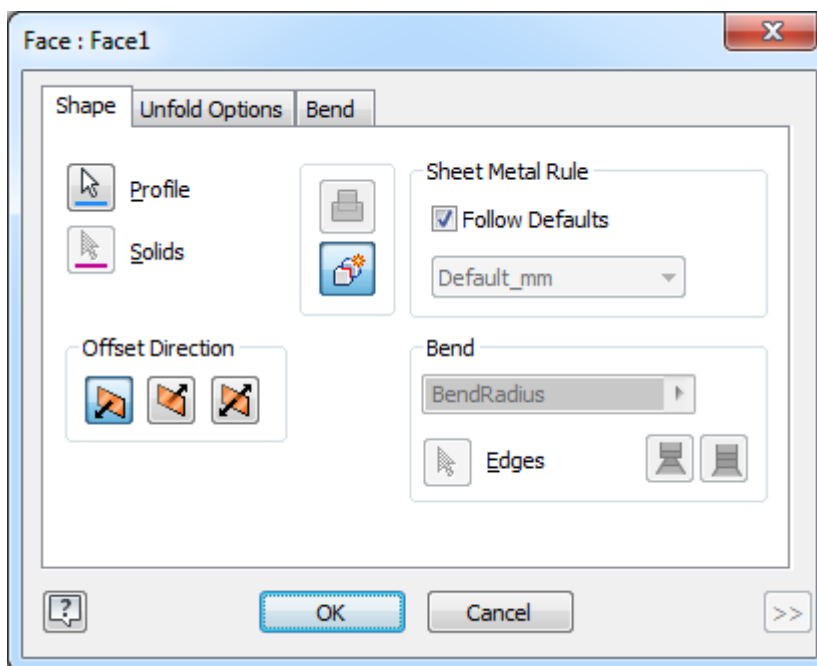
Слика 3-1 Изглед дела израђеног од танког лима

На почетку рада са компонентама од танких лимова неопходно је да се подеси стандардна дебелина лима од које је предвиђена израда компоненте. Autodesk Inventor 2020 нуди већину стандардних дебелина лимова. За сваку одабрану дебелину се аутоматски прорачунава *K* фактор, неопходни параметар за савијање. У овом случају је одабран лим дебелине 1,5 mm. Дијалог за избор дебелине лимова је приказан на слици 3-2, [10-11].



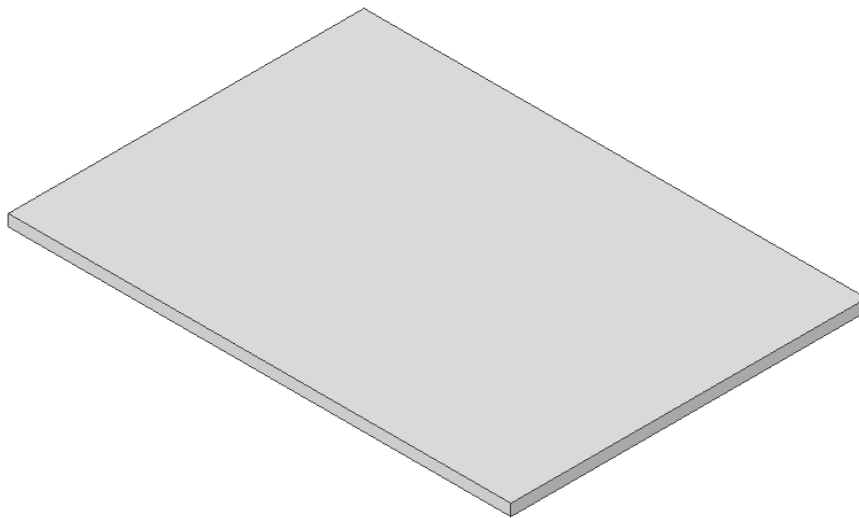
Слика 3-2 Дијалог за подешавање дебелине лима

Након подешавања дебелине лима неопходно је да се дефинише база дела у односу на коју ће бити савијене стране компоненте. База се најчешће дефинише правоугаоним облицима. Пре дефинисања базе мора се направити скица која дефинише величину базе дела. База дела се добија командом Face, чији је дијалог приказан на слици 3-3.



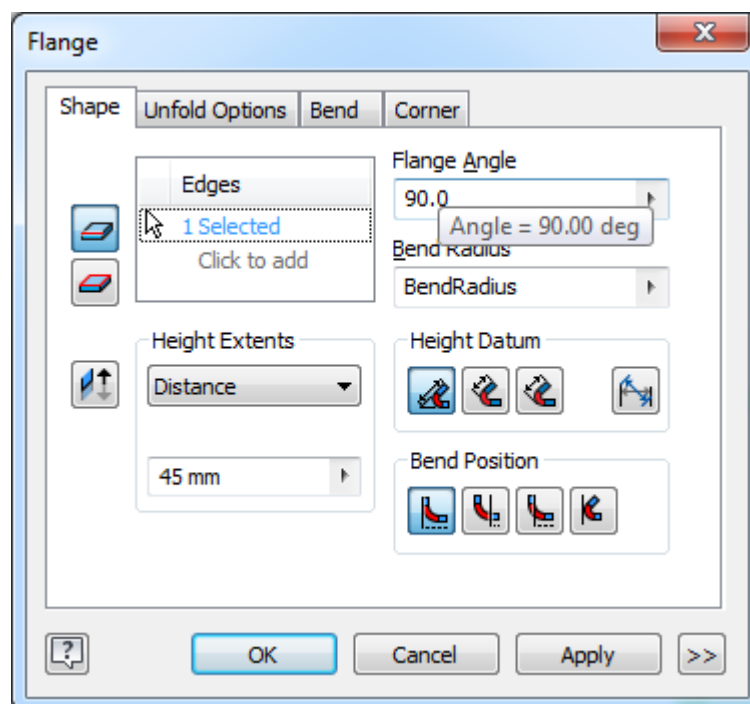
Слика 3-3 Команда Face за добијање базе дела

Изглед добијене базе дела приказан је на слици 3-4.



Слика 3-4 Изглед добијене базе дела од танког лима

Следећа фаза у добијању модела од танког лима је додавање страница. Додавање страница се врши командом Flange. Дијалог за команду Flange је приказан на слици 3-5.



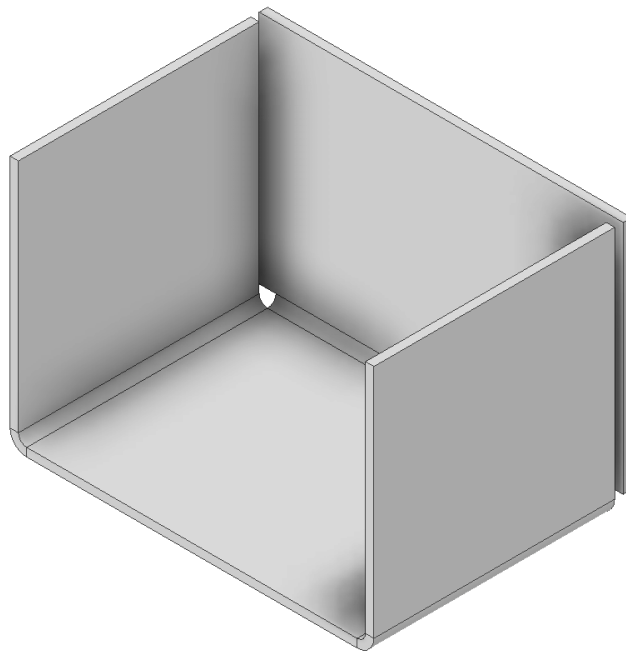
Слика 3-5 Дијалог команде Flange

Командом Flange се добија страница савијањем лима у задатом правцу. У команди Flange су могућа следећа подешавања:

- могуће је одабрати једну или више страница,
- могуће је задати дистанцу савијања,
- могуће је мењати радијус савијања,
- могуће је мењати угао савијања,

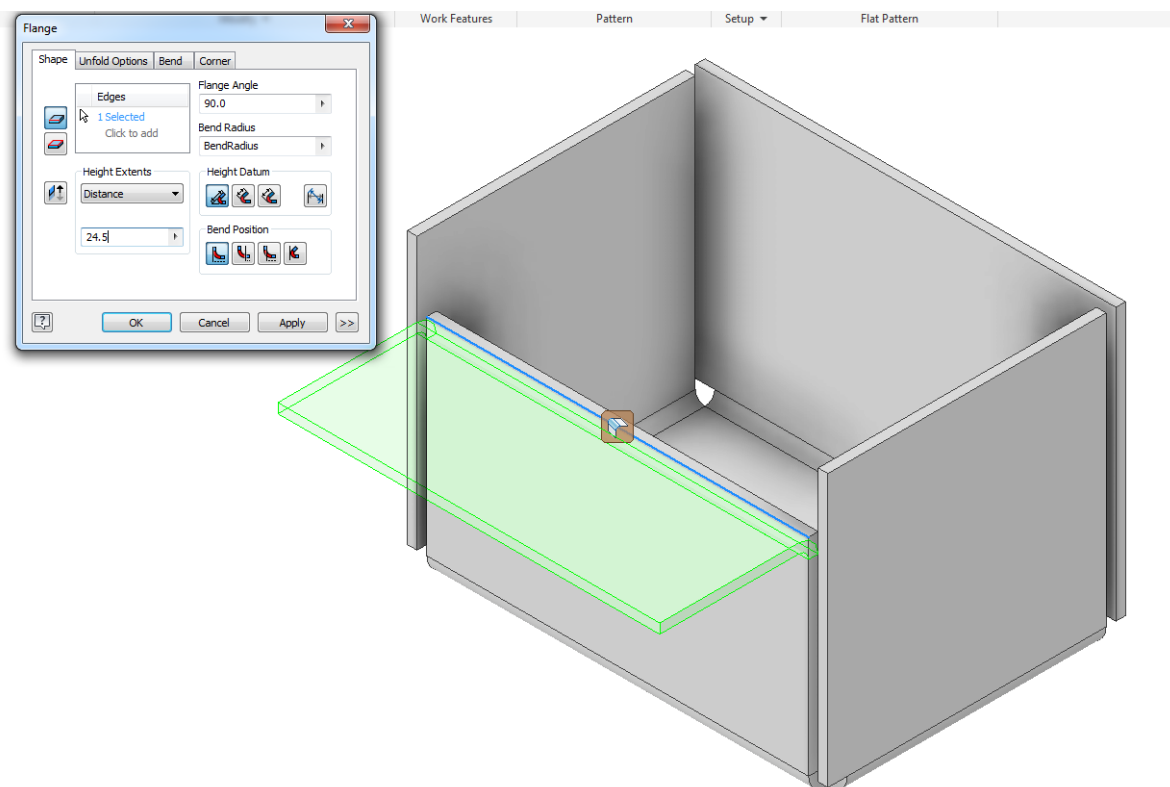
- могуће је подешавати засецање темена (што је неопходно када се савијају суседне странице) и др.

Савијене странице су дате на слици 3-6.



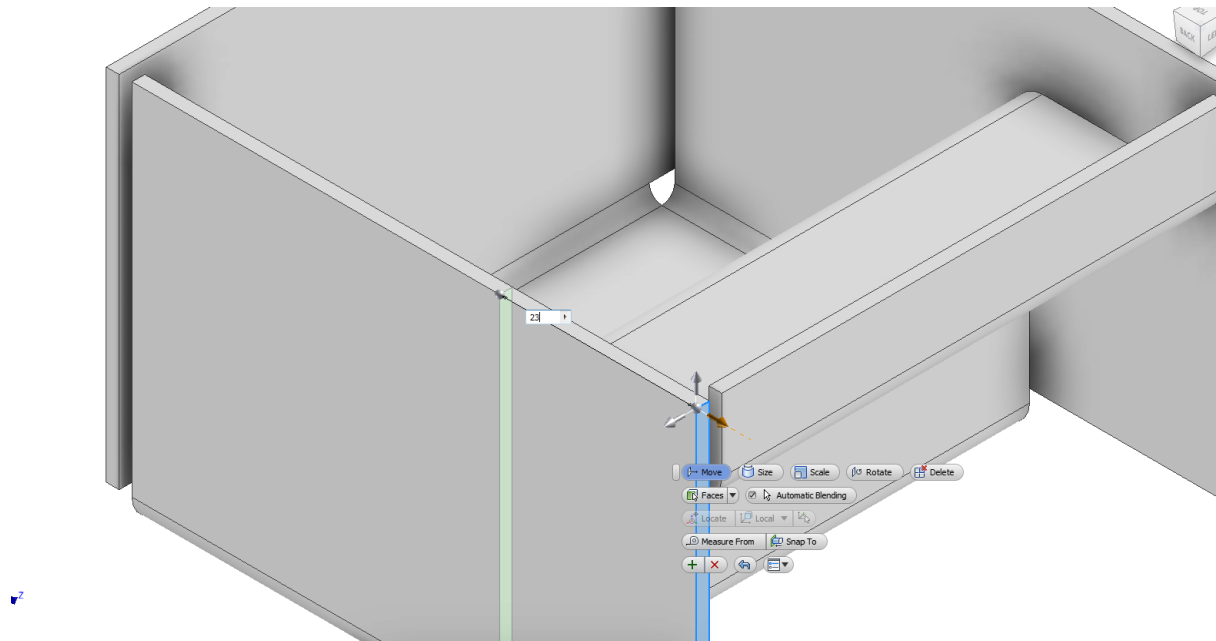
Слика 3-6 Изглед савијених страница

Команда Flange може да се користи и за добијање страница различитих величина на истом моделу, као и за савијање у различитим правцима. На слици 3-7 је приказано добијање хоризонтално савијене странице.



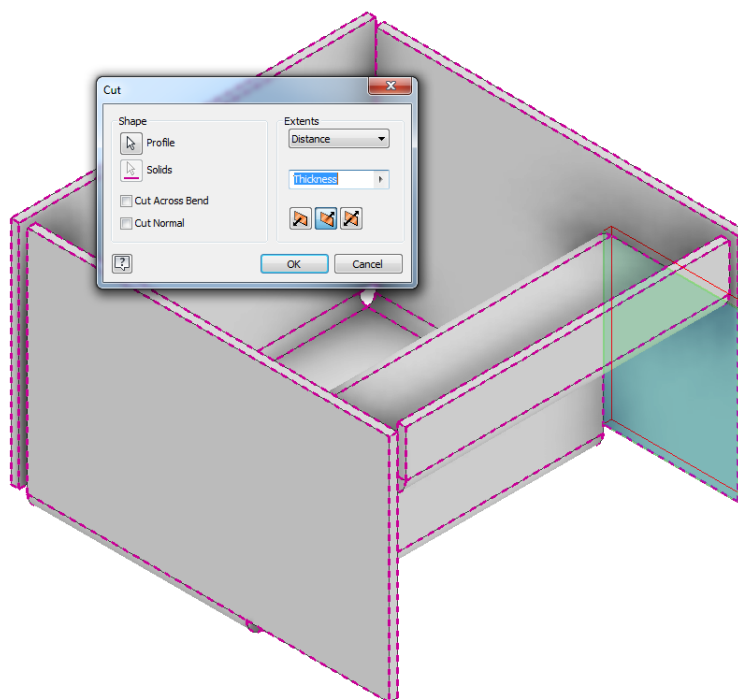
Слика 3-7 Добијање хоризонтално савијене странице

Да би се добила геометрија дела приказаног на слици 3-1, неопходно је да се изврши продужење бочних страница. Ово продужење страница се врши командом MoveFace. Употреба команде MoveFace је приказана на слици 3-8.



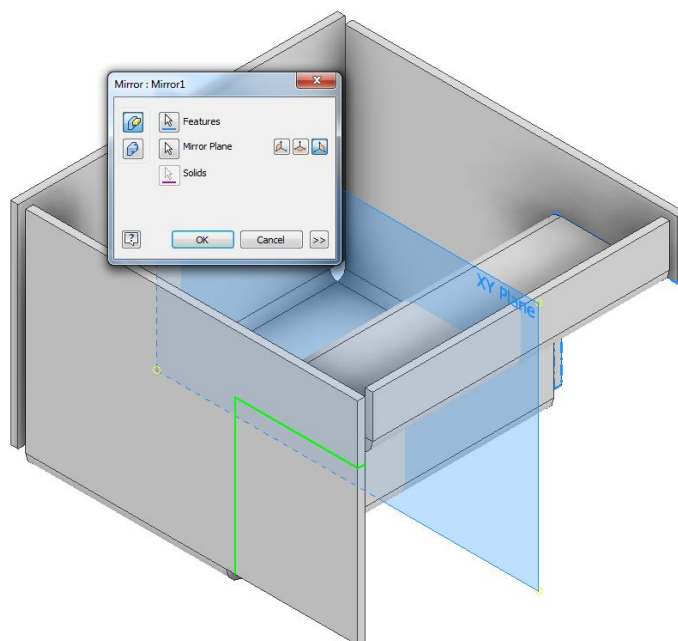
Слика 3-8 Употреба команде MoveFace

Када се обави савијање главних страница, тада је неопходно да се уклоне вишкови материјала. Вишкови материјала се уклањају командом Cut. Поступак уклањања вишка материјала је дат на слици 3-9. Пре уклањања вишка материјала неопходно је да се скицом ограничи материјал који се уклања.



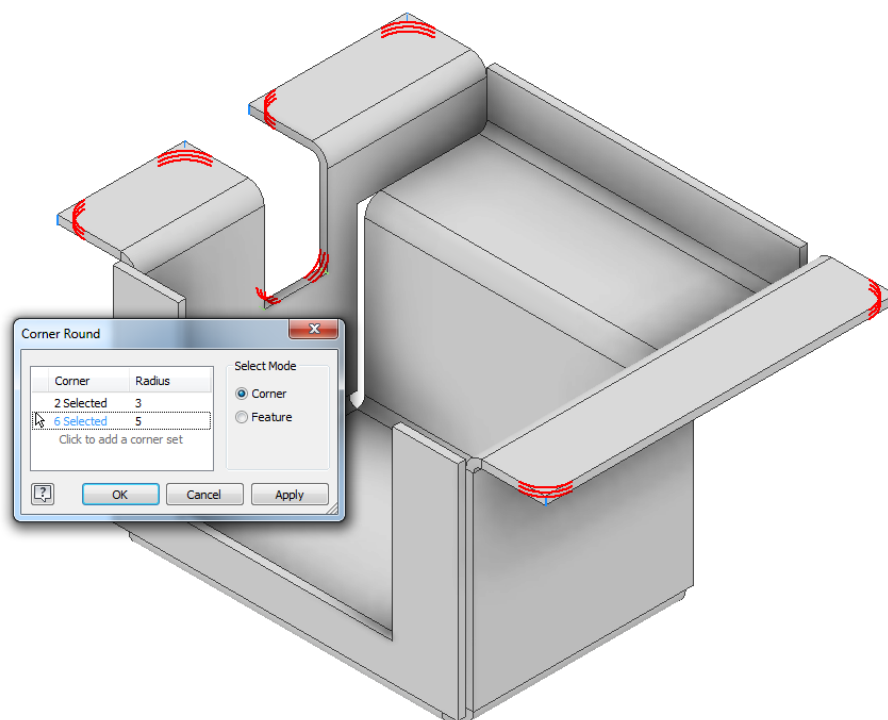
Слика 3-9 Употреба команде Cut

Како би се процес добијања компоненти од танких лимова убрзао, неопходно је да се осносиметрични делови моделирају из координатног почетка. Оваква стратегија омогућава да се ефикасно користи команда Mirror. Употреба команде Mirror је дата на слици 3-10.



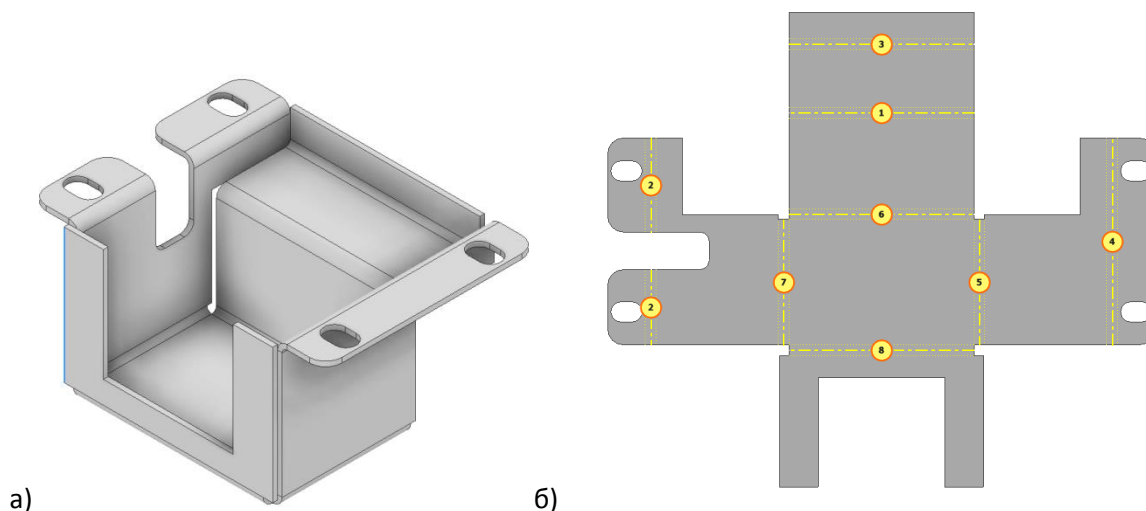
Слика 3-10 Употреба команде Mirror

Комбинацијом претходно описаних команди се лако долази до претпоследњег корака добијања дела приказаног на слици 3-1. Пре претпоследњег корака, отварање отвора за везивање дела, неопходно је уклонити оштре ивице. За ову операцију се користи команда Corner Round. Команда Corner Round је приказана на слици 3-11.



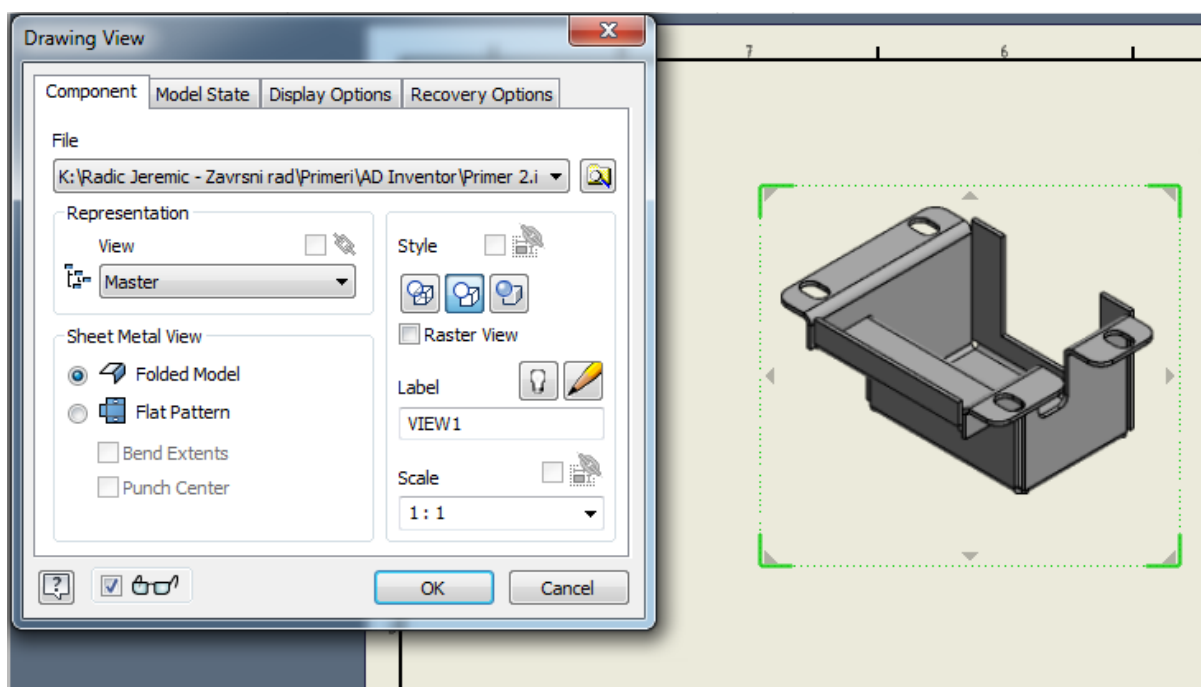
Слика 3-11 Команда Corner Round за уклањање оштрих ивица

На слици 3-12 је дат коначни изглед добијеног дела од танког лима. На слици 3-12 је такође дато и развијено стање са планом савијања који софтвер Autodesk Inventor 2020 сам генерише.



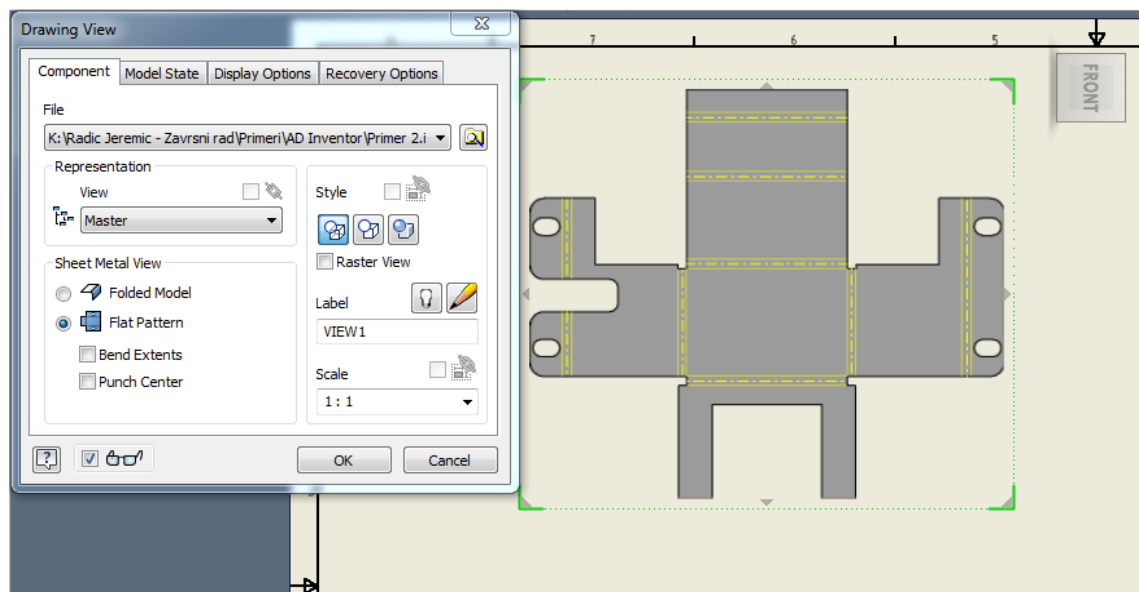
Слика 3-12 Изглед коначног модела од танког лима: а) савијено стање; б) развијено стање

Када је добијен модел неопходно је приступити креирању техничке документације да би се добила готова компонента приказана на слици 3-1. Креирање техничке документације се врши у окружењу Drafting. На слици 3-13 је приказано добијање изометријског приказа модела у Drafting окружењу.



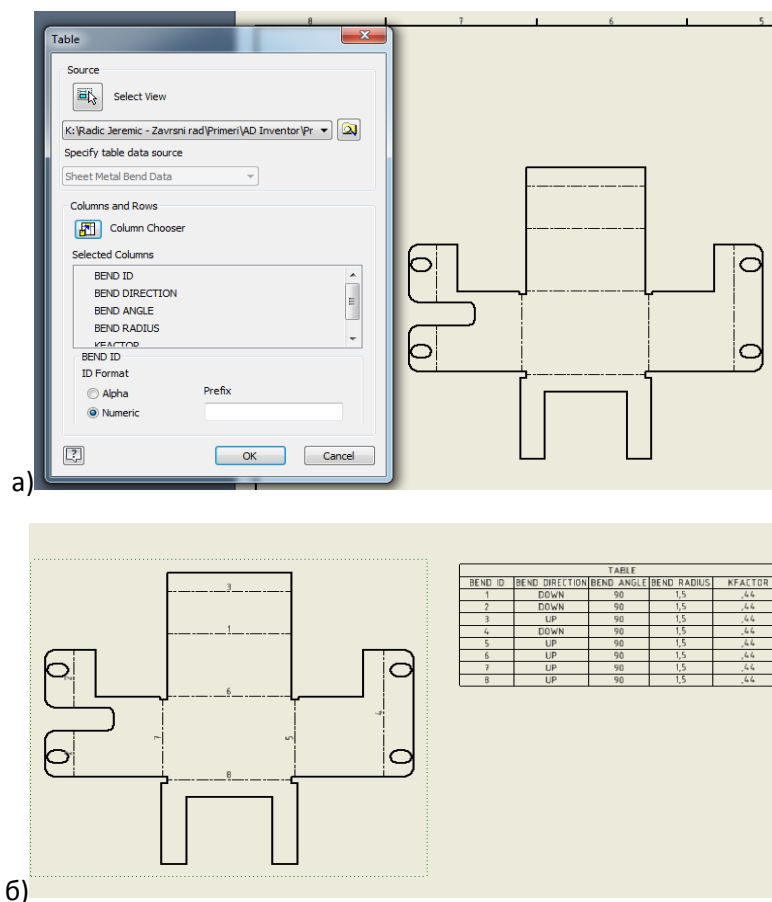
Слика 3-13 Добијање изометријског приказа модела у Drafting окружењу

За израду делова од танких лимова од пресудног значаја је и развијено стање дела. Ово развијено стање се изводи у DXF формат и шаље се на сечење (сечење плазмом, ласером и др.). На слици 3-14 је приказано како се развијено стање дела додаје у Drafting окружење. Приликом додавања развијеног стања неопходно је да се прикажу и линије савијања.



Слика 3-14 Додавање развијеног стања у Drafting окружење

Да би технологија добијања дела од танког лима била потпуна неопходно је да се дода и таблица савијања. Додавање таблице савијања је приказано на слици 3-15.



Слика 3-15 Додавање таблице савијања: а) позивање таблице; б) изглед додате таблице

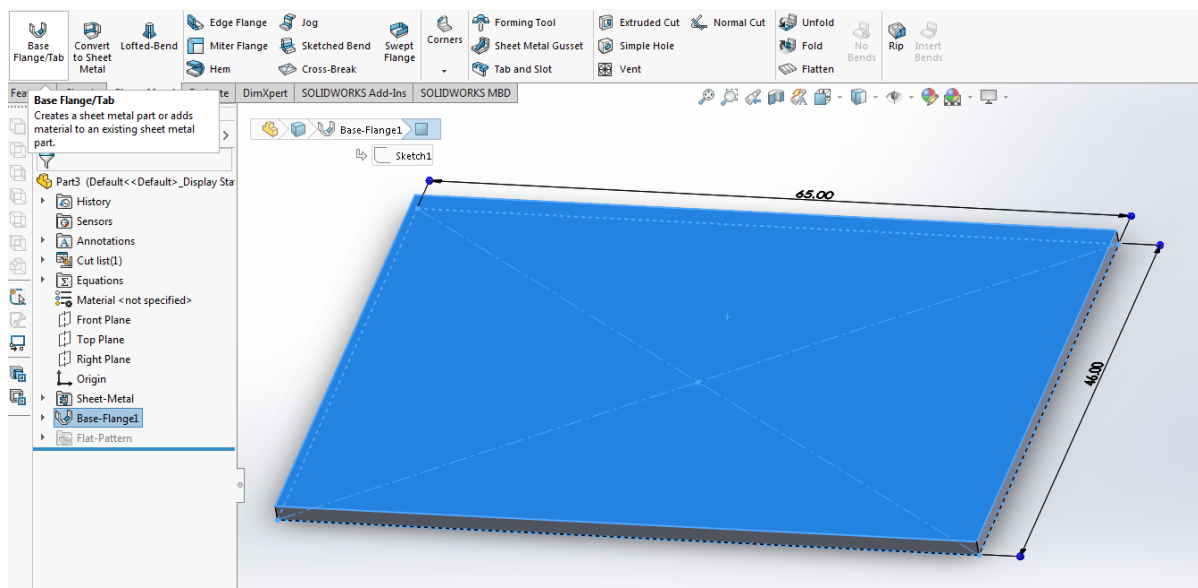
У таблицу савијања се могу видети све операције савијања развијеног стања, према редоследу, дужини савијања, оријентацији савијања, углу савијања и др. Таблица савијања има

могућност да прикаже и  $K$  фактор савијања као и радијус савијања лима. Унутрашњи радијус савијања лима не би требао да буде мањи од дебљине лима који се савија.

### 3.3 Анализа добијања дела у софтверу SolidWorks 2018

Добијање делова од танких лимова, компоненти од танких лимова, у софтверском пакету SolidWorks 2018 се врши у окружењу Sheet Metal. Ово окружење је врло слично окружењу Sheet Metal Design из софтверског пакета Autodesk Inventor и такође се врло разликује од Features окружења које служи за добијање пуних делова. Добијање делова од танких лимова у овом окружењу је поступно и у редоследу сличном као при изради истих делова приликом производње. У овој секцији биће објашњено детаљно како се добија горе поменути и објашњени примерак израђеног дела у овом софтверском пакету, [12].

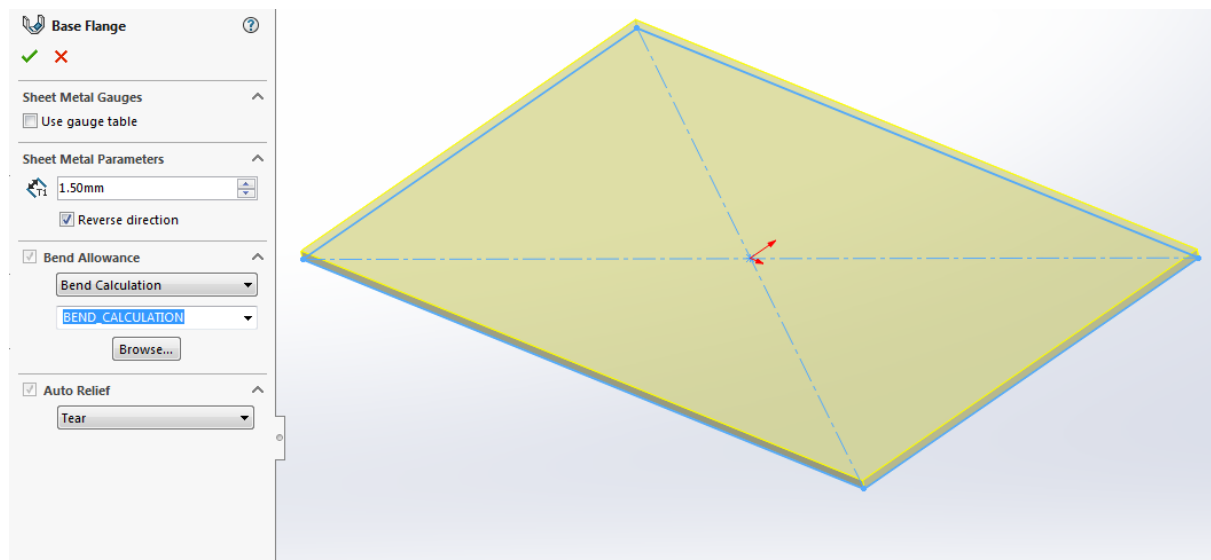
На почетку израде се скицира база дела од које крећу даља савијања. То се врши командом Base Flange/Tab као што је приказано на слици 3-16.



Слика 3-16 Креирање базе дела

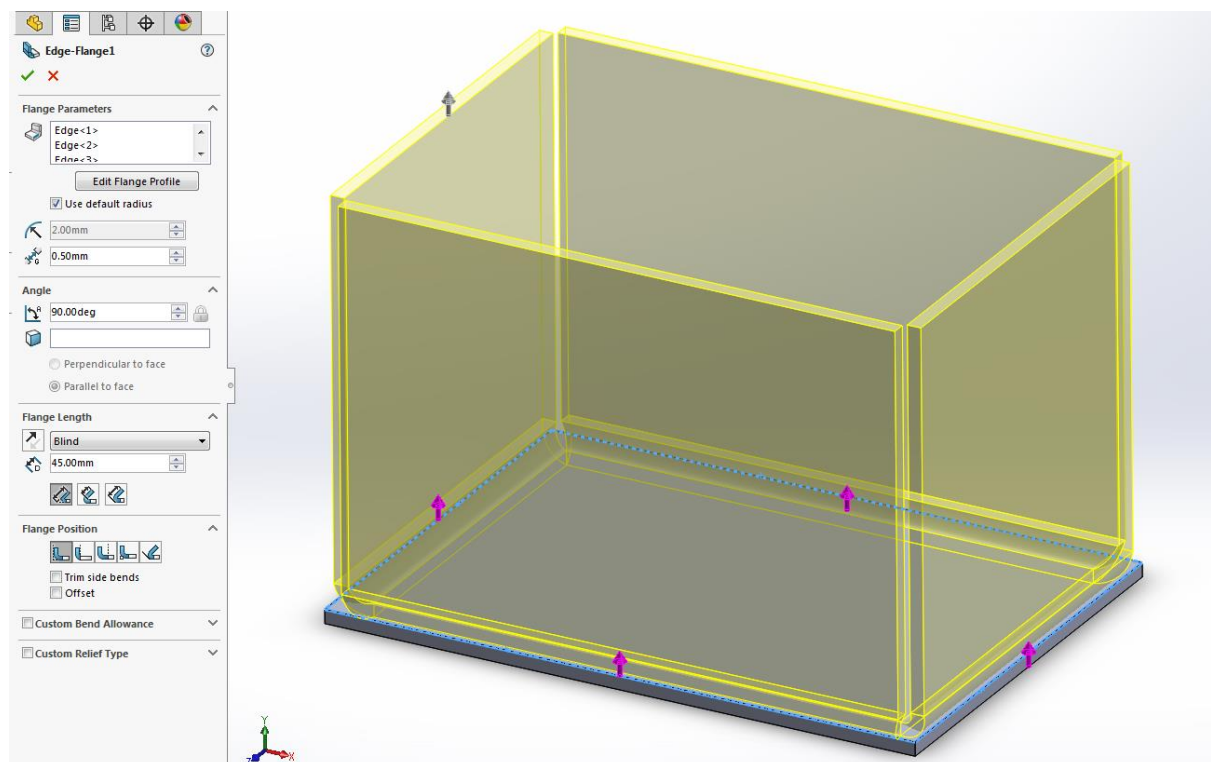
Затим се отвара окружење за уношење основне димензије дебљине танког лима за израду дела. У овом окружењу се уноси и начин прорачунања  $K$  фактора за савијање, а могуће је унети и аутоматско одступање при савијању. Изглед окружења је приказан на слици 3-17.

$K$  фактор савијања се може аутоматски прорачунавати у већ програмираним табелама и формулама или се могу програмирати и унети нове табеле, а могуће је мануелно уношење  $K$  фактора.



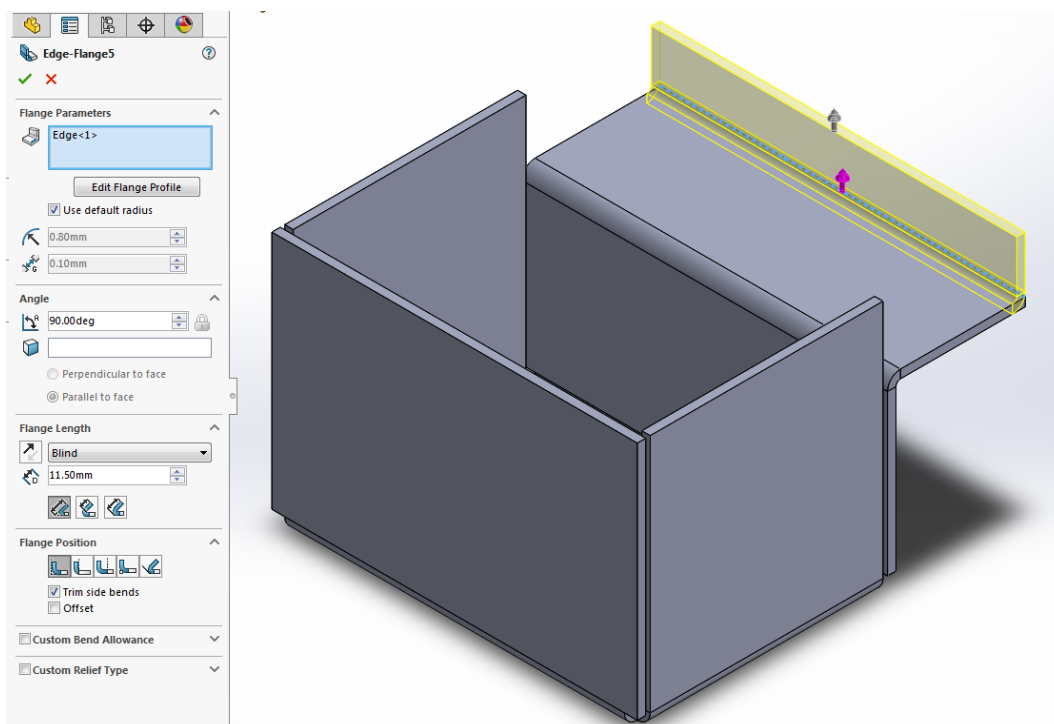
Слика 3-17 Уношење основних параметара и дебљине лима

Након што су унети основни параметри и дебљина лима сада се могу додати прва савијања на ивицама коришћењем команде Edge Flange. Дијалог за уношење страница на којима се додаје савијање је приказан на слици 3-18. У овом окружењу може се одабрати смер, угао и радијус савијања. На слици је приказано почетно савијање са све четири странице.



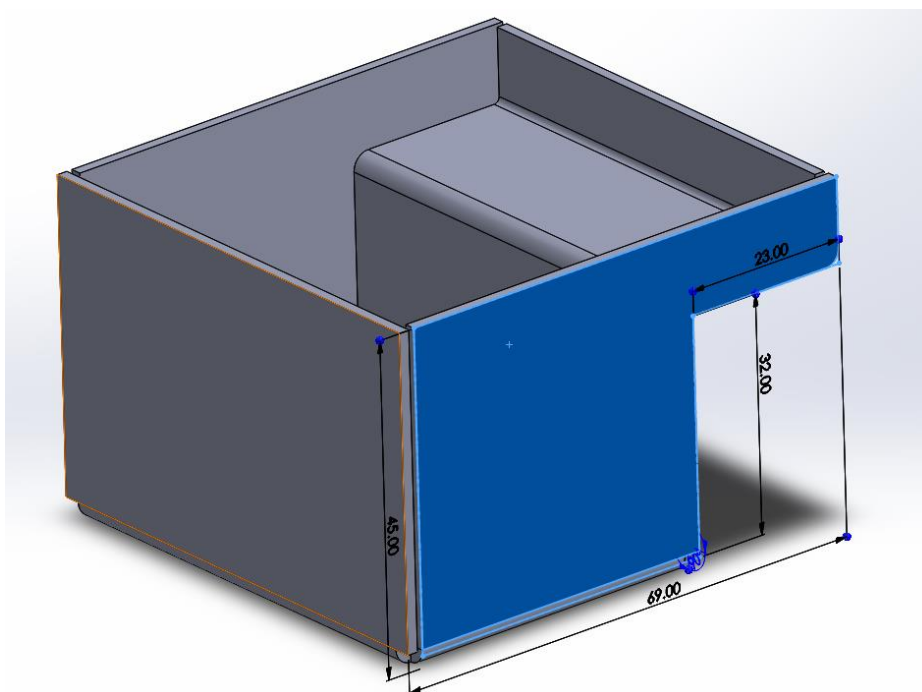
Слика 3-18 Edge Flange за уношење савијања на ивицама базе танког лима

Команда Edge Flange се може користити и за уношење даљих савијања на страницама дела у разним правцима, као што је приказано на слици 3-19.



Слика 3-19 Коришћење команде Edge Flange за добијање комплекснијих облика страница

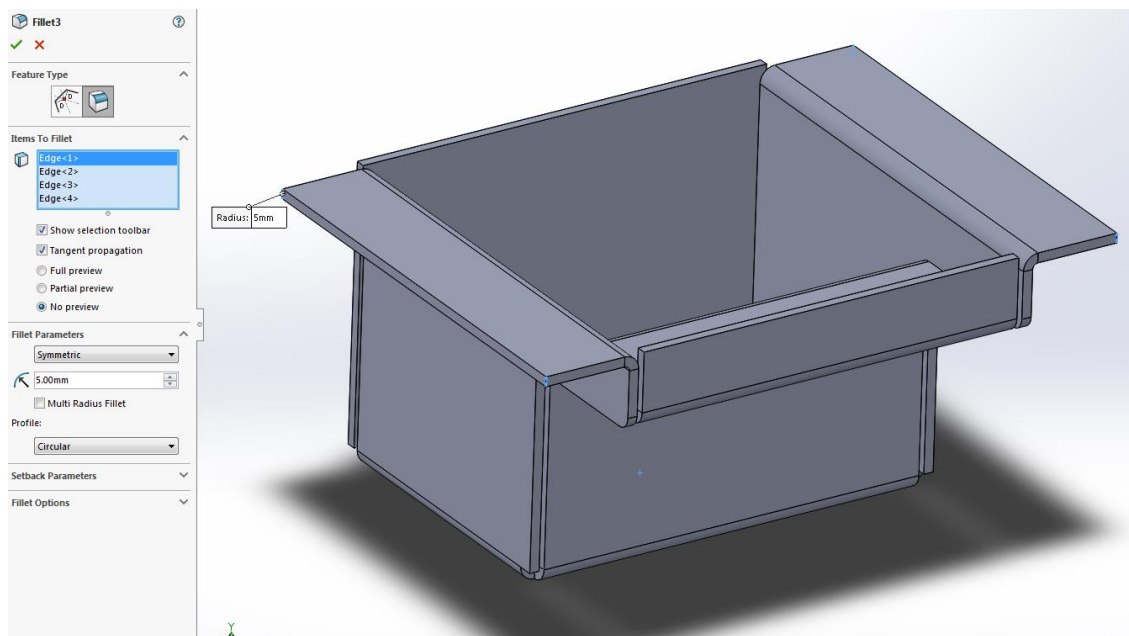
Окружење за додавање страница савијањем Edge Flange се може користити и за додавање страница на основу скицираних жељених облика, под условом да се жељени облици не преклапају са осталим страницама нити да улазе у њих у развијеном стању. Пример додавања странице на основу скице приказан је на слици 3-20.



Слика 3-20 Приказ додавања странице коришћењем команде Edge Flange на основу скице

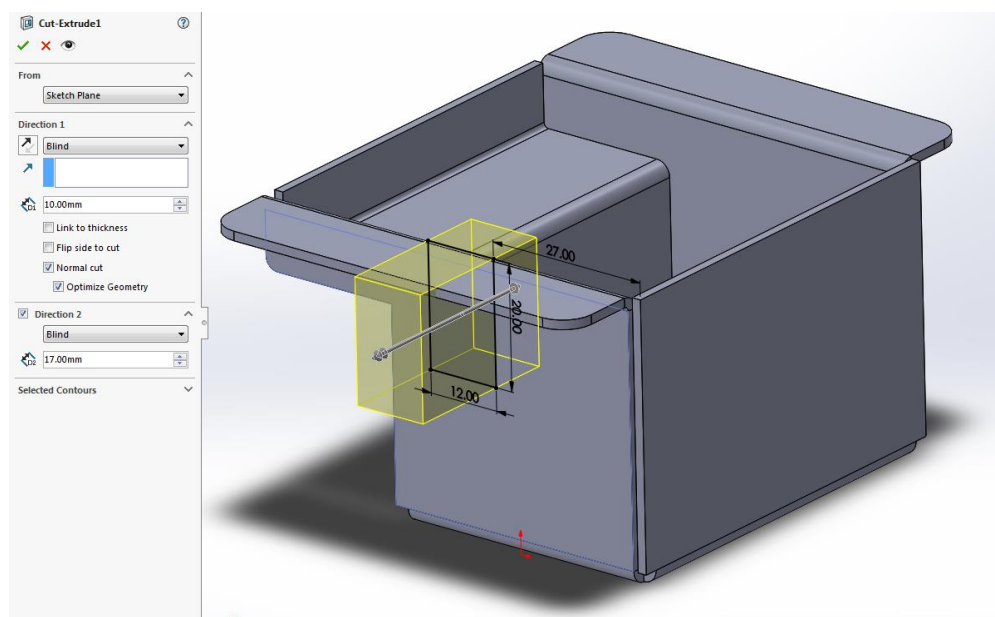
Након добијања жељеног облика дела од танког лима могу се оборити ивице коришћењем команде Fillet из окружења Features. Софтверски пакет SolidWorks дозвољава коришћење команди

из Sheet Metal и Features окружења истовремено на постојећем моделу израђеном од танких лимова за разлику од неких софтверских пакета нпр. Catia. Обарање ивица је врло препоручено када се ради на финалном производу. Пример коришћења команде Fillet за обарање ивица на моделу израђеном од танких лимова приказан је на слици 3-21.



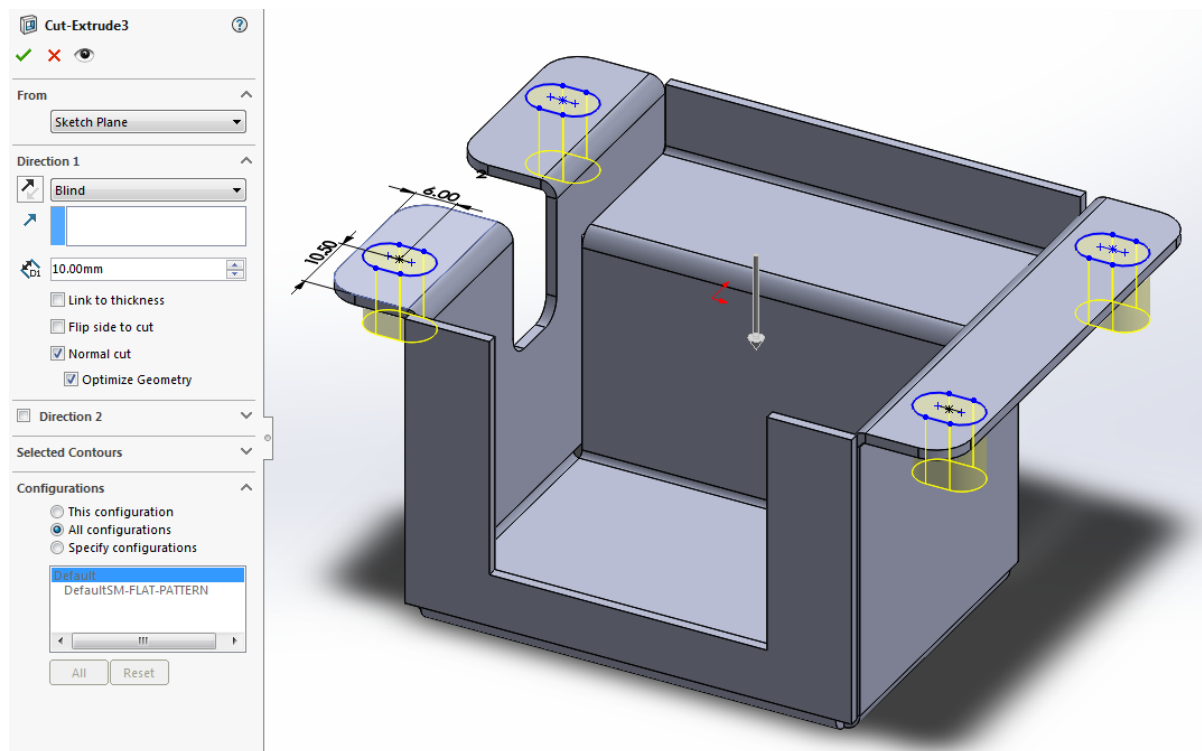
Слика 3-21 Пример коришћења команде за обарање ивица Fillet

Након што је завршено са додавањем свих страница на делу, могу се уклонити вишкови материјала коришћењем команде Extruded Cut из окружења Features. Пре коришћења команде Extruded Cut потребно је прво нацртати скицу по којој ће се вршити одстрањивање вишка материјала. Пример коришћења команде Extruded Cut приказан је на слици 3-22.



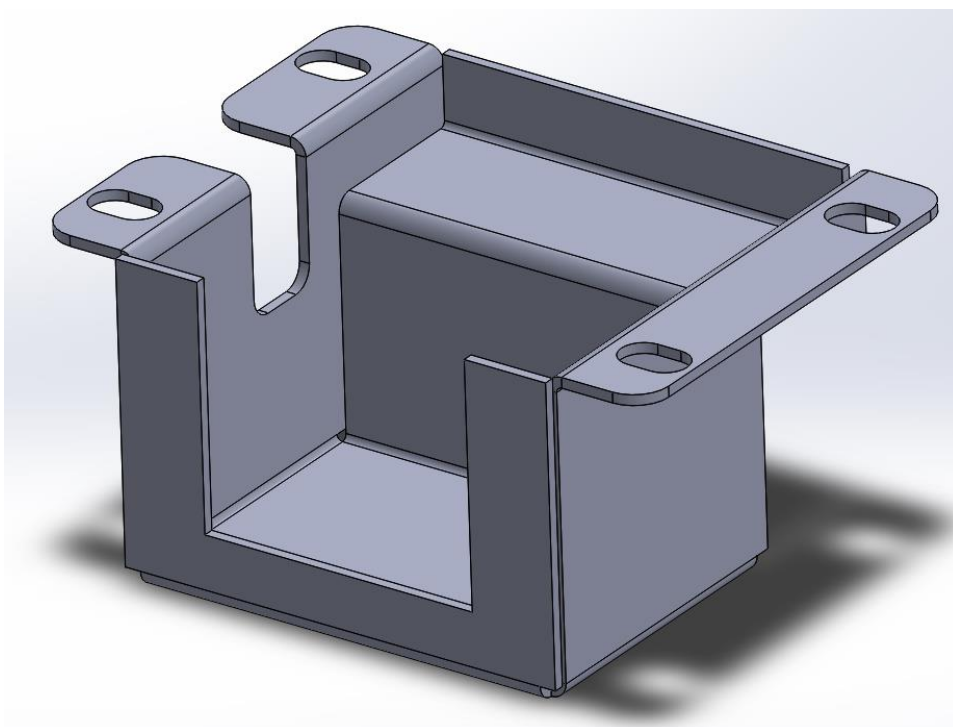
Слика 3-22 Пример коришћења команде Extruded Cut за уклањање вишка материјала

Командом Extruded Cut могуће је направити отворе или слотове као и техничке рупе на делу од танког лима. На слици 3-23 приказан је пример израде слотова коришћењем команде Extruded Cut.

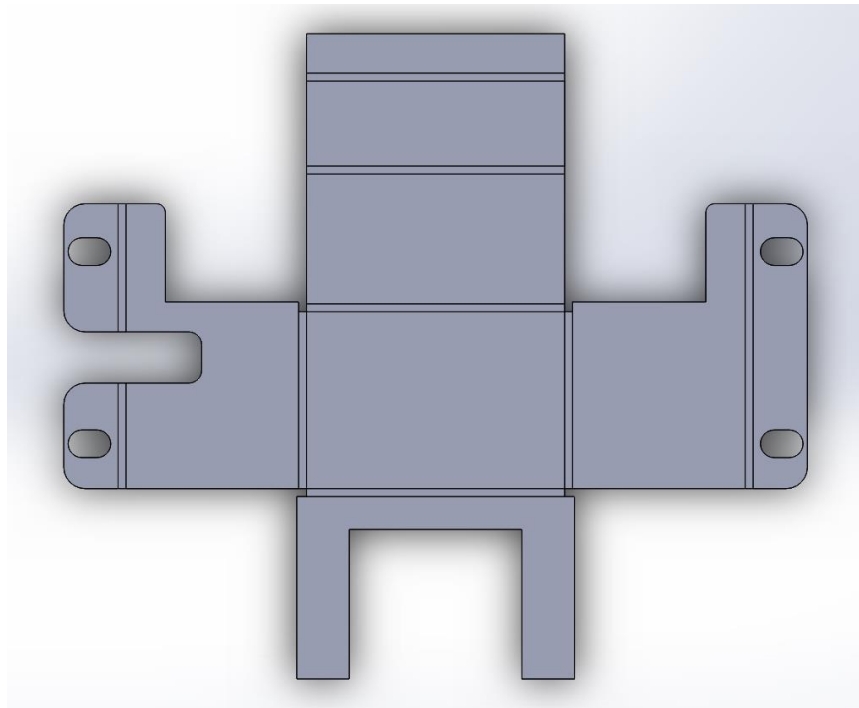


Слика 3-23 Коришћење команде Extrude Cut за израду слотова

На слици 3-24 је дат коначни изглед добијеног дела заштитне кутије прекидача од танког лима. На слици 3-25 је изглед развијеног стања добијеног коришћењем команде Flatten.

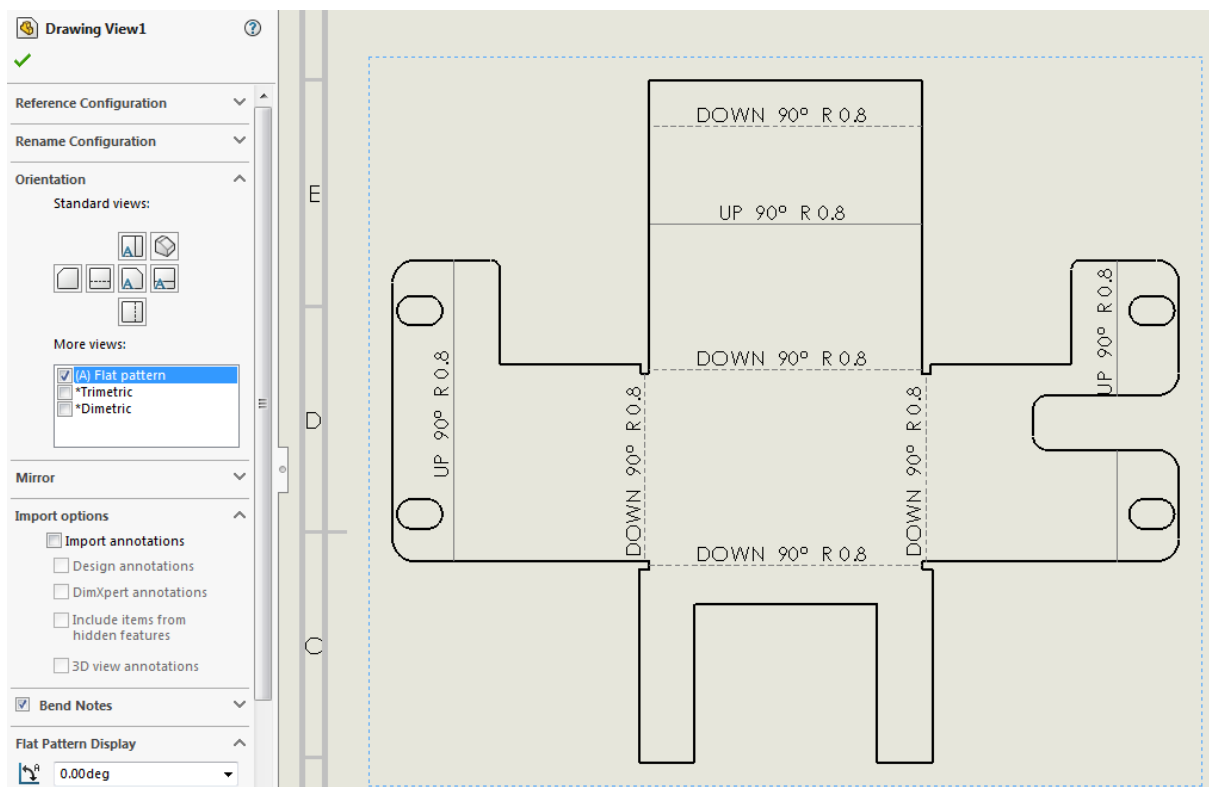


Слика 3-24 Коначни изглед добијеног дела заштитне кутије прекидача



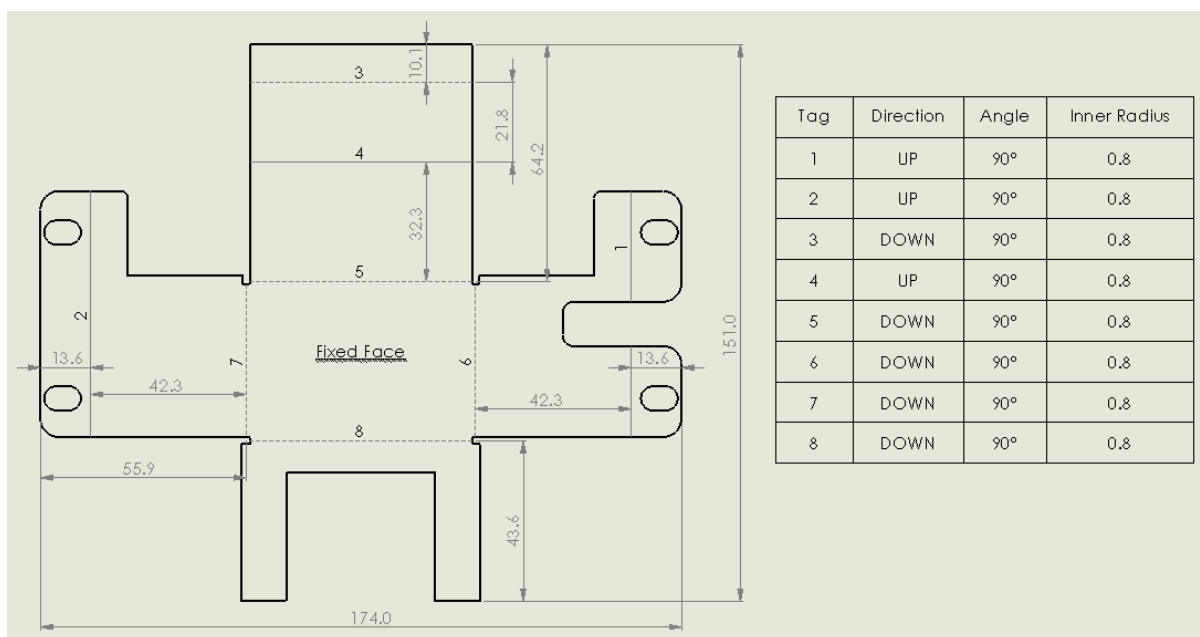
Слика 3-25 Изглед развијеног стања коришћењем команде Flatten

Након завршене израде модела потребно је припремити техничку документацију за израду дела. Припрема технике документације се врши у окружењу Drafting. Потребно је прво да се увезе жељени модел и основни поглед у развијеном стању коришћењем команде Model View као што је приказано на слици 3-26.



Слика 3-26 Коришћење команде Model View за увожење развијеног стања модела у цртеж

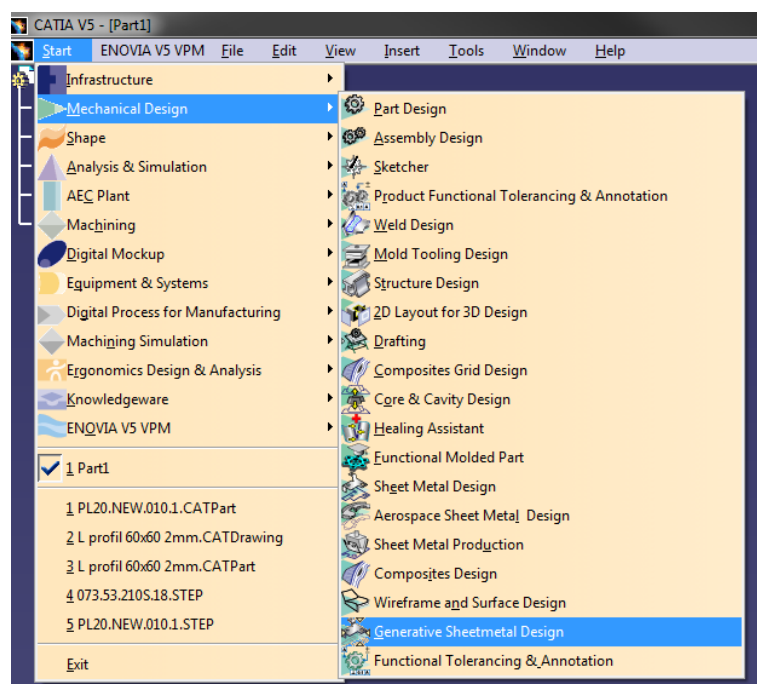
За израду дела од танког лима неопходно је припремити техничку документацију са развијеним и савијеним стањем жељеног дела као и све неопходне коте са раздаљинама гажења од ивица и од претходних гажења, радијусе савијања и углове савијања. Пожељно је дати и спољашње димензије развијеног стања. Софтверски пакет SolidWorks дозвољава извожење развијеног стања модела у форматима као што су DWG, DXF који су неопходни за израду на фибер-ласеру, плазми или чак абкант преси ако се ради о једноставној контури (U-профил, L-профил). На слици 3-27 приказано је развијено стање са свим потребним котама и табелом савијања. Додавање табле савијања се врши у секцији Annotation командом Bend Table у одељку Tables.



Слика 3-27 Развијено стање са свим потребним котама за савијање и табела савијања

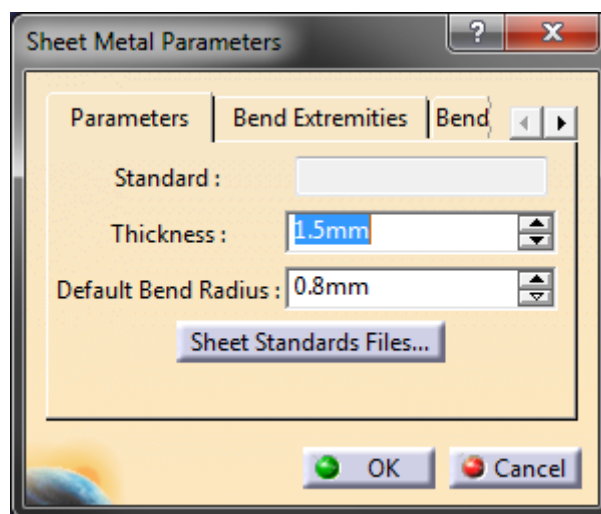
### 3.4 Анализа добијања дела у софтверу CATIA V5R18

Израда делова или компонената од танких лимова у софтверском пакету Dessault Systems CATIA V5R18 врши се у изолованом окружењу Generative Sheet Metal Design. Ово окружење за разлику од софтверског пакета SolidWorks је изоловано и није могуће користити команде из других окружења. Приликом израде модела од танких лимова потребно је користити само команде из овог окружења како би се могло доћи до финалног развијеног стања. На слици 3-28 приказана је путања до уласка у окружење Generative Sheet Metal Design.



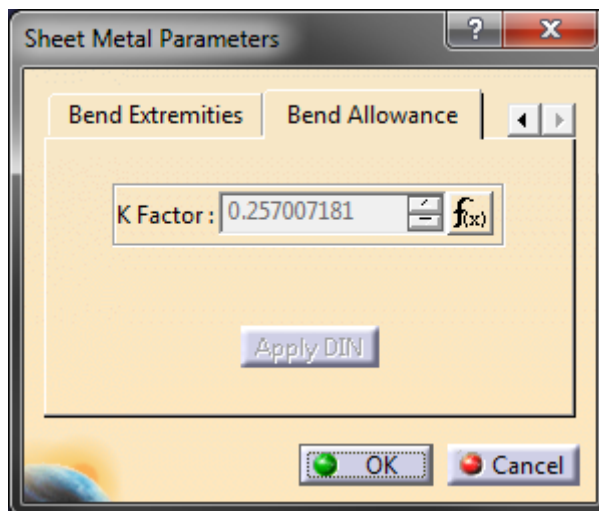
Слика 3-28 Приказ уласка у окружење Generative Sheetmetal Design

Пре него што се започне рад у овом окружењу потребно је унети основне параметре танког лима као што је дебелина, радијус савијања и тип отпуштања материјала приликом савијања наспрамних страница. На слици 3-29 приказан је изглед прозора за уношење основних параметара Sheet Metal Parameters.



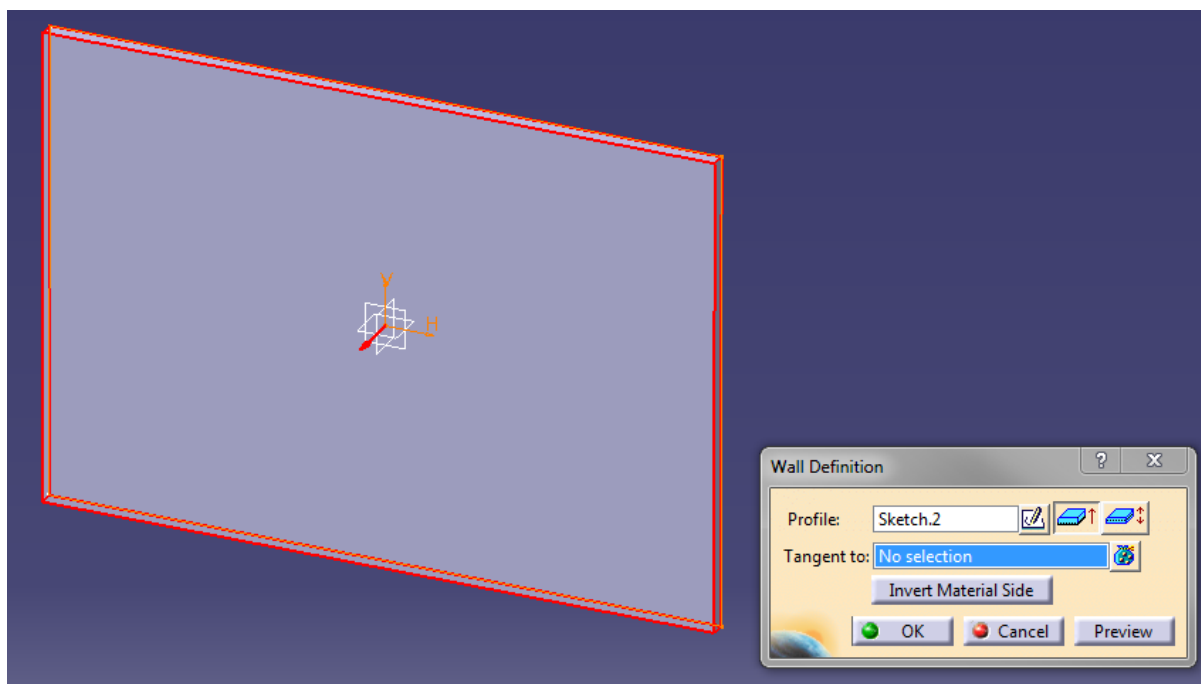
Слика 3-29 Изглед прозора Sheet Metal Parameters за уношење основних параметара

Софтверски пакет Catia има прилично тачно и поуздано аутоматско прерачунавање  $K$  фактора у односу на дебљину материјала, врсту материјала и радијус савијања. Приказ прозора са аутоматски прорачунатим  $K$  фактором савијања је на слици 3-30.



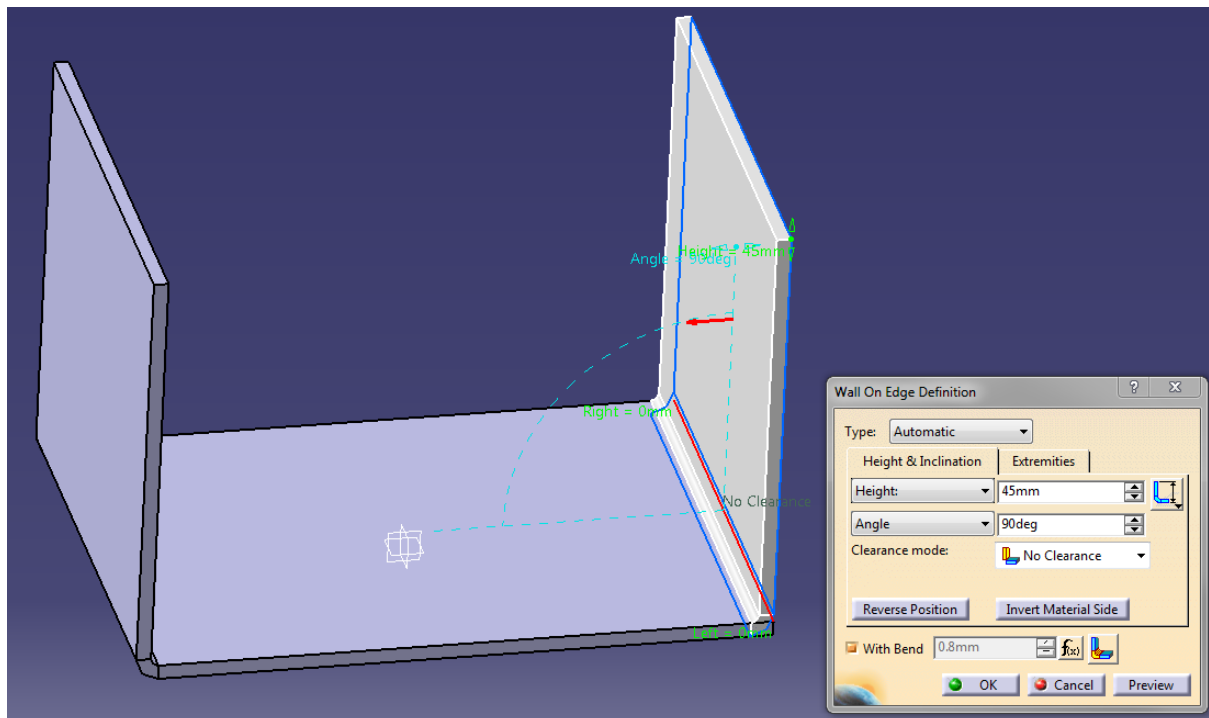
Слика 3-30 Изглед прозора за аутоматско прерачунавање  $K$  фактора

Следећи кораци су врло слични као у претходна два софтверска пакета. Потребно је скицирати основну страницу или базу савијања и коришћењем команде Wall дефинисати је у танки лим као што је приказано на слици 3-31.



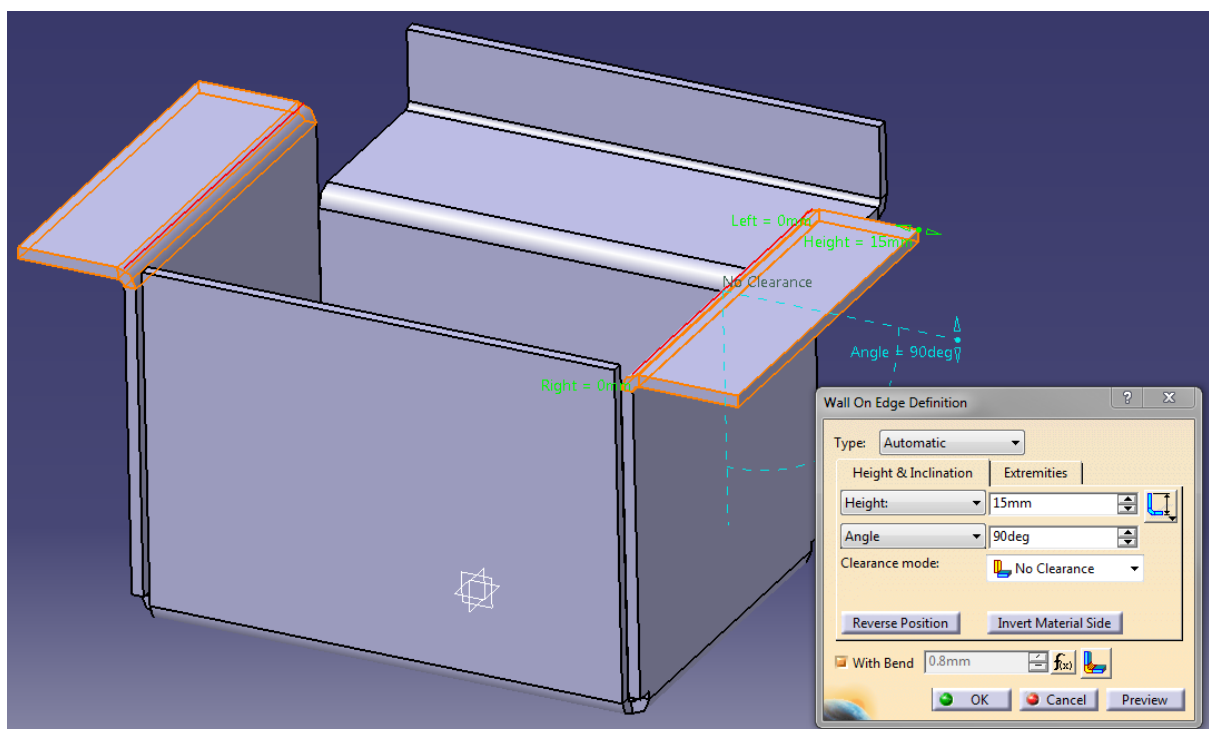
Слика 3-31 Приказ команде Wall за дефинисање базе савијања

Након дефинисања базе могу се унети основне странице и савијања коришћењем команде Wall On Edge. Странице се могу уносити аутоматски само је потребно дефинисати висину страница и угао. Могуће је уношење и страница базираним на скицама али се основне линије скице морају поклапати са ивицом на коју се наноси страница. На слици 3-32 је приказано аутоматско уношење страница командом Wall On Edge.



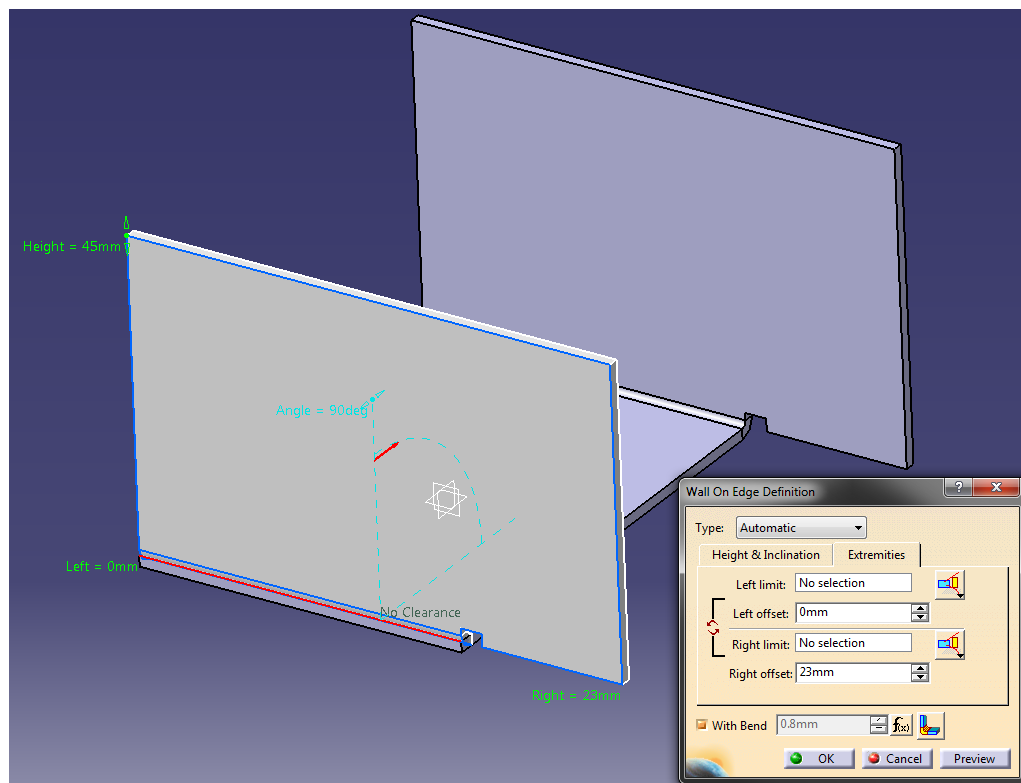
Слика 3-32 Приказ коришћења команде Wall On Edge

Као у претходна два програма могуће је уношење даљих савијања на унетим страницама. На слици 3-33 је приказано уношење последњих савијања коришћењем команде Wall On Edge.



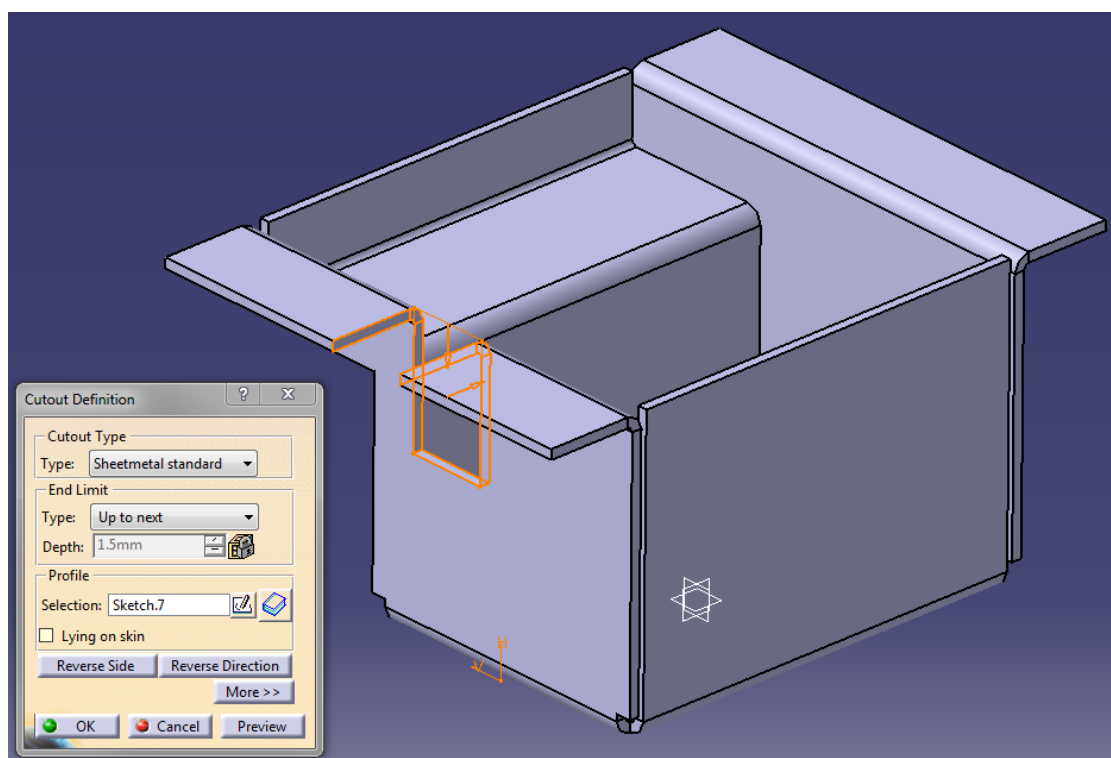
Слика 3-33 Уношење последњих савијања коришћењем команде Wall On Edge

Како би се добило продужење страница из примера потребно је користити секцију Extremities и унети тражене дужине за продужење страница као што је приказано на слици 3-34.



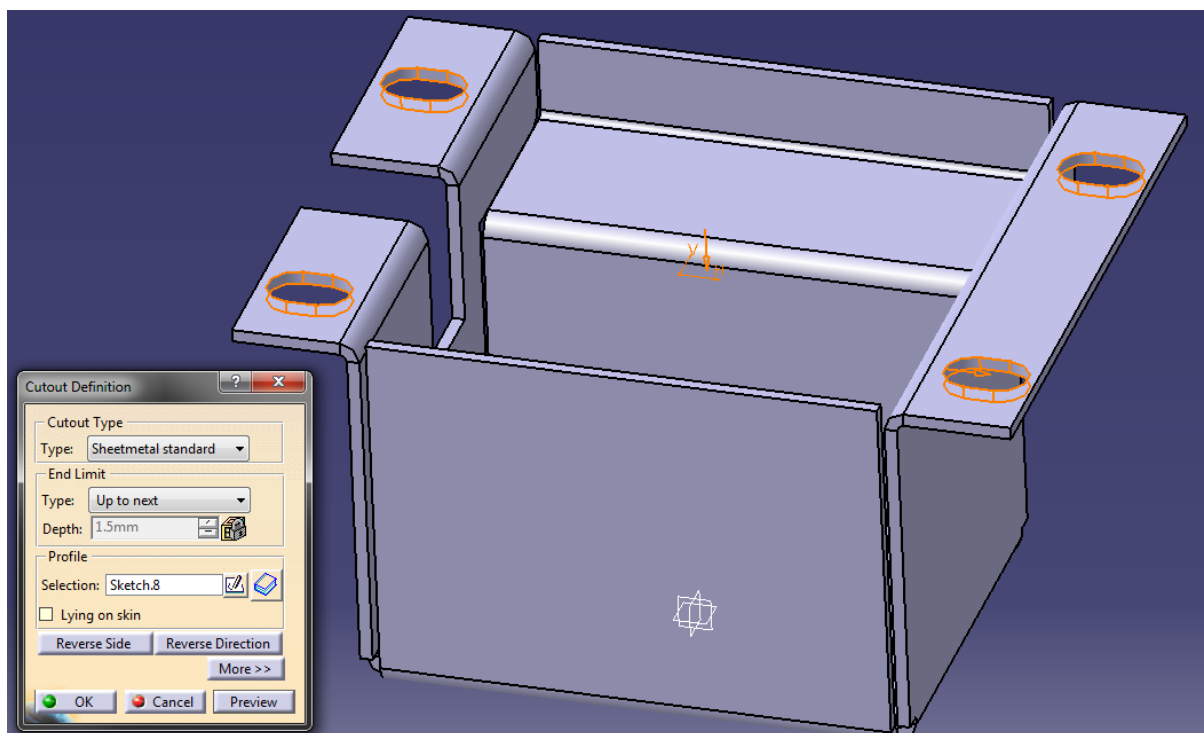
Слика 3-34 Коришћење продужења страница у секцији Extremities

Након завршеног уношења страница потребно је уклонити вишак материјала коришћењем команде Cutout. За коришћење команде Cutout потребно је претходно скицирати усеке које треба одстранити, након чега се уноси смер и дубина усецања као што је приказано на слици 3-35.



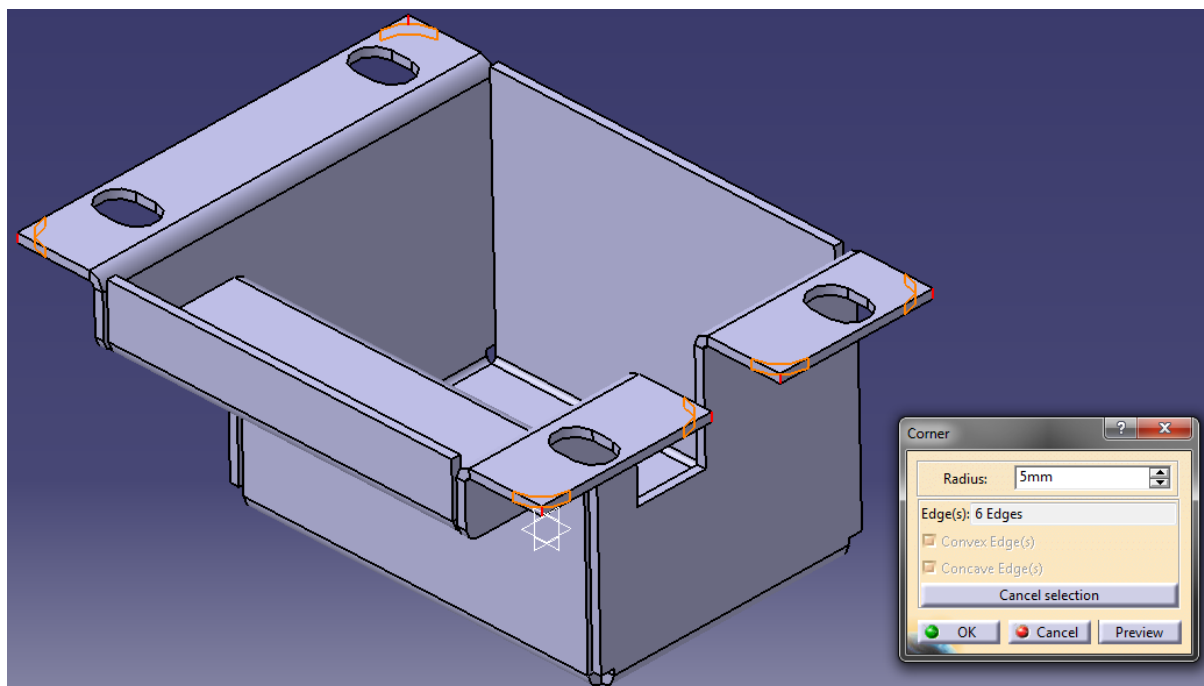
Слика 3-35 Приказ коришћења команде Cutout за одстрањивање вишка материјала

Командом Cutout такође могуће је усећи жељене рупе и слотове као што је приказано у примеру на слици 3-36.



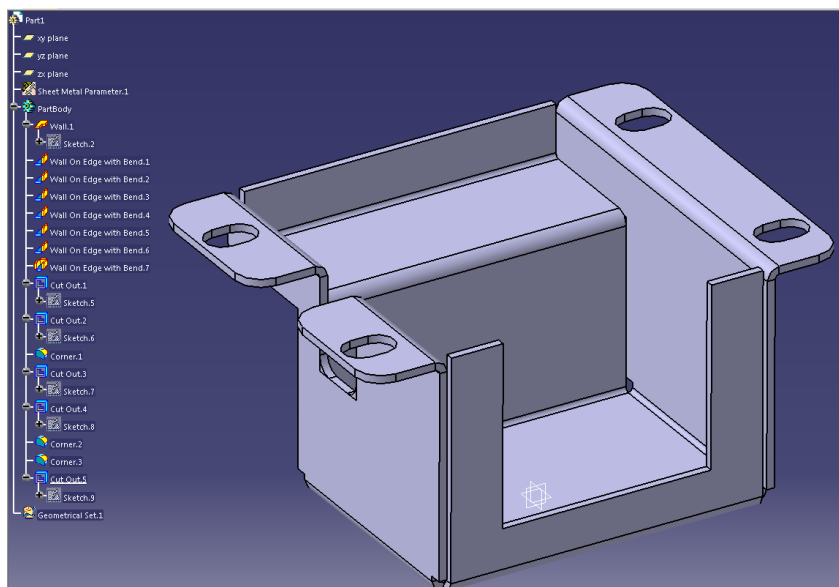
Слика 3-36 Коришћење команде Cutout за исецање слотова

Обарање ивица се ради командом Corner. Обарање ивица или на спољашњим или унутрашњим ивицама је могуће урадити истом командом само је потребно селектовати жељене ивице и унети радијус обарања ивице као што је приказано на слици 3-37.



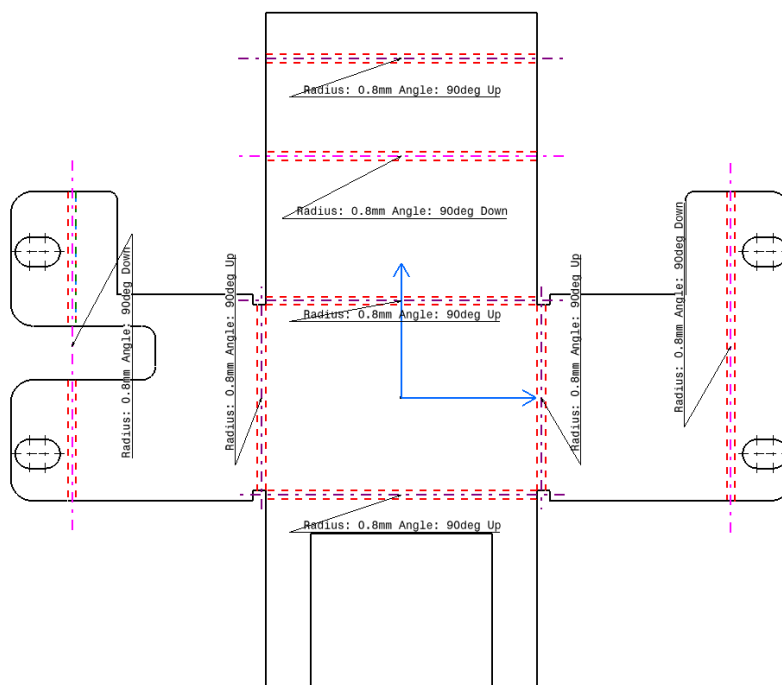
Слика 3-37 Обарање ивица командом Corner

На слици 3-37 је приказ коначног модела од танког лима за који је даље потребно припремити техничку документацију и развијено стање.



Слика 3-38 Приказ коначног модела од танког лима

За израду технике документације је потребно прећи у окружење Drawing, у које се може увести развијено стање модела коришћењем команде Unfolded View. Након увеженог погледа развијеног стања аутоматски се добијају линије савијања (гажења), радијуси савијања и углови савијања. Разлика у односу на претходна два софтверска пакета је та што Catia не даје аутоматски и смерове савијања или таблицу савијања.

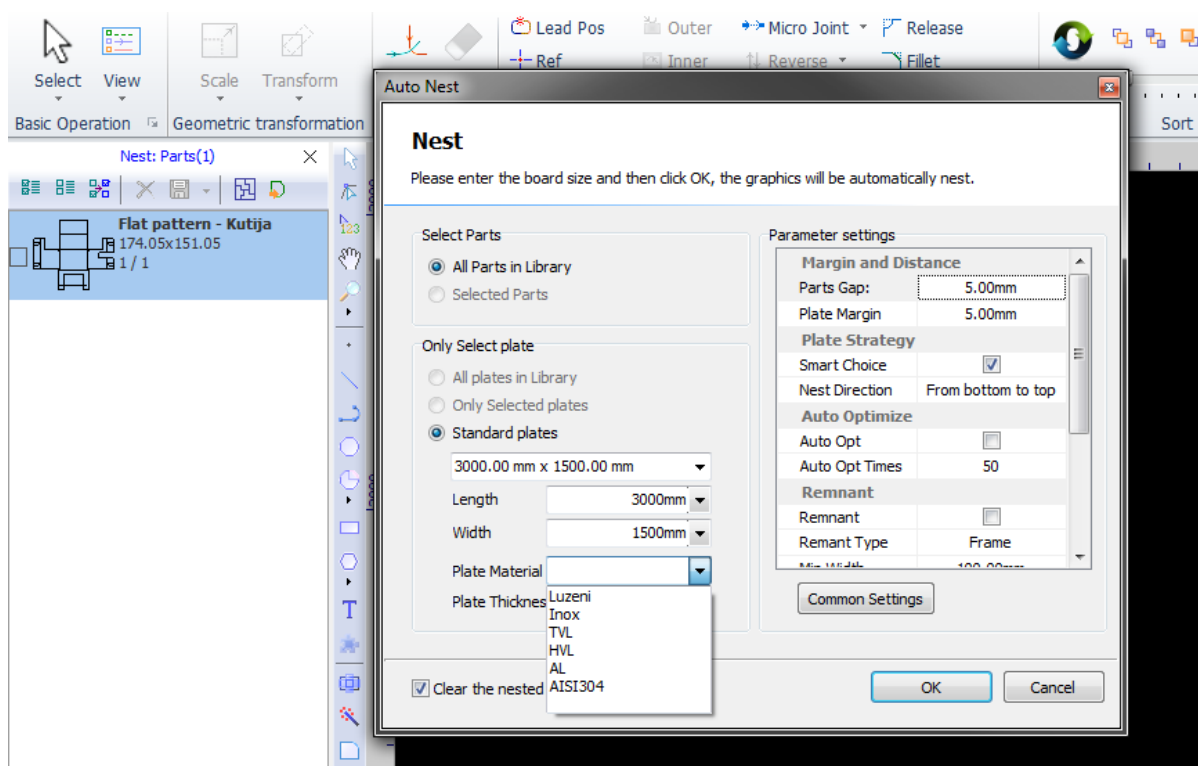


Слика 3-39 Приказ развијеног стања у окружењу Drawing

Уколико се ради комплетно заглавље и жели се аутоматски прорачун тежине комада, потребно је изабрати врсту материјала пре израде заглавља.

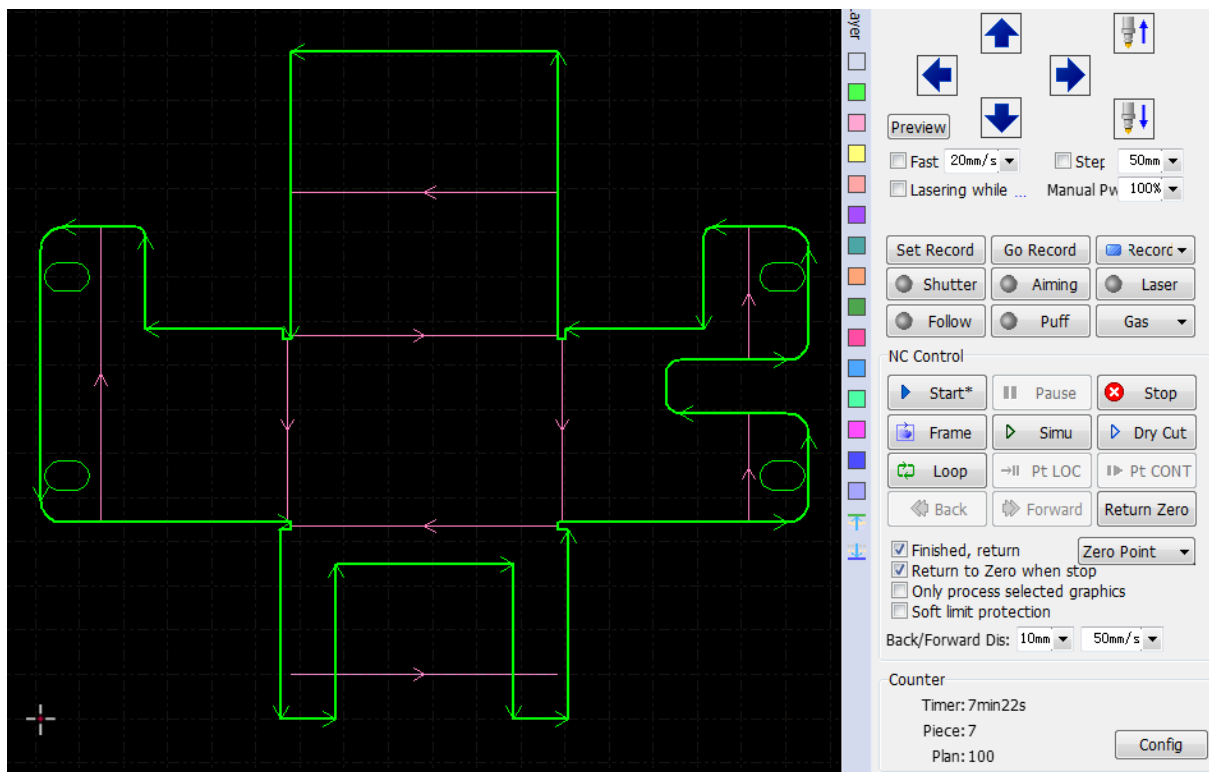
## 4. Израда изабраног дела

Приликом припреме дела за ласерско сечење потребно је добијени DXF цртеж развијеног стања саме контуре без кота и ознака увести у програм за припрему програма за сечење. У софтверу за припрему програма и технологије за сечење унети дебљину материјала, врсту и квалитет материјала, димензије потребне табле за сечење, брзину сечења, гас, снагу и параметре сечења. Параметри сечења су претходно испитани на датом квалитету и дебљини материјала, или је потребно на лицу места испробати и наћи одговарајуће параметре за што квалитетнији рез уколико се ради о материјалу на коме није претходно сечено. Пример уношења основних параметара у софтвер за припрему израде резањем приказан је на слици 4-1. Nest је систем паковања делова у табле танких лимова ради што бољег искоришћења материјала и смањења вишка отпадног материјала. На слици су приказани и основни параметри са размаком између делова, начином паковања и смером паковања делова у табле као и извор димензија табле лима.



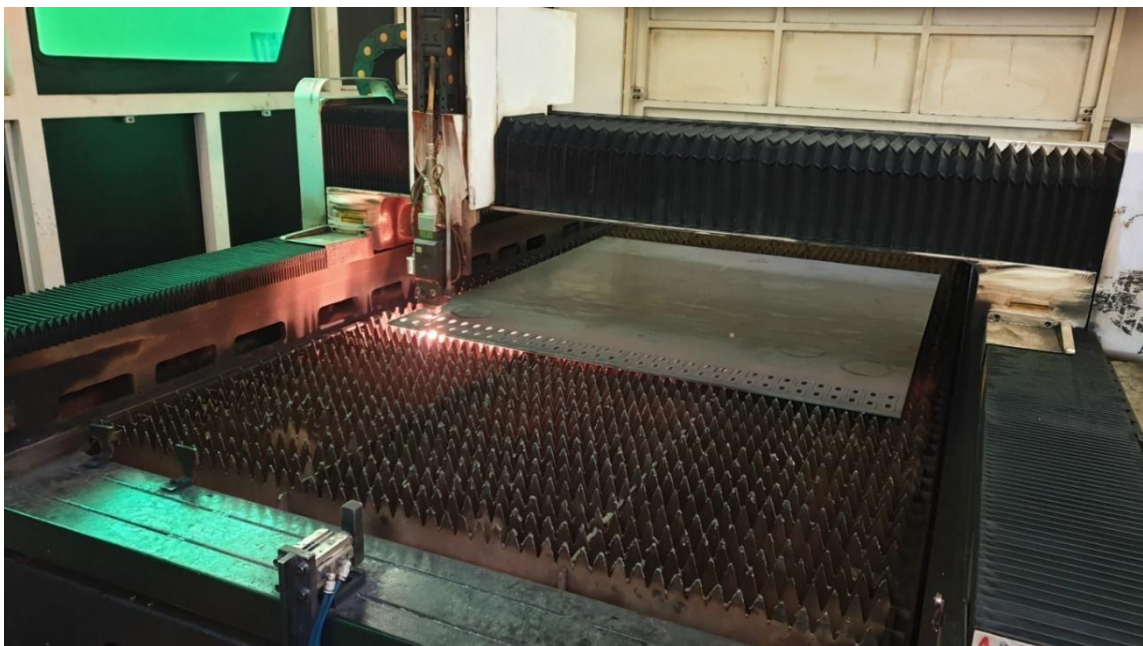
Слика 4-1 Пример припреме програма за сечење на фибер-ласеру марке Bodor

Уколико се ради о сложенијој фигури или у колико су странице на којима је потребно ограничити део под углом, могуће је означити гравирањем линије савијања ради олакшања израде при савијању (зеленом бојом је означена контура која се сече а розе бојом су означене линије које се гравирају). Пример гравирања и радног окружења за припрему технологије израде резањем приказан је на слици 4-2.



Слика 4-2 Изглед радног окружења за припрему технологије и израду сечењем на фибер-ласеру

Процедура израде дела ласерским сечењем на фибер-ласеру се врши преко софтверског пакета који се добија уз машину и преко њега се уносе спремљени програми са спакованим деловима на табле лима, са улазним позицијама ласера и излазним у зависности од дебљине материјала и коришћене снаге сечења. Формат контуре развијеног стања дела који се сече ласерским сечењем се уноси из DXF формата а формат програма за сечење на ласеру се преноси и чува у LDX формату за ласер марке Bodor на коме је израђен приме модела од танког лима заштитне кутије прекидача. Унутрашњост кабине ласера је дата на слици 4-3.



Слика 4-3 Унутрашњост кабине и стола за сечење на фибер-ласеру

Припрема за савијање на преси се врши пробним комадима и додатно се прилагођава за сваку машину у односу на узорак материјала. Потребно је додатно прилагодити подешавања на машини (граничнике, компензацију). Поготову ако се ради о серијској производњи тада се и техничка документација прилагођава доступним алатима и машинама за израду након уочених проблема при савијању након пробних комада. Пример радне машине CNC абкант пресе за савијање приказан је на слици 4-4.



Слика 4-4 Припрема за савијање на машини марке Ermaksan модел Power Bend Falcon

## 5. Закључак

У овом завршном раду је описан процес конструкције и израде делова (компоненти) од танких лимова. Овај завршни рад је исписан у пет поглавља. У сваком од поглавља су изнета запажања о технологији, конструисању и изради делова од танких лимова.

У првом поглављу је дат увод са описом проблематике савијања танких лимова. У проблематици су побројане методе савијања, као и евентуални проблеми који се јављају при овој врсти обраде. Такође је дат преглед досадашњих истраживања у овој области. На крају увода је дата и мотивација за одабир овакве теме.

У другом поглављу су дате теоријске основе савијања танких лимова са освртом на најчешће коришћене начине и методе савијања. У зависности од жељених делова описани су поступци савијања, као и најчешће коришћене машине у овој области. Такође су описани и поступци избора машина за савијање.

У трећем поглављу је детаљно описан начин конструисања једног дела из праксе у три CAD софтвера: Inventor, Catia и SolidWorks. Сва три поступка су веома слична. Највећа разлика међу овим поступцима је у томе што се код софтверског пакета Catia не могу користити операције из других окружења као што је то могуће у софтверским пакетима Inventor и SolidWorks. Код сва три софтверска пакета је описан начин добијања техничко-технолошке документације. Са аспекта техничко-технолошке документације најприступачније опције има софтвер Inventor. Код сва три софтверска пакета је могуће да се виде развијена стања делова, као и линије савијања. Код сва три софтверска пакета је такође могуће извожење развијеног стања у DXF формат који је најпогоднији за операције припреме делова за савијање.

У четвртом поглављу је дат опис како се врши практична израда конструисаног дела. На почетку поглавља је детаљно описано како се врши припрема делова за савијање. Наиме, након што се креира DXF фајл прави се план сечења на фибер-ласер машини. У овом кораку се такође могу отворити и слотови, као и отвори што после у следећим фазама израде даје значајну уштеду у времену до добијања коначног дела. На крају поглавља је дат изглед хидрауличне пресе која се користи за добијање дела описаног у поглављу 3.

Даља истраживања би била везано за одређивање напонско-деформационих стања која су веома специфична у зонама савијања. У овим зонама се услед великих деформација јављају пластична ојачања, те се на основу тога може радити на побољшању описаних технологија.

## Литература

- [1] Walters, John, Sean Kurtz, Wei-Tsu Wu, and Juipeng Tang. "The "State of the art" in cold forming simulation." *Journal of materials processing technology* 71, no. 1 (1997), pp. 64-70.
- [2] Kurukuri, S., Antonius H. van den Boogaard, A. Miroux, and B. Holmedal. "Warm forming simulation of Al–Mg sheet." *Journal of Materials Processing Technology* 209, no. 15-16 (2009), pp. 5636-5645.
- [3] Makinouchi, A. "Sheet metal forming simulation in industry." *Journal of materials processing technology* 60, no. 1-4 (1996), pp. 19-26.
- [4] Zhou, D., and R. H. Wagoner. "Development and application of sheet-forming simulation." *Journal of Materials Processing Technology* 50, no. 1-4 (1995), pp. 1-16.
- [5] Cheon, J. S., S. Y. Kim, and Yong-Taek Im. "Three-dimensional bulk metal forming simulations under a PC cluster environment." *Journal of Materials Processing Technology* 140, no. 1-3 (2003), pp. 36-42.
- [6] Stanković, Anđelka. "UNAPREĐENJE TEHNOLOGIJE SAVIJANJA NA PRIMERU NOSAČA BOJLERA IMPROVEMENT BENDING TECHNOLOGY ON BOILER CARRIER EXAMPLE." (2019).
- [7] Mandić, Vesna, Modeliranje i simulacija u obradi deformisanjem, Univerzitetski udžbenik, Kragujevac, 2005.
- [8] Devedžić, Branislav. *Obrada metala deformisanjem*. Građevinska knjiga, 1985.
- [9] Simufact forming, User manual.
- [10] <http://www.cevip.kg.ac.yu>, приступљено у новембру 2019.
- [11] <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Inventor-Help/files/GUID-F367DA16-A76E-4658-A979-ED7317FF3AF4-htm.html>, приступљено у децембру 2019.
- [12] [https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/sldworks/c\\_Sheet\\_Metal.htm](https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/sldworks/c_Sheet_Metal.htm), приступљено у децембру 2019.
- [13] [http://catiadoc.free.fr/online/CATIAfr\\_C2/smdugCATIAfrs.htm](http://catiadoc.free.fr/online/CATIAfr_C2/smdugCATIAfrs.htm), приступљено у децембру 2019.
- [14] [https://www.catia.com.pl/tutorial/z2/sheet\\_metal\\_design.pdf](https://www.catia.com.pl/tutorial/z2/sheet_metal_design.pdf), приступљено у децембру 2019.
- [15] [http://yvonet.florent.free.fr/SERVEUR/COURS%20CATIA/CATIA%20Mechanical/SMD\\_F/Teacher/EDU\\_CAT\\_EN\\_SMD\\_FI\\_V5R19\\_toprint.pdf](http://yvonet.florent.free.fr/SERVEUR/COURS%20CATIA/CATIA%20Mechanical/SMD_F/Teacher/EDU_CAT_EN_SMD_FI_V5R19_toprint.pdf), приступљено у децембру 2019.