

# Projektiranje izrade metalnog ormarića primjenom CAD alata

---

**Radolović, Mauro**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:392319>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Tehnički fakultet u Puli



**MAURO RADOLOVIĆ**

**PROJEKTIRANJE IZRADE METALNOG ORMARIĆA PRIMJENOM CAD ALATA**

Završni rad

Pula, Rujan, 2023.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Tehnički fakultet u Puli



**MAURO RADOLOVIĆ**

**PROJEKTIRANJE IZRADE METALNOG ORMARIĆA PRIMJENOM CAD ALATA**

Završni rad

**JMB: 0303082703, redovan student**

**Studijski smjer: Preddiplomski sveučilišni studij Proizvodno strojarstvo**

**Predmet: Mjerenje u proizvodnji**

**Znanstveno područje: Tehničke znanosti**

**Znanstveno polje: Strojarsvo**

**Znanstvena grana: Proizvodno strojarstvo**

**Mentor: doc. dr. sc. tech. Marko Kršulja**

Pula, Rujan, 2023.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. tech. Marku Kršulji na izdvojenom vremenu tijekom konzultacija te pruženoj pomoći. Također se zahvaljujem svojim kolegama koji su mi pružali savjete vezane uz rad, te svojoj obitelji na podršci.

doc. dr. sc. Marko Kršulja  
(Ime i prezime nastavnika)

Mjerenje u proizvodnji  
(Predmet)



Tehnički fakultet u Puli

**Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**  
**TEHNIČKI FAKULTET U PULI**  
**ZADATAK TEME ZAVRŠNOGA RADA**

**Pristupniku/ci**

Mauru Radoloviću

**MBS: 0303082703**

**Studentu/ci stručnog studija Tehničkog fakulteta u Puli izdaje se zadatak za završni rad – tema završnog rada pod nazivom:**

**Projektiranje izrade metalnog ormarića primjenom CAD alata**

**Sadržaj zadatka: Projektirati metalni ormarić uporabom CAD alata. Uporabiti CAD alate u AutoCAD-ovom Fusion 360 softveru kako bi se konstruirali i projektirali metalni dijelovi i konačni sklop. Proračunati potrebne dimenzije dijelova. Definirati postupke deformiranja lima i proučavati ponašanje metala deformacije do konačnog oblika. Proučiti na pogreške koje su se pojavile i dati savjete ili preporuke za preventiranje tih istih.**

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Sveučilišta u Puli.

**Redovni ili izvanredni, proizvodno strojarstvo**

(izvanredni, proizvodno strojarstvo)

**Datum:**

**Potpis nastavnika** \_\_\_\_\_



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Rodolović Mauro kandidat za prvostupnika proizvodnog strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Rodolović Mauro

U Puli, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ godine



IZJAVA  
o korištenju autorskog djela

Ja, Mauro Radolović dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „Projektiranje izrade metalnog omotača primjenom CFD alata“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, \_\_\_\_\_ (datum)

Student  
Radolović Mauro

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. HIPOTEZA .....	1
1.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA.....	1
1.3. PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	2
1.4. CILJEVI RADA .....	2
1.5. METODOLOGIJA .....	2
1.6. STRUKTURA RADA.....	3
2. MATERIJAL ZA METALNI ORMARIĆ.....	4
2.1. ČELIK.....	4
2.2. PODJELA ČELIKA .....	4
2.3. REFERENCE NORME 10130:2006 .....	4
2.4. ZAHTJEVI NORME .....	5
2.5. ODABIR MATERIJALA ORMARIĆA .....	5
3. TEHNOLOGIJA IZRADA METALNOG ORMARIĆA.....	6
3.1. SAVIJANJE LIMOVA.....	6
3.2. POVRATNA DEFORMACIJA .....	7
3.3. NAČINI SAVIJANJA LIMOVA.....	7
3.4. METODA ZRAČNOG SAVIJANJA.....	9
4. ZRAČNA PREŠA .....	10
4.1. TRUMPF STROJEVI ZA BUŠENJE .....	13
5. MODELIRANJE ORMARIĆA POMOĆU PROGRAMA FUSION 360 .....	15
5.1. IZRADA 3D MODELA I TEHNIČKOG CRTEŽA UNUTAR FUSION 360.....	15
5.2. KONSTRUIRANJE DIJELOVA METALNOG ORMARIĆA.....	16
5.2.1. IZRADA LADICE METALNOG ORMARIĆA .....	17
5.3. IZRADA SKLOPA.....	18
6. GNIJEŽĐENJE SOFTVEROM DEEPNEST.IO .....	21
7. ZAKLJUČAK.....	22
LITERATURA .....	23
POPIS SLIKA .....	24
POPIS PRILOGA.....	25



# 1. UVOD

## 1.1. HIPOTEZA

Hipoteza ovoga rada je utvrditi da li je moguća primjena AutoCAD-ovog Fusion 360 softvera u izravnom modeliranju i izradi ormarića uz pomoć tehnologija deformiranja i drugih ispitivanja. Svrha modeliranja je provjera tehnološkog procesa prije same proizvodnje a da se osiguraju tražene tolerancije i funkcionalnost proizvoda. Modeliranje omogućava uvid u probleme koji se mogu javiti te mogućnost unaprjeđivanja predloženih tehnoloških procesa.

## 1.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Metalni ormarići su našli svoje mjesto na tržištu te svojom kvalitetom a to su čvrstoća, izgled, prostor za skladištenje i nosivost ladica. Većina ovakvih ormarića se mogu naći u svakodnevnoj veleprodaji i slobodnoj trgovini, složeni su od ravnih ploča limova različitih materijalnih i mehaničkih svojstava koji se naposljetku spajaju u završni proizvod.

Zbog raznolikih svojstava koje nam različiti materijali nude, zadatak je odabrati onaj koji će zadovoljiti postavljene zahtjeve u traženim tolerancijama i mehaničkim svojstvima. Proizvodi imaju zadatak da funkcionalno izdrže određena naprezanja tj. opterećenje što utječe na cijenu.

Živimo u digitalnom društvu i CAD alati su osnova pri projektiranju tehnoloških procesa te je gotovo nemoguće zamisliti da se proizvod od same izrade te do izračunavanja različitih varijabli izvodi na drugačiji način osim sa današnjim programima. Uz to, obrada rada predstavlja korištenje kompletne tehnologije izrade ormarića od samog nacrtu, izrade i korištenja alata u Fusionu 360.

CAD (*eng. Computer aided design*) u prijevodu, Računalno podržano konstruiranje znači uz pomoć kompjuterskih programa do lakših kreiranja, analiziranja i optimiziranja izgleda i konačnog proizvoda.

Predmet istraživanja je sama tehnologija oblikovanja metala deformiranjem, rezanjem te mjerenjem u odabranoj tvrtki

### **1.3. PROBLEM ISTRAŽIVANJA**

Problem istraživanja je ponašanje materijala pri obradi. Razlike u proizvodnji same sirovine te debljine materijala i dužine koja ulazi u postupak obrade izaziva varijacije koje utječu na preciznost. Nepoželjno je da se dimenzije pri montaži ne poklapaju u milimetar. Recimo samo bušenje dviju rupa može uzorkovati grešku i dovoljnu nepravilnost da proizvod bude klasificiran kao škart.

### **1.4. CILJEVI RADA**

Ciljevi ovog rada jesu:

- Konstruirati i prikazati više konstrukcijskih nacrti konačnog proizvoda.
- Procijeniti materijal koji će biti upotrijebljen u projektiranju metalnog ormarića.
- Primjeniti tehnologiju obrade deformiranja pri projektiranju metalnog ormarića.
- Primjeniti tehnologiju modeliranja u softveru Fusion 360.
- Protumačiti fizikalne osnove oblikovanja lima.

### **1.5. METODOLOGIJA**

Metodologija korištena u izradi rada:

- Metoda promatranja – tijekom rada spominje se i vodi se zapis o nacrtima koji se planiraju, projektiraju i proračunavaju.
- Metoda analize – složenije metode su prikazane u kraćim postupcima u kojima je prikazan tijek postupaka konstruiranja u CAD programu.
- Metoda sinteze – prikazana na način sklapanja svih dijelova ormarića u konačan proizvod.

Prednosti korištenja simulacijskih programa:

- Izrada kvalitetne simulacije znači smanjenje gubitaka tijekom proizvodnje.
- Mogućnost prikaza modela korištenjem simulacije.
- Jeftinija i jednostavnija izrada modela.
- Jednostavan odabir materijala.
- Modeliranje u stvarnim dimenzijama.

## **1.6. STRUKTURA RADA**

Struktura rada po poglavljima:

- U uvodu je dana hipoteza, problem, predmeta istraživanja, ciljevi i metodologija.
- U drugom poglavlju biti će određen materijal za ormarić, podjela čelika i reference i zahtjevi normi.
- U trećem poglavlju biti će dana tehnologija izrade ormarića postupkom oblikovanja, tehnikom savijanja i načinima vraćanja lima.
- U četvrtom poglavlju biti će prikazano modeliranje u AutoCAD-ovom softveru Fusion 360, tako što će biti prikazana uporaba softvera za konstruiranje i projektiranje pojedinih dijelova metalnog ormarića.
- U petom poglavlju biti će objašnjeno kako se koristi softver za gniježđenje Deepnest.io te će biti dan primjer.
- U šestom i posljednjem poglavlju biti će prikazani rezultati koji su postignuti kroz ovo istraživanje te će nakon zaključka u par priloga biti prikazani gotovi konstrukcijski nacrti dijelova metalnog ormarića.

## **2. MATERIJAL ZA METALNI ORMARIĆ**

Svrha odabira deformiranja materijala se koristi zbog dobivanja proizvoda sa minimalnim udjelom škarta te da se broj operacija potrebnih za dobivanje proizvoda smanji. U ovom slučaju koristimo plastičnu deformaciju koju dobivamo tako što materijal pridonosimo opterećenju preko granice elastičnosti i prije samog loma. Neki od strojeva za deformiranje su savijačice, škare, preše i slično.

U današnje vrijeme se postupkom deformacije prerađuje više od 85% proizvedenog čelika. Za izradu metalnog ormarića koristimo čelik. Čelik je najrašireniji materijal za obradu deformacijom.

### **2.1. ČELIK**

Čelici su legure željeza s ugljikom do 2,03% ili s drugim elementima. Sve vrste čelika iz procesa proizvodnje sadrže manje količine mangana (Mn), sumpora (S), fosfora (P) i silikona (Si). Čelici koji imaju manje od 0,6% silikona i manje od 0,8% mangana se ne smatraju legiranim.

### **2.2. PODJELA ČELIKA**

Čelik dijelimo prema:

- 1) Postupku proizvodnje (plemeniti i obični čelici).
- 2) Upotrebi (konstrukcijski i alatni čelici).
- 3) Sadržaju (legirani i ugljični čelici).

### **2.3. REFERENCE NORME 10130:2006**

Ovom normom se određuju hladno valjani nisko-ugljični čelici, te je upravo zbog toga za ovaj rad bitno opisati tu skupinu čelika. Odabir konkretnog materijala za izradu metalnog ormarića označujemo sa EN 10130:2006. Čelici su većinom prikladni za obradu plastičnom deformacijom, zato je ovom normom određen valjani nisko-ugljični plosnati čelik čija je širina jednaka ili veća od 600mm sa minimalnom debljinom od 0,35mm. Ovakav materijal treba biti dostavljen u pločama, izrezanim namotajima, odrezanim duljinama ploča ili odrezanim svitaka.

## **2.4. ZAHTJEVI NORME**

EN 10130:2006 zahtjeva da izrada čelika i postupak proizvodnje ostaje na proizvođaču, ukoliko nije definirano drugačije tijekom ugovaranja posla. Za dobivanje ocjene kod poslije navedenih čelika DC03, DC04, DC05, DC06 i DC07 metode deoksidacije će biti potpuno deoksidiranje dok za dobivanje ocjene čelika DC01, metoda deoksidacije ostaje u tajnosti proizvođača.

## **2.5. ODABIR MATERIJALA ORMARIĆA**

Za izradu ormarića i njegovih komponenti odabran je materijal DC01 (1.0330). U ovom će poglavlju biti naznačen te će njegova svojstva biti detaljnije prikazana.

- **DC01 (1.0330)** – materijal koji ima dobre karakteristike za deformiranje rastezanjem, savijanjem i valjanjem.
- DC03 (1.0347) – idealan materijal za zahtjevno deformiranje savijanjem i rastezanjem, duboko izvlačenje, pruža veće mogućnosti za izradu.
- DC04 (1.0338) – specifičan materijal zbog glavnog uzroka gdje ne stari, specijalna kvaliteta za zahtjevno duboko izvlačenje i deformiranje rastezanjem.
- DC05 (1.0312) – nisko-ugljični čelik koji ne stari, osobina dubokog izvlačenja za vrlo zahtjevne deformacijske primjene.
- DC06 (1.0873) – osobina materijala koji ne stari, specijalna kvaliteta za većinu zahtjevnih izvlačenja te deformacijsko rastezanje.
- DC07 (1.0898) – čelik koji se koristi kod ekstremnih deformacija dubokim izvlačenjem.

Prema iznad navedenim hladno valjanih čelika, najčešća primjena je u automobilskoj industriji (šasija automobila), izrada profila za građevinu (konstrukcija za knauf), električni uređaji, uredski namještaj, i slično.

### 3. TEHNOLOGIJA IZRADE METALNOG ORMARIĆA

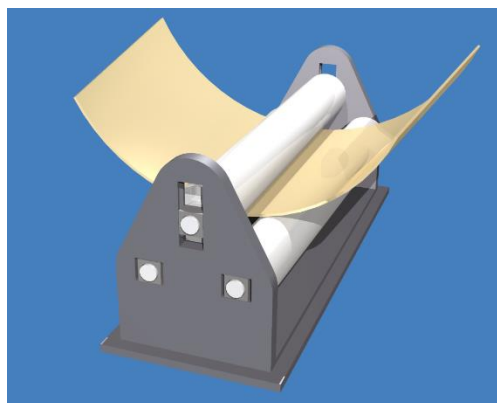
Osnovna tehnologija koju ćemo koristiti je savijanje limova. Bitne karakteristike limova jesu da su lagani, tanki i prihvatljive cijene. Treba napomenuti da materijal od kojih se limovi rade moraju biti deformabilni te da im se molekularna struktura zadržava. Glavna razlika limova i ploča jest u njihovoj debljini. Ploče se smatraju materijali koji prelaze 5mm, dok limovi spadaju u tanke materijale. Deformabilnost i mala debljina limova su neke od karakteristike koje ih čine korisnim za obradu.

Prednosti limova:

- Mogu biti deformirani ili savijeni.
- Mogu biti probijeni ili odrezani.
- Mogućnost zavarivanja.
- Lagani za sastavljanje.
- Mala debljina i težina.

#### 3.1. SAVIJANJE LIMOVA

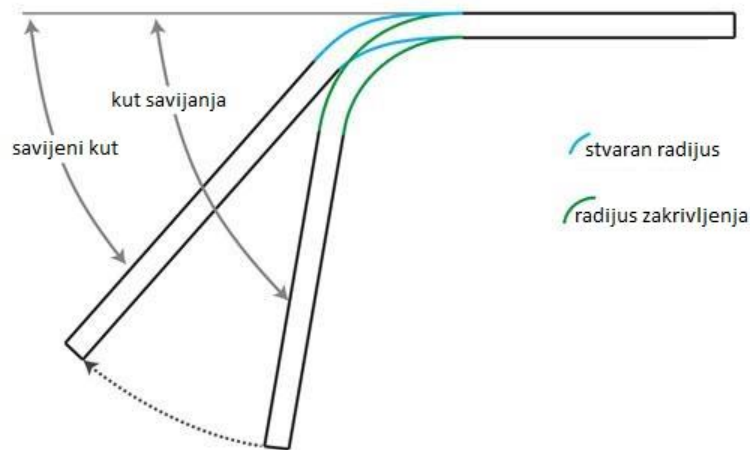
Savijanje lima bismo mogli definirati kao postupak obrade metala u kojemu nema skidanja strugotine, gdje se unutarnji dio lima skraćuje i djeluje tlačno opterećenje, dok se vanjski dio produljuje i djeluje vlačno opterećenje. Savijanje se dijeli na: profilno savijanje, savijanje pod kutom i kružno savijanje. Na slici 1. je prikazano kružno savijanje, gdje lim provlačimo kroz 2 valjka na dnu i jedan između njih koji je smješten na gornjoj strani.



Slika 1. Kružno savijanje lima - Izvor: ("Alatni strojevi I", dipl. ing. strojarstva Ivo Slade, [www.cnt.tesla.hr](http://www.cnt.tesla.hr), 2012.)

### 3.2. POVRATNA DEFORMACIJA

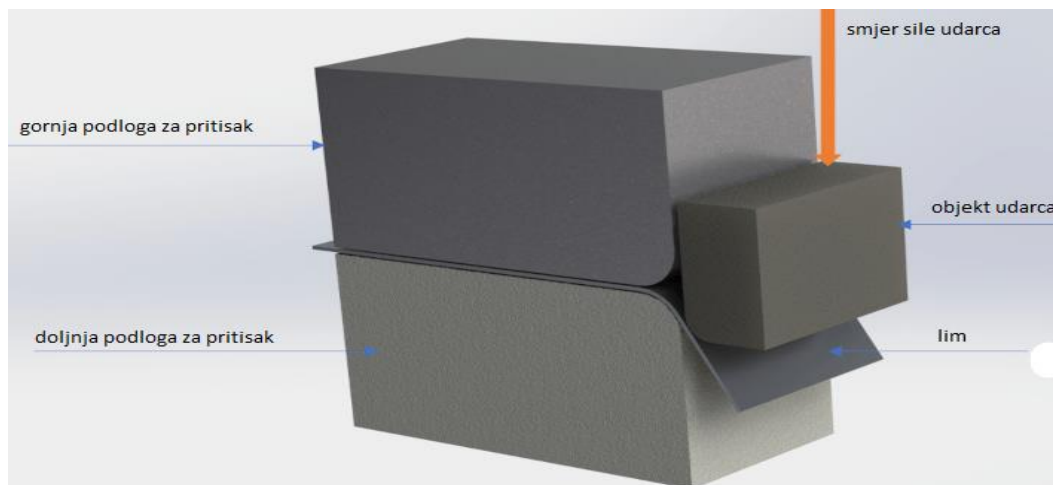
U praksi poznatija kao „elastično vraćanje“, povratnu deformaciju definiramo kao elastični oporavak zadanog materijala nakon djelovanja sila.



Slika 2. Povratna deformacija nakon djelovanja sile - Izvor: („Bending basics: The hows and whys of springback and springforward“, Steve Benson, [www.thefabricator.com](http://www.thefabricator.com), 2014.)

### 3.3. NAČINI SAVIJANJA LIMOVA

Na slici 3. je prikazan postupak slobodnog savijanja preko dva oslonca, gdje alat služi za prenošenje sile. Kod ovakvog tipa slobodnog savijanja nije potrebno mijenjati opremu zbog kuta savijanja, baš zato što je kut savijanja unaprijed definiran udarcem alata. Zaključujemo da oblik dijelova ne ovisi o obliku i geometriji alata, nego o položaju materijala u odnosu na alat.



Slika 3. Postupak slobodnog savijanja preko dva oslonca - Izvor: („Sheet metal bending: Basics, types, and tips for product designers“, Steve Benson, [www.china-machining.com](http://www.china-machining.com), 2022.)

Na slici 4. su prikazani jedni od mnogih savijanja u kalupima:

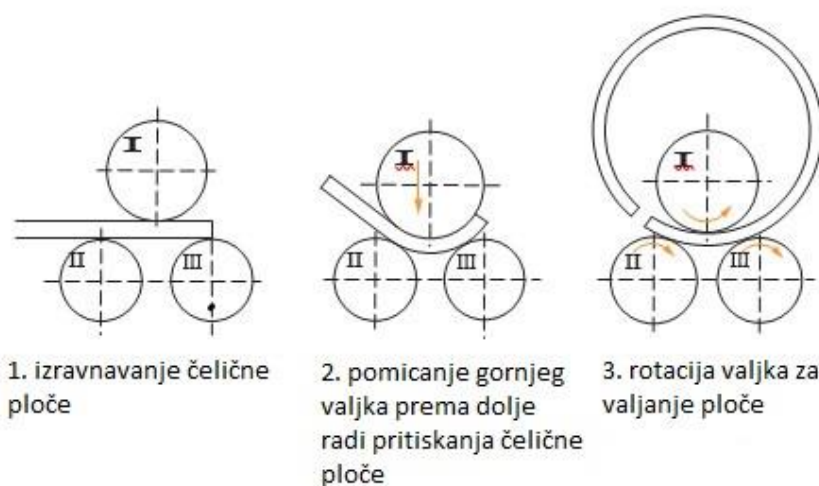
1. V savijanje.
2. U savijanje.
3. Z savijanje.



Slika 4. Primjeri savijanja u kalupima - Izvor: ("Sheet metal bending: Everything you should know explained", Shane Zang, [www.machinemfg.com](http://www.machinemfg.com), 2023.)

Na prvom primjeru, V savijanja, postoje četiri koraka, trajanje prvog koraka traje sve dok lim ne postane paralelan sa bočnim stranicama kalupa, drugi korak gdje je radijus veći od radijusa alata, zatim u trećem koraku dolazi do smanjenja radijusa, i na samom kraju u četvrtom koraku lim se savija prema radijusu alata i nastaje kalibriranje lima.

Na drugom primjeru, U savijanja, nastaje dvostruko savijanje lima pod kutom od 90°, te takvi savijeni limovi odlaze na daljnju obradu. Postoje tri vrste kalupa, na drugom primjeru je prikazan jedan od njih, a to je zatvoreni kalup sa dnom te dno lima obično ostane ravno na kraju obrade.



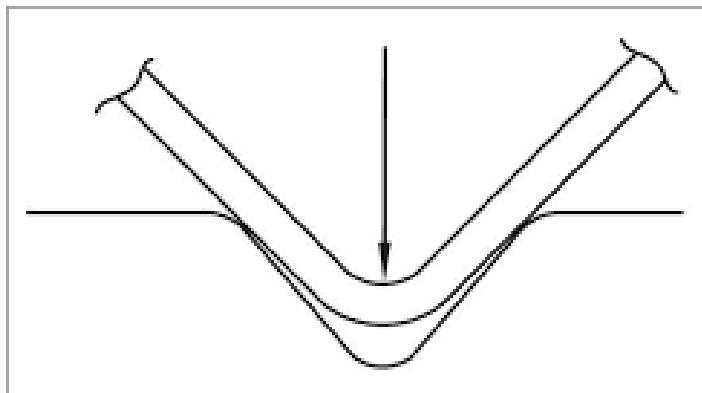
Slika 5. Kružno savijanje na savijačici sa tri valjka - Izvor: ("Analysis of 3 roll bending machine from 3 aspects", [www.shenchong.com](http://www.shenchong.com), 2021.)



### 3.4. METODA ZRAČNOG SAVIJANJA

Postupak savijanja metode zračnog savijanja je fleksibilan i često se koristi. Zračno savijanje se događa kada lim dodiruje vrh gornjeg alata i dodiruje oba radijusa donjeg alata. Kut savijanja lima ovisi o karakteristikama alata (širina, radni radijus donjeg alata) i materijala (debljina lima, vrsta materijala). Kut savijanja se određuje ulaskom gornjeg alata u donji.

Zračnim savijanjem se ne oblikuje konstantni radijus savijanja, već krivulja s najkraćom zakrivljenošću na vrhu savijanja. Prednosti ove metode jesu to što se bez mjenjanja alata može postići bilo koji kut savijanja između  $32^\circ$  i  $180^\circ$ .



Slika 6. Zračno savijanje sa tri točke - Izvor: ("Alat za savijanje metala", [www.plegadorasandicizallas.net](http://www.plegadorasandicizallas.net), 2019.)

Na slici 6. je prikazano zračno savijanje sa tri točke gdje gornji dio alata ulazi u donji dio alata. Oba radijusa materijala su u kontaktu sa obje strane.

## 4. ZRAČNA PREŠA

Zračne preše su važan alat u mnogim industrijama zbog svoje sposobnosti generiranja velike sile putem pneumatskog sustava, što omogućava obavljanje različitih zadataka s relativnom lakoćom i preciznošću.

Zračne preše se koriste za različite svrhe, kao što su:

- Oblikovanje metala - zračne preše se često koriste za oblikovanje i savijanje limova i metala. Pomoću visokog pneumatskog pritiska moguće je oblikovati metalne komade u željene oblike.
- Stiskanje i komprimiranje materijala - koriste se za stiskanje materijala poput papira, plastike, gume ili vlaknastih materijala kako bi se postigla veća gustoća ili oblik.
- Ekstrakcija ulja - u industriji prehrambene i kemijske obrade, zračne preše se koriste za ekstrakciju ulja iz sjemenki, orašastih plodova i drugih sirovina.
- Proizvodnja komponenti - u proizvodnji raznih komponenata, kao što su ležajevi, brtve ili metalni dijelovi, zračne preše se koriste za postizanje preciznih oblika i dimenzija.
- Recikliranje - u reciklažnim postrojenjima, zračne preše se koriste za komprimiranje i pakiranje otpada radi olakšane manipulacije i transporta.



Slika 7. Stolna zračna preša - Izvor: ("www.metal-kovis.hr, 2023.)

Zračne preše su uređaji koji koriste komprimirani zrak ili plin kao izvor pritiska kako bi obavljali različite zadatke kao što su oblikovanje, savijanje, prešanje, podizanje tereta ili druge slične operacije.

Osnovna struktura zračne preše uključuje sljedeće komponente:

- Radni cilindar - glavna komponenta preše koja prima komprimirani zrak ili plin i pretvara ga u mehaničku silu. Kada plin ulazi u cilindar, stvara se pritisak koji gura klip unutar cilindra. Ovaj pokret klipa generira potrebnu silu za obavljanje specifičnih zadataka.
- Klip - pokretna komponenta unutar radnog cilindra. Kada se plin pritisne u cilindar, klip se gura prema van ili prema unutra, ovisno o dizajnu preše. Ovaj pokret klipa omogućava obavljanje poslova kao što su stvaranje pritiska na materijale ili podizanje tereta.
- Ventili i regulacija - da bi se precizno kontrolirao pritisak i pokret klipa, preše koriste ventile i sustave regulacije zraka. To omogućava operaterima da prilagode pritisak i brzinu klipa prema potrebama različitih zadataka.
- Okvir i platforma - Okvir prese pruža strukturalnu potporu i stabilnost za cijeli uređaj. Platforma ili radna površina preše je mjesto gdje se obavljaju operacije kao što su savijanje limova, oblikovanje materijala ili slični zadaci.

Prednosti zračnih preša uključuju preciznu kontrolu pritiska, brzinu izvođenja operacija i relativno jednostavno održavanje.

Postoje različite vrste zračnih preša, uključujući:

- Pneumatske preše: Koriste komprimirani zrak za stvaranje pritiska.
- Hidrauličke preše: Koriste hidrauličku tekućinu umjesto zraka kako bi generirale veće sile.
- Ekscentrične preše: Koriste ekscentrični mehanizam za generiranje sile.
- Visokotlačne preše: Koriste iznimno visok tlak kako bi se postigle veće sile.



Slika 8. Zračna preša - Izvor: ("www.metal-kovis.hr", 2023.)

Cijene zračnih preši rangiraju od minimalno 1000€ do 1500€. Stolne zračne preše su zato nižih cijena, od 200€ do 400€.

#### **4.1. TRUMPF STROJEVI ZA BUŠENJE**

Izrada metalnih komponenata bušenjem, rezanjem, oblikovanjem, proširivanjem rupa, valjanjem, označavanjem, odstranjivanjem rubova; potpune metalne komponente mogu se proizvoditi na TRUMPF bušilicama.

Tehnologija je raznolika zahvaljujući mnogobrojnim alatima za bušenje. U suvremenim CNC bušilicama gotovo nema strugotine od bušenja. Sortiranje i uklanjanje također je lakše nego ikad zahvaljujući različitim automatizacijskim rješenjima TRUMPF-a. Bušenje se pokazuje kao tehnologija koja štedi vrijeme za mnoge primjene.

Prednosti:

- Geometrijski savršeni oblici – samo bušilica može postići geometrijski precizne oblike najviše razine kvalitete, bez rupa od igle ili prskanja, bez valova ili ogrebotina. To znači, da se može stvoriti savršeno kružni krug ili savršeni kvadrat.
- Univerzalna obrada dijelova – bušenje, rezanje, oblikovanje, proširivanje rupa, navrtanje, valjanje i označavanje: jedna bušilica usavršava sve navedene korake. Štedi na vremenu, jer se postavljanje i programiranje moraju izvesti samo jednom. Postupak može biti automatiziran.
- Pametan koncept – glava bušilice može rotirati bilo koji alat u bilo kojem kutnom položaju. Svi alati mogu biti pozicionirani u bilo kojoj stanici alata bez obzira na njihovu veličinu.



Slika 9. TRUMPF TruPunch 2000 – Izvor: ("trumpf.com")

Oprema TRUMPF TruPunch 2000 stroja:

- Oprema za stol – na raspolaganju su četke za nježno rukovanje materijalom
- Pakiranje pogodnosti za obradu praznina – pomoću paketa za obradu praznina moguće je također obraditi praznine jednostavno i pouzdano. To omogućuje drugi indeksni čavao i dodatna stezaljka.
- Pogon prema potrebi – kao rezultat pogona prema potrebi, hidraulički sustav glave za probijanje uvijek radi na optimalnoj razini. To rezultira smanjnjem buke tijekom neproduktivnih vremena i smanjuje hidrauličko opterećenje cijelog sustava.
- Trakasti transporter dijelova – pomoću trakastog transportera dijelova nježno se izbacuju dijelovi za probijanje iz sigurnosne zone stroja.

Korišteni TRUMPF strojevi za bušenje rangiraju u cijenama počevši od 10000€.

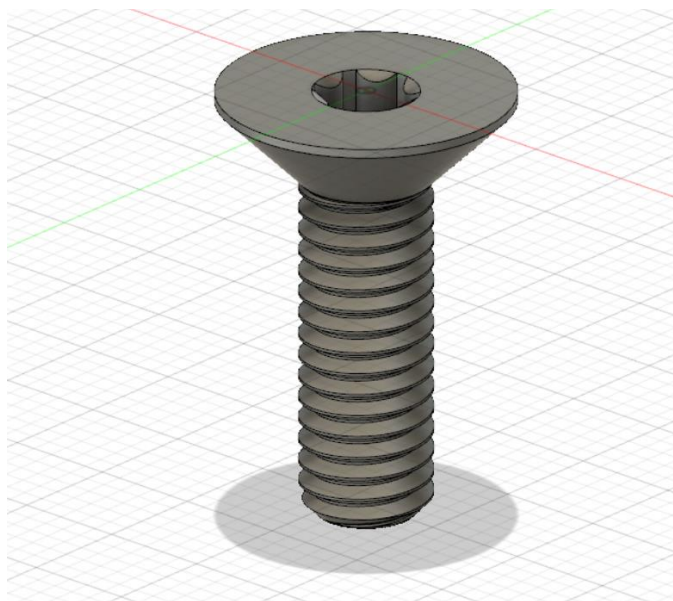
TruPunch strojevi tvrtke TRUMPF omogućuju fleksibilnu obradu raznolikog spektra dijelova. Inovativni razboji poput aktivnog i alata za povlačenje osiguravaju optimalnu kvalitetu dijelova. Pametne opcije automatizacije olakšavaju rad operateru i povećavaju protok operacija.

## 5. MODELIRANJE ORMARIĆA POMOĆU PROGRAMA FUSION 360

### 5.1. IZRADA 3D MODELA I TEHNIČKOG CRTEŽA UNUTAR FUSION 360

Uz AutoCad, SolidWorks i slične programe za 3D modeliranje, Fusion 360 je jedan od tih programa utemeljen unutar polja 3D CAD softvera. Fusion 360 je jedan vrlo moćan i efikasan softver prema njegovim mnogim komponentama i kvalitetama, kvalitetnog sučelja, mogućnosti i primjena koje nudi.

Kod 3D modeliranja koristimo unutar programa 2D skice nazvane „Sketch“ za definiranje modela. 2D skica najviše služi za dobivanje istisnutih dijelova (komanda „Extrude“).



Slika 10. Prikaz dobivanja 3D modela vijka - Izvor: Autor

Na slici 7. vidimo prikaz 3D modela vijka koji je dobiven iz 2D skice („Sketcha“). Nakon napravljene skice u 2D pogledu, na istoj središnjoj osi je funkcijom „Revolve“ 360° razvučena komponenta oko njegove osi.

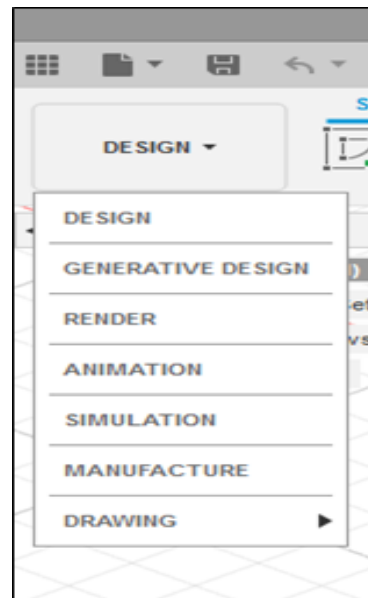
Fusion 360 nam nudi vrhunski alat za izradu i konstruiranje modela od lima od njegovih tehničkih crteža. Kod samog konstruiranja dijelova od lima inače se ide prema tome da se izrađuje baš kako bi trebali izgledati. Takvim načinom izrade, sve su dimenzije određene i samim se time ostvaruje točno podudaranje prilikom izrade.

## 5.2. KONSTRUIRANJE DIJELOVA METALNOG ORMARIĆA

Nakon konstruiranja svakog modela metalnog ormarića, koristit će se funkcija „Convert to sheet metal“. Tom funkcijom se svakom dijelu dodaju ista mehanička svojstva, u ovom slučaju vezana su uz odabrani čelik DC01 (1.0330).

U AutoCAD-ovom Fusion 360-u nudi se puno mogućnosti poput izrade dijelova, sklapanja tih istih dijelova u sklopove, provođenja raznih ispitivanja kao i mogućnosti modeliranja u više varijanti. (slika 11.)

- Design.
- Generative design.
- Render.
- Animation.
- Simulation.
- Manufacture.
- Drawing.



Slika 11. Prikaz komponenti modeliranja - Izvor: Autor

Tijekom izrade svih modela za metalni ormarić, koristiti će se komponenta „Design“. Ovaj sklop je izrađen od šest dijelova:

- Posuda (baza).
- Uspravna stranica.
- Gornja stranica.
- Prednja pregrada.
- Ladica.
- Vodalica.

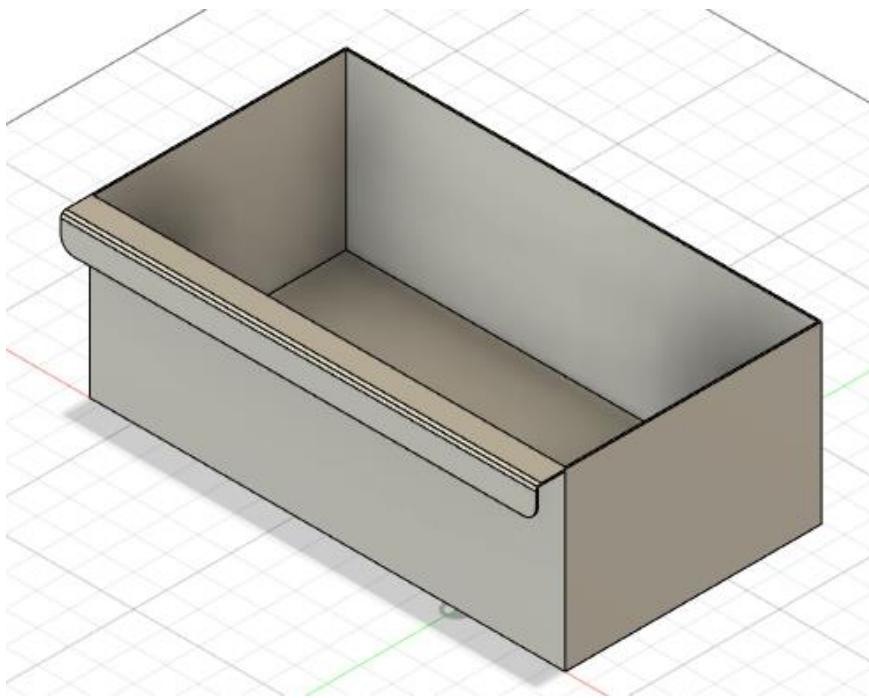
U većini izrade ormarića, skoro svi dijelovi su dobiveni na sličan način te će u nastavku biti prikazani samo oni koji su potrebni prikazati. Ostali dijelovi će biti prikazani konstrukcijskim nacrtom.



### 5.2.1. IZRADA LADICE METALNOG ORMARIĆA

Izrada ladice metalnog ormarića je opisana na sljedeći način; u „Sketchu“ su definirane dimenzije ladice 736 x 397 mm, te se pomoću funkcije „Extrude“ izvlači na 1 mm debljine. Nakon tog postupka koristimo funkciju „Convert to sheet metal“, te definiramo materijal DC01 (1.0330).

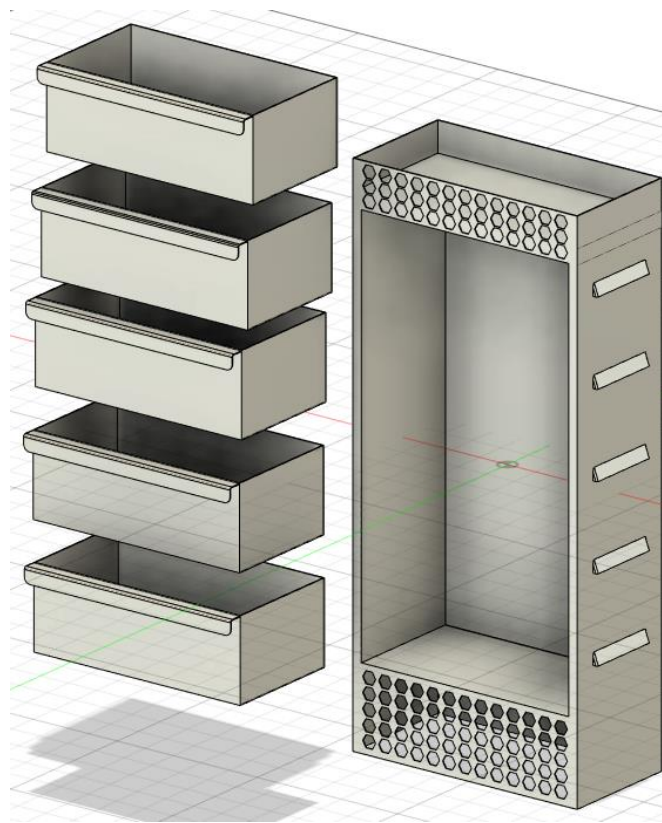
Na slici 12., prikazano je kako smo na istu bazu koju smo izvukli 1 mm, u „Sketchu“ crtamo 3 mm liniju od ruba te ju sa funkcijom „Extrude“ izvlačimo rubove lima za 269 mm vertikalno.



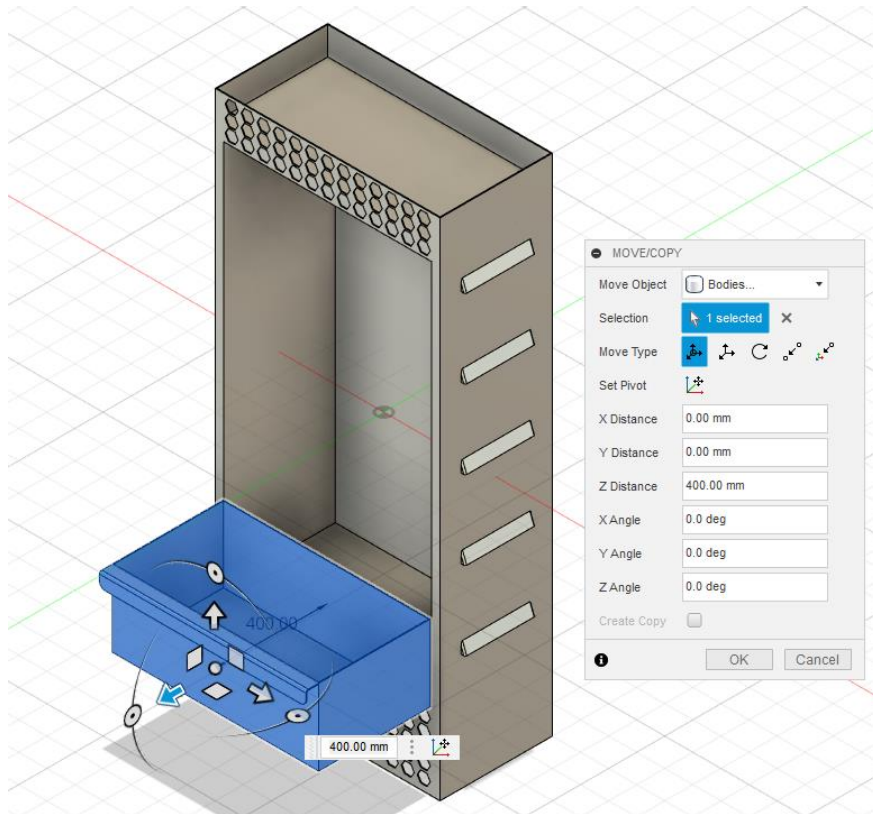
Slika 12. Model ladice - Izvor: Autor

### 5.3. IZRADA SKLOPA

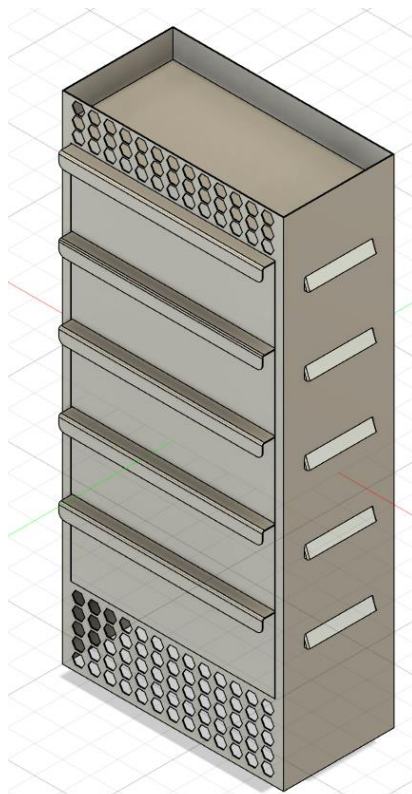
Nakon modeliranja svih potrebnih dijelova, slijedi sklapanje tih istih dijelova. U Fusion 360 se otvara novi prozor gdje se dodaju svi prethodno modelirani dijelovi, te ih postavljamo otprilike u predviđeni položaj. Nakon svih dodanih dijelova u novom prozoru (prikazano na slici 13.), koristimo funkciju „Move/Copy“ koja nam nudi mogućnosti pomicanja dijela u slobodnom kretanju, translacija, rotacija, pomicanje određene točke prema određenoj poziciji u koordinatnom sustavu. Slika 14. prikazuje korištenje funkcije „Move/Copy“.



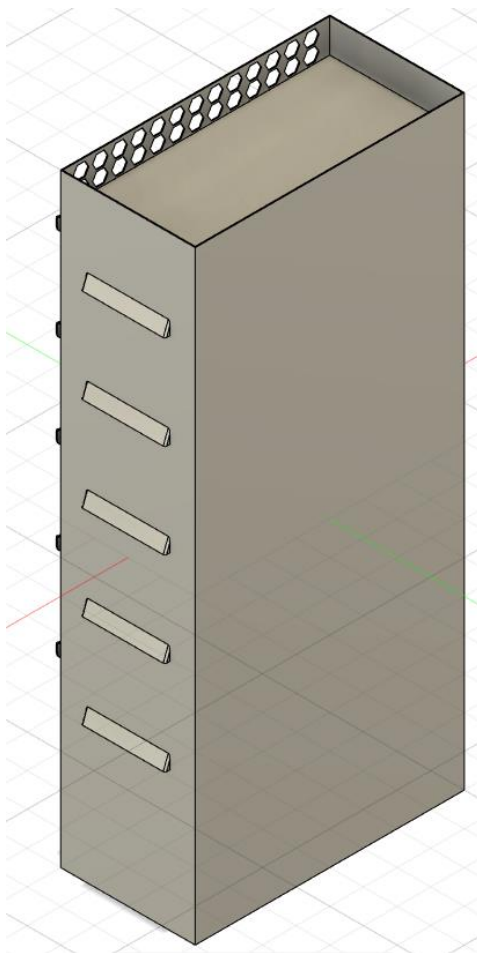
Slika 13. Dodavanje prethodno modeliranih dijelova u jednu cijelinu - Izvor: Autor



Slika 14. Korištenje funkcije "Move/Copy" - Izvor: Autor



Slika 15. Pogled prednje strane izrađenog sklopa - Izvor - Autor



Slika 16. Pogled sa zadnje strane izrađenog sklopa - Izvor: Autor

## 6. GNIJEŽĐENJE SOFTVEROM DEEPNEST.IO

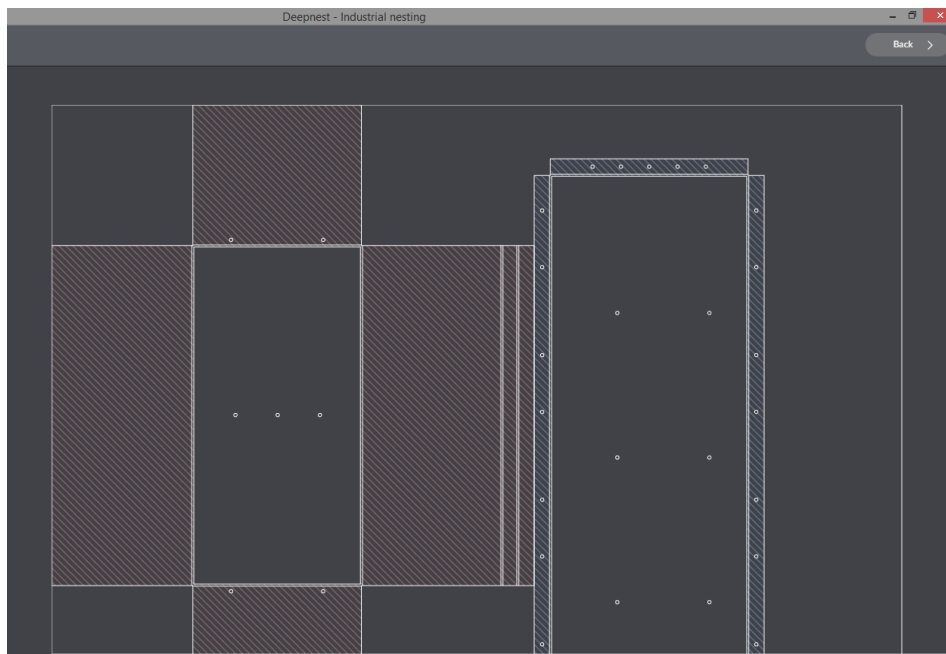
Nakon uspješnog modeliranja svih dijelova, te sklapanja tih istih dijelova unutar Fusion 360, koristimo softver za gniježđenje Deepnest.io, kojemu je cilj optimizacija iskoristivosti materijala.

Softver Deepnest.io je „open source“ što znači aplikacija otvorenog izvora, izvrsna je za plazma rezače, laserske rezače i druge CNC strojeve.

Ova aplikacija nudi mnogo pogodnosti a jedna od najbitnijih nama je automatsko spajanje linija tj. dijelova u jedno kompaktno područje kako bi se uštedilo vrijeme i količina potrošenog materijala.

Datoteke koje može učitati su: SVG, DXF, Corel CDR datoteke.

Datoteke koje može pisati su: SVG I DXF datoteke.



Slika 17. Gniježđenje dijelova metalnog ormarića pomoću Deepnest.io - Izvor: Autor

## **7. ZAKLJUČAK**

U AutoCAD-ovom softveru Fusion 360 u kojemu su modelirani svi dijelovi metalnog ormarića, omogućuje jednostavno modeliranje pojedinih elemenata, njihovog sklapanja u konačni sklop te izrada konstrukcijskih nacrti. Također, u ovom radu se prikazuje primjer korištenja „*open source*“ softvera Deepnest.io za gniježđenje, koji nam nudi mogućnost maksimalnog optimiziranja materijala s obzirom o utrošenom vremenu.

U ovom radu je opisano sljedeće; procjena materijala za izradu metalnog ormarića, opis tehnologije savijanja limova, načini savijanja limova, izrada svakog pojedinačnog dijela metalnog ormarića u Fusion 360, primjer Deepnest.io softvera te naposljetku, konstrukcijske nacрте modeliranih dijelova metalnog ormarića.

Primjenom CAD alata, mogu se izrađivati modeli različitih oblika i dimenzija te mogu znatno smanjiti utrošeno vrijeme od početne ideje do konačnog proizvoda. Izrađeni proizvodi koriste prednosti obrade deformacija, poput izrade bez gubitaka visoke iskoristivosti materijala. Također, postiže se visoka kvaliteta površine i dimenzijska točnost. Uz primjenu CAD alata dolazi do širokog raspona primjene.

Vremenom i razvojem tehnologije, industrije traže što bržu, precizniju i kvalitetniju proizvodnju, što dovodi do šire primjene i veće pozornosti primjene CAD alata.

## LITERATURA

### Knjige:

1. M. Math: „Uvod u tehnologiju oblikovanja deformiranjem“, Sveučilište u Zagrebu, FSB, Zagreb [1999.]
2. J. Hribar: „Plastična obrada metala“, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb [1975.]
3. S. Rešković: „Teorija oblikovanja deformiranjem“, Sveučilište u Zagrebu – Metalurški fakultet, Sisak [2014.]

### Internet:

1. <https://www.shenchong.com/3-roll-bending-machine.html> [Pristupano 6.6.2023.]
2. <https://www.machinemfg.com/sheet-metal-bending-explained/> [Pristupano 21.6.2023.]
3. <https://www.gindumac.com> [Pristupano 13.7.2023.]
4. <https://www.metal-kovis.hr> [Pristupano 13.7.2023.]

### Ostalo:

1. M. Kršulja: Tehnologija III, predavanja sa Tehničkog fakulteta u Puli, Pula [2021.]
2. Softver za gniježđenje Deepnest.io
3. Softver Fusion 360

## POPIS SLIKA

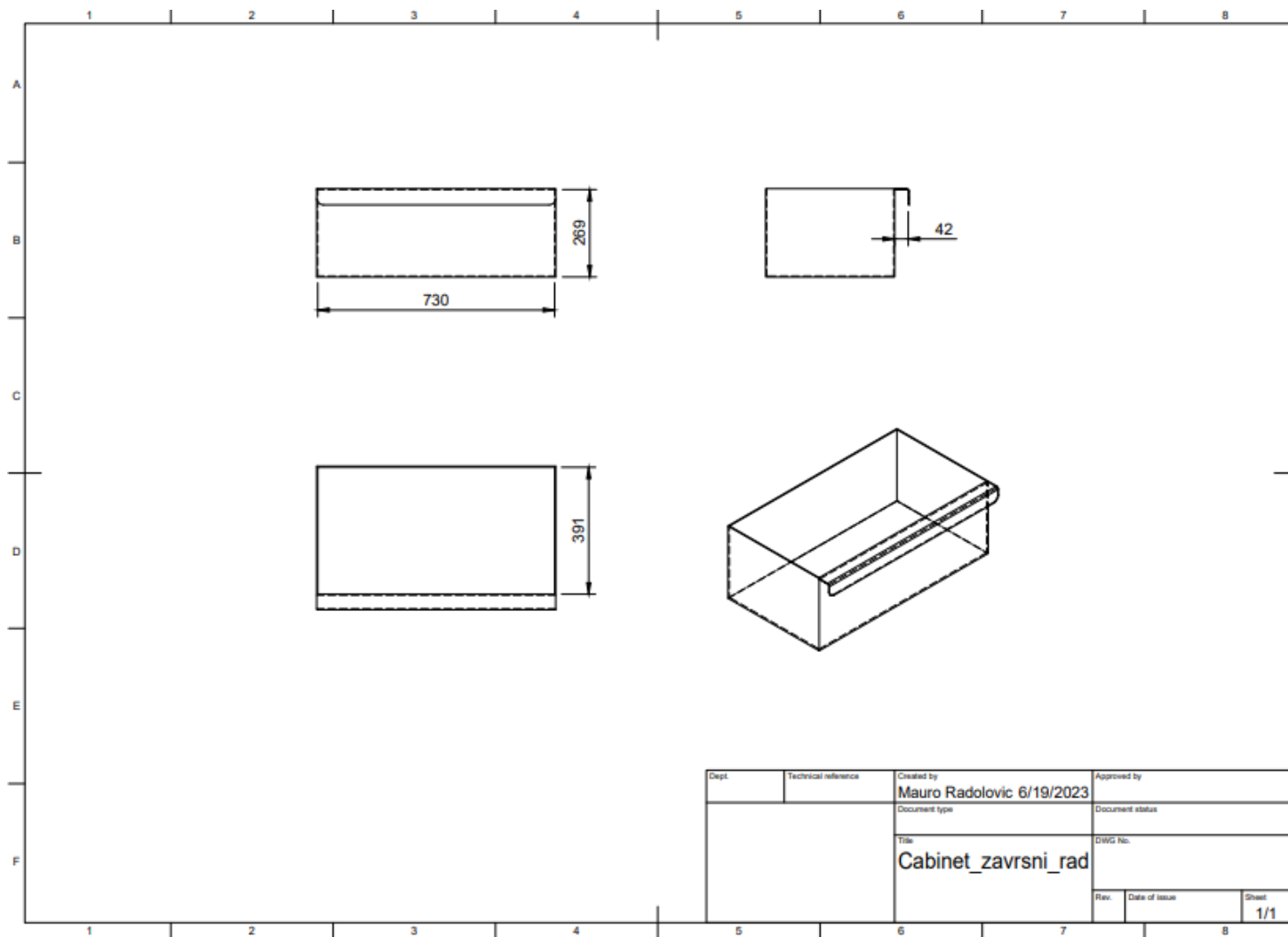
Slika 1. Kružno savijanje lima - Izvor: ("Alatni strojevi I", dipl. ing. strojarstva Ivo Slade, www.cnt.tesla.hr, 2012.) .....	6
Slika 2. Povratna deformacija nakon djelovanja sile - Izvor: („Bending basics: The hows and whys of springback and springforward", Steve Benson, www.thefabricator.com, 2014.) .....	7
Slika 3. Postupak slobodnog savijanja preko dva oslonca - Izvor: ("Sheet metal bending: Basics, types, and tips for product designers", Steve Benson, www.china-machining.com, 2022.) .....	7
Slika 4. Primjeri savijanja u kalupima - Izvor: ("Sheet metal bending: Everything you should know explained", Shane Zang, www.machinemfg.com, 2023.).....	8
Slika 5. Kružno savijanje na savijačici sa tri valjka - Izvor: ("Analysis of 3 roll bending machine from 3 aspects", www.shenchong.com, 2021.) .....	8
Slika 6. Zračno savijanje sa tri točke - Izvor: ("Alat za savijanje metala", www.plegadorasandicizallas.net, 2019.) .....	9
Slika 7. Stolna zračna preša - Izvor: ("www.metal-kovis.hr, 2023.).....	10
Slika 8. Zračna preša - Izvor: ("www.metal-kovis.hr", 2023.).....	12
Slika 9. TRUMPF TruPunch 2000 – Izvor: ("trumpf.com").....	14
Slika 10. Prikaz dobivanja 3D modela vijka - Izvor: Autor.....	15
Slika 11. Prikaz komponenti modeliranja - Izvor: Autor .....	16
Slika 12. Model ladice - Izvor: Autor .....	17
Slika 13. Dodavanje prethodno modeliranih dijelova u jednu cijelinu - Izvor: Autor..	18
Slika 14. Korištenje funkcije "Move/Copy" - Izvor: Autor.....	19
Slika 15. Pogled prednje strane izrađenog sklopa - Izvor - Autor .....	19
Slika 16. Pogled sa zadnje strane izrađenog sklopa - Izvor: Autor .....	20
Slika 17. Gniježđenje dijelova metalnog ormarića pomoću Deepnest.io - Izvor: Autor .....	21



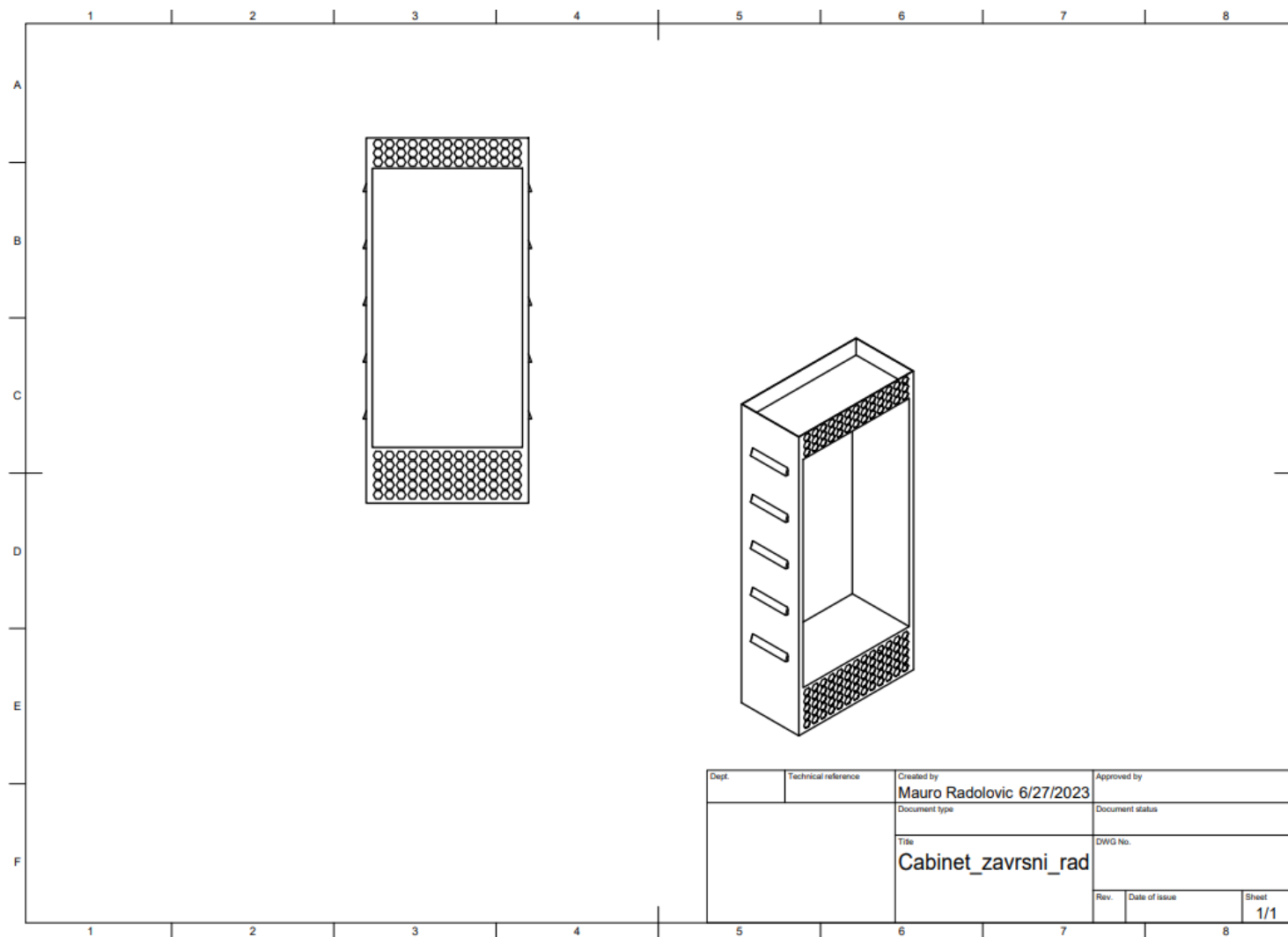
## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1. Pregled ladice.....	1
Prilog 2. Baza metalnog ormarića.....	2
Prilog 3. Sklop metalnog ormarića.....	3

Prilog 1. Pregled ladice



Prilog 2. Baza metalnog ormarića



Prilog 3. Sklop metalnog ormarića

