

Prilagodba izvedbe stola za prihvata obratka pri savijanju limenih kutija

Cvrk, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:059756>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Karlo Cvrk

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**PRILAGODBA IZVEDBE STOLA
ZA PRIHVAT OBRATKA PRI
SAVIJANJU LIMENIH KUTIJA**

Mentor:
Izv. prof. dr. sc. Zdenka Keran,
dipl. ing.

Student:
Karlo Cvrk

Zagreb, 2025.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prvenstveno svojoj obitelji i svojim prijateljima na pruženoj podršci kroz cijelo školovanje.

Zahvaljujem se mentorici dr. sc. Zdenki Keran na pruženoj pomoći, njenoj pristupačnosti i ukazanom povjerenju za izradu ovog rada.

Zahvaljujem se poduzeću MIRA SISTEM d.o.o. na njihovoj pristupačnosti i pruženoj pomoći tokom izrade ovog rada.

Karlo Cvrk



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Karlo Cvrk** JMBAG: **0035232116**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Prilagodba izvedbe stola za prihvat obratka pri savijanju limenih kutija**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design adaptation of work piece receiving table in bending of sheet metal boxes**

Opis zadatka:

Pravilno pozicioniranje uz adekvatan prihvat materijala igra ključnu ulogu u osiguravanju točnosti pri savijanju.

U radu je potrebno napraviti pregled postupaka savijanja, navesti prednosti i nedostatke pojedinih postupaka te definirati njihovu mogućnost primjene u proizvodnji izradaka od lima. Postupke savijanja povezati sa odgovarajućim strojevima te analizirati način odabira adekvatnog stroja i alata za različite primjere proizvoda. Opisati specifični postupak savijanja prilikom proizvodnje limenih kutija. Na konkretnom primjeru prikazati način određivanja faza savijanja. Opisati načine dostave materijala prema alatu te načine pozicioniranja materijala na alat stroja.

Za slučaj savijanja pri proizvodnji limenih kutija, u suradnji sa tvrtkom MIRA SISTEM d.o.o., analizirati proizvodni proces, odrediti poteškoće u procesu te predložiti rješenja za otklanjanje otkrivenih problema.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Zdenka Keran

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.
 2. rok: 10. i 11. 7. 2025.
 3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.
 2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.
 3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. OBLIKOVANJE METALA DEFORMIRANJEM.....	2
2.1. Postupci oblikovanja deformiranjem	2
2.2. Prednosti i nedostaci oblikovanja metala deformiranjem.....	4
3. SAVIJANJE.....	6
3.1. Kružno savijanje	6
3.2. Profilno savijanje	8
3.3. Oštro kutno savijanje	9
3.4. Rotacijsko savijanje	10
4. DOSTAVA I POZICIONIRANJE MATERIJALA NA ALAT STROJA	11
4.1. Ručna dostava materijala	11
4.2. Poluautomatska dostava materijala	12
4.3. Automatska dostava materijala	12
4.4. Ručno pozicioniranje materijala	14
4.5. Poluautomatsko pozicioniranje materijala	14
4.6. Automatsko pozicioniranje materijala	14
5. SAVIJANJE LIMENIH KUTIJA.....	16
6. ANALIZA PROCESA PROIZVODNJE LIMENIH KUTIJA.....	19
6.1. Faze savijanja limene kutije	28
6.1. Poteškoće i prijedlozi rješenja.....	38
6.2. Prilagodba izvedbe stola stroja	39
6.3. Promjena geometrije i načina savijanja kutije	40
7. ZAKLJUČAK.....	42
LITERATURA.....	43
PRILOZI.....	44

POPIS SLIKA

Slika 1.	Podjela oblikovanja metala deformiranjem.[1].....	1
Slika 2.	Stroj za kružno savijanje limova s tri valjka.[4]	7
Slika 3.	Proces kružnog savijanja lima na stroju sa slike 2.[4]	7
Slika 4.	Stroj za kružno savijanje limova s četiri valjka.[5].....	7
Slika 5.	Proces kružnog savijanja lima na stroju sa slike 4.[5]	8
Slika 6.	Profilno savijanje valjcima.[6]	8
Slika 7.	Alat za savijanje V-profila.[3]	9
Slika 8.	Rotacijsko savijanje rotacijskom matricom.[7]	10
Slika 9.	Ručna dostava materijala na alat.[9]	11
Slika 10.	Uređaj za poluautomatsku dostavu materijala.[10]	12
Slika 11.	Automatska dostava materijala robotom.[11]	13
Slika 12.	Stroj za rezanje i savijanje lima.	19
Slika 13.	Narudžbenica za izradu limene kutije.	20
Slika 14.	Rola lima PCB 8019.	21
Slika 15.	Škare za odrezivanje lima.	21
Slika 16.	Poravnavanje rubova lima.	22
Slika 17.	Ručno poravnavanje rubova.....	22
Slika 18.	Mjerenje lima.	23
Slika 19.	Poravnavanje druge strane lima.	23
Slika 21.	Prednji i stražnji naslon.....	24
Slika 22.	Umetanje lima u stroj za proces rezanja.	25
Slika 23.	Poravnanje lima prema prednjim naslonima.....	25
Slika 24.	Zatvaranje čeljusti stroja.	26
Slika 25.	Škare spremne za rezanje lima.....	26
Slika 26.	Odrezivanje lima.	27
Slika 27.	Označavanje viška lima i njegovo izrezivanje.....	27
Slika 28.	Lim nakon označavanja i predpripreme.....	28
Slika 29.	Pozicioniranje lima na alat savijačice.	28
Slika 30.	Lim nakon prvog koraka obrubljivanja.....	29
Slika 31.	Pozicioniranje lima za drugi korak obrubljivanja.	29
Slika 32.	Lim nakon drugog koraka obrubljivanja.....	30
Slika 33.	Obradak nakon obrubljivanja svih strana lima.	30
Slika 34.	Stegnuta kraća stranica i perca ručnim pozicioniranjem na alat stroja.	31

Slika 35.	Savijena kraća stranica i perca pod 90°.	31
Slika 36.	Ručno pozicioniranje obratka za savijanje duže stranice.....	32
Slika 37.	Savijanje dulje stranice obratka uz asistenciju radnika.....	32
Slika 38.	Savijena dulja stranica obratka.	33
Slika 39.	Ručno pozicioniranje druge dulje stranice obratka na alat stroja.	33
Slika 40.	Savijena treća stranica obratka.....	34
Slika 41.	Ručno savijanje limenih peraca.	34
Slika 42.	Obradak spreman za savijanje posljednje stranice.....	35
Slika 43.	Ručno pozicioniranje obratka na alat stroja.	35
Slika 44.	Savijanje posljednje stranice pod 45° zbog oblika obratka.	36
Slika 45.	Ručno savijanje posljednje stranice do 90°.	36
Slika 46.	Bušenje rupa za zakovice.	37
Slika 47.	Zakivanje stranica limene kutije.	37
Slika 48.	Završni proizvod.	38
Slika 49.	Pozicija preuređenja stroja.[15]	39
Slika 50.	Stezni element koji bi bio povoljan za ovu prilagodbu.[16].....	39
Slika 51.	Usporedna skica klasične izrade kutije i promijenjene skice savijanja.	40

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

01-1102-2025

Obradak prije savijanja

SAŽETAK

U ovom radu opisana je tehnologija oblikovanja metala deformiranjem. U proizvodnji različite limene robe najčešće se upotrebljavaju postupci savijanja. Obradene su vrste savijanja koje se najčešće koriste u postupcima savijanja. Promatra se prilagodba izvedbe stola za prihvat obratka pri savijanju limenih kutija. Analizirane su različite metode dostave i pozicioniranja materijala na alat stroja, od ručnih do potpuno automatiziranih sustava i njihov utjecaj na učinkovitost i kvalitetu savijanja. U radu je također ispitana mogućnost prilagodbe radne površine stola, čime bi se poboljšala stabilnost i preciznost obratka kroz proces savijanja. Izrađena je analiza proizvodnog procesa limenih kutija izrađena na stroju za rezanje i savijanje lima HKS-Cs Profi te su određene neke poteškoće u procesu i dani su neki prijedlozi rješenja.

Ključne riječi: oblikovanje deformiranjem, savijanje, savijanje lima, dostava materijala, pozicioniranje materijala, limene kutije

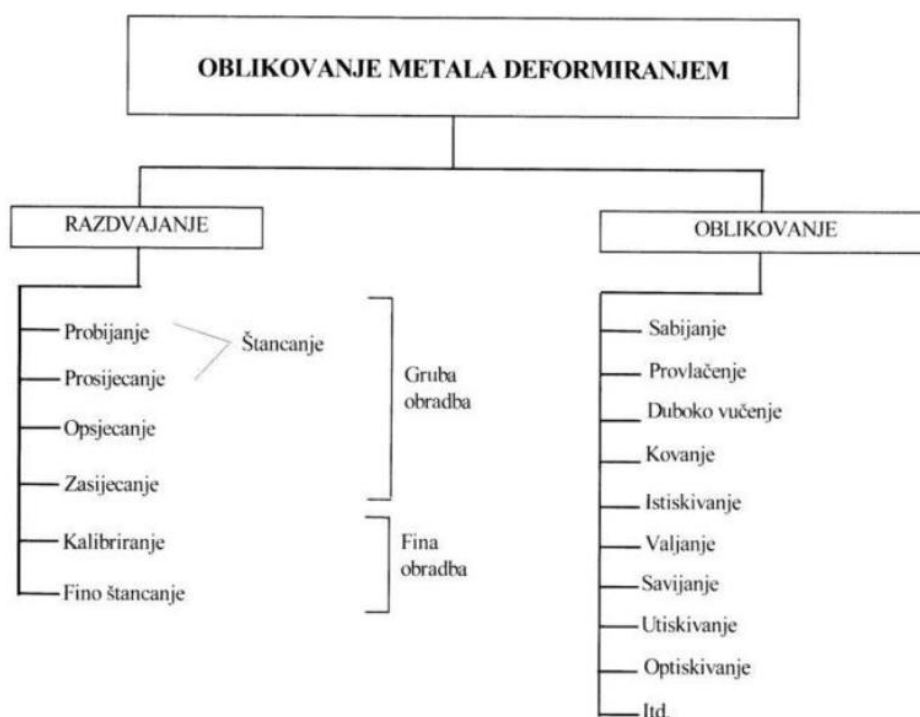
SUMMARY

This paper describes the technology of metal forming by deformation. In the production of various sheet metal products, bending processes are most commonly used. The types of bending that are most frequently applied in manufacturing have been analyzed. The study examines the adaptation of the worktable design for holding the workpiece during the bending of sheet metal boxes. Various methods of material delivery and positioning on the machine tool, ranging from manual to fully automated systems, have been analyzed, as well as their impact on bending efficiency and quality. The possibility of adjusting the worktable surface was also explored to improve stability and precision of workpiece throughout the bending process. Additionally, an analysis of the manufacturing process of sheet metal boxes was conducted using the HKS-Cs Profi cutting and bending machine, identifying certain challenges in the process and proposing possible solutions.

Key words: metal forming by deformation, bending, sheet metal bending, material delivery, material positioning, sheet metal boxes.

1. UVOD

Tehnologija oblikovanja metala deformiranjem skup je metoda izrade proizvoda ili poluproizvoda zasnovanih na plastičnoj deformaciji. Ova metoda veoma je zastupljena u današnjoj proizvodnji, a najčešće se koristi za ekonomičnu proizvodnju teško opterećenih dijelova turbina, obradnih strojeva, vozila, oružja, generatora pare i sl. Ova tehnologija omogućuje masovnu proizvodnju robe poput vijaka, matica, uređaja i alata, pribora za jelo. Jedna od metoda tehnologija oblikovanja metala deformiranjem je savijanje. Oblikovanje savijanjem često se koristi u proizvodnji razne limene robe, od sitnih predmeta od tankog lima pa sve do plašteva teških kotlova, bojlera, produkcija rebrastog lima i sl. Također se ovim postupkom mogu oblikovati i razni profili i cijevi. Savijanje igra veliku ulogu u metaloprerađivačkoj industriji, bilo to u maloserijskoj ili velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Na slici 1 jedna je od podjela oblikovanja metala deformiranjem. [2]



Slika 1. Podjela oblikovanja metala deformiranjem.[1]

2. OBLIKOVANJE METALA DEFORMIRANJEM

Oblikovanje metala deformiranjem je proces kojim plastičnom deformacijom metala i odvajanjem dajemo metalu konačan oblik bez gubitka materijala. U svijetu je veoma zastupljena tehnologija zbog mnogih svojih prednosti koje ima naspram drugim tehnologijama. Najzastupljenije su u metalnim industrijama poput precizne mehanike, avionske, automobilske, metaloprerađivačke, industrije poluproizvoda gdje se koristi za serijske tipove proizvodnje. Za ovaj proces koriste se materijali s visokom duktilnošću koja nam govori da je materijal sklon deformaciji bez lomova. Da bi materijal mogli prerađivati, potrebno ga je dovesti u stanje plastičnog tečenja. Plastično tečenje dolazi nakon što materijal opteretimo iznad granice elastičnosti. Daljnjim djelovanjem sile oblikujemo materijal. Neki od strojeva koji se koriste za deformiranje jesu preše, kovači čekići, strojevi za savijanje, automati, škare. Ti strojevi ostvaruju potrebne radove i sile. Alati koji se priključuju na strojeve imaju funkciju oblikovanja proizvoda, a ujedno i prenose sile sa stroja na obradak. [3]

2.1. Postupci oblikovanja deformiranjem

Različiti postupci oblikovanja deformiranjem omogućavaju izradu raznih proizvoda u automobilskoj industriji, građevini, zrakoplovstvu i industriji. Ovisno o tehnologiji deformiranja koju koristimo, deformiranje se može provesti u hladnom i toplom stanju. Kod obrade u hladnom stanju preciznost obrade je veća. Deformiranje u toplom stanju se pretežno koristi kod slobodnog kovanja i kovanja u ukovnjima, kod postupaka valjanja, ekstruzije, provlačenja debelostijenih profila te dubokog vučenja debelih ploča i limova. Deformiranje u hladnom stanju se primjenjuje u gotovo svim granama strojogradnje, metalne industrije i ostalim industrijskim granama koje se bave preradom metala. Za pravilan izbor postupka oblikovanja, potrebno je:

1. Analizirati proces plastičnog deformiranja metala.
 2. Konstruirati alat.
 3. Izabrati stroj.[3]
1. U analizi procesa iz ravnotežnih uvjeta i uvjeta plastičnog tečenja za specifični način prerade proračunavaju se omjeri naprezanja i deformacija pomoću kojih dobivamo potrebne sile i radove za izvršenje procesa deformiranja. Shodno tome se proučavaju uvjeti pod kojima se postiže optimalni proces oblikovanja, odnosno najveći stupanj deformacije i najmanji mogući broj radnih operacija. Sljedeći zadatak ove analize je

pronalazak najprikladnijih dimenzija i konfiguracije početnog materijala i završnog komada. Potrebno je ujedno u obzir uzeti i funkcionalni utjecaj plastične deformacije na mehanička i ostala fizikalno-kemijska svojstva metala, kojima se osigurava kvaliteta finalnog proizvoda.

2. Alat po svojoj konstrukciji mora zadovoljavati zahtjeve ekonomičnosti, a to znači da mora biti čim jednostavniji i da se sastoji od maksimalno mogućeg broja standardnih elemenata. Time se postiže niža cijena alata. Međutim, pojednostavljivanjem se ne smije smanjivati funkcionalnost alata i točnost rada te skraćivati njegov vijek trajanja.
3. Stroj se za oblikovanje odabire prema vrsti radne operacije, potrebnoj sili, radu, snazi, hodu i ostalim parametrima koji ulaze u proces oblikovanja. Univerzalni strojevi za obradu deformiranjem (razne preše, razni batovi) mogu se koristiti za različite procese oblikovanja deformiranjem ovisno od konstrukcije alata. Postoje i specijalni strojevi koji uglavnom služe za posebne radne operacije, a to su: strojevi za savijanje cijevi, strojevi za ispravljanje traka, strojevi za hladno valjanje zavojnica, automati za izradu čavala itd.[1]

Ukoliko se materijal optereti iznad granice razvlačenja, on se trajno deformira. Ako se opterećenje i dalje povećava, u jednom će momentu doći do razdvajanja čestica materijala. Time se područje oblikovanja metala sa aspekta deformiranja može podijeliti na dva dijela:

1. Deformiranja do razaranja metala
2. Plastično deformiranje

Razaranje metala se izvodi s ciljem razdvajanja komada na dijelove. U području obrade s odvajanjem čestica neki od strojeva koji se koriste za rezanje jesu: pile, tokarilica, glodalice i sl. Kod razdvajanja deformacijom nema odvajanja čestica te se razdvajanje vrši ili po otvorenoj rezanoj liniji (odsijecanje, zasijecanje i sl.) ili po zatvorenoj konturi (prosijecanje, probijanje, obrezivanje i sl.).

Plastično deformiranje metala se može vršiti u hladnom stanju (pri sobnoj temperaturi) ili u toplom stanju (pri povišenoj temperaturi). Porastom temperature metala pada otpor suprotstavljanja metala deformaciji i olakšavaju se uvjeti obrade. Da li će se proces obrade vršiti u hladnom ili toplom stanju, zavisi o nizu faktora kao što su: oblik, dimenzije i kvaliteta početnog materijala, konfiguracija i stupanj složenosti gotovog komada, način oblikovanja, konstrukcija alata, vrsta i veličina raspoloživog stroja itd.

S obzirom na oblik početnog materijala, plastično deformiranje obuhvaća:

1. Preradu limova (table limova, trake, komadi-platine).
2. Preradu kompaktnih tijela (vučeni, valjani, kovani profili raznih oblika poprečnih presjeka, šipkasti materijal, gredice, debele ploče i sl.).

Limovi se plastičnim deformiranjem prerađuju postupcima: savijanja, dubokog vučenja i raznim plastičnim oblikovanjima.

Kompaktna tijela se prerađuju postupcima: sabijanja, valjanja, provlačenja, istiskivanja i kovanja.

Kod ovih postupaka postoje i mogućnosti kombinacija osnovnih postupaka, na primjer: prosijecanje i probijanje sa savijanjem, prosijecanje s dubokim vučenjem. Kombinirani postupci se izvode specijalnim alatom, koji je konstruiran za vršenje nekoliko operacija.[3]

2.2. Prednosti i nedostaci oblikovanja metala deformiranjem

Tehnologija oblikovanja metala deformiranjem moderni je pogled prerade metala koji se koristi u gotovo svim suvremenim pogonima prerade metala. Ovim se tehnologijama u ogromnim količinama proizvode najrazličitiji izratci poput vijaka, dijelova automobilskih motora i ostalih vozila. Velika zastupljenost tehnologija leži u visokoj efektivnosti tehnologija. U komparaciji sa ostalim tehnologijama prerade veći je obujam produktivnosti. Također posjeduje veliku dimenzijsku točnost izradaka, tj. ujednačene dimenzije i oblik izradaka. Ove tehnologije posjeduju mogućnost dobivanja izvanredno fine površine obrađivanog predmeta koja može biti finija čak i od one dobivene poliranjem, honanjem ili sličnim postupcima. Iskoristivost materijala je redovito 60%- 90%, a u nekim slučajevima iskoristivost je potpuna. Potrebno je naglasiti da se neki proizvodi ni ne mogu izrađivati nekom drugom tehnologijom osim oblikovanjem deformiranjem, poput žice ili folije. Također, zbog postupka plastične deformacije koja omogućuje obratcima da podnose neugodna dinamička opterećenja i naprezanja, dijelove strojeva poput osovine, ventila i podizača ventila, stapalnica, koljenastih vratila i slične izratke uvijek proizvode pomoću tehnologija oblikovanja deformiranjem. Vrijeme izrade obratka je veoma kratko, a to ujedno i utječe na smanjenje troškova izrade. Ova tehnologija ima veliku mogućnost automatizacije i robotizacije, što je posebno značajno za masovne proizvodnje i za fleksibilne proizvodne sustave.

Kod ove tehnologije postoji ograničenost upotrebljivih materijala, krhki materijali skloni su pucanju te nisu pogodni za ovaj postupak. Strojevi i alati za deformiranje mogu biti skupi,

posebice za velike i složene procese. Ograničenje oblika predstavlja problem kod oblikovanja metala deformiranjem jer je gotovo nemoguće izvesti unutarnje šupljine.[2]

3. SAVIJANJE

Savijanje je jedan od procesa oblikovanja metala deformiranjem koji je najčešće upotrebljavan kod limene robe, od sitnih predmeta od tankog lima sve do plaševa teških kotlova, bojlera, spremnika, produkcije rebrastog lima i sl. Postupci savijanja pretežno se obavljaju u hladnom stanju, no teški profili, debeli limovi i cijevi velikih promjera se savijaju u toplom stanju. Za vrijeme savijanja materijal se podvrgava elastičnim i plastičnim napreznjima, pa se kod prestanka djelovanja vanjskih sila događa maleni povrat obratka uslijed elastičnih napreznja. Općenito se razlikuju dva načina savijanja: kružno te oštro ili profilno kutno savijanje. Postupak savijanja može se kombinirati sa drugim postupcima poput štancanja i probijanja te postupcima dubokih vučenja. Savijanje je postupak koji zauzima veliki dio za laka i teška vozila, traktore, šinska vozila, poljoprivredne strojeve itd. Razlikujemo više načina savijanja:

- Kružno savijanje
- Oštro kutno savijanje
- Profilno savijanje[2]
- Rotacijsko savijanje

3.1. Kružno savijanje

Kružno savijanje je postupak kojim se savijaju limovi i trake, cijevi i profili za izradu kotlova, cisterni, rezervoara i sl. Postupak se obavlja na strojevima koji se nazivaju savijalice. To su strojevi koji savijaju lim pomoću valjaka. Obično imaju tri valjka, a rjeđe četiri. U strojevima s tri valjka, valjci su složeni tako da su donja dva valjka pogonjena, dok je gornji valjak obično nešto veći od donjih i bez pogona, uz mogućnost vertikalnog pomaka. Postupak savijanja provodi se u više prolaza kroz valjke gdje se postepeno smanjiva visina gornjeg valjka. Savijalice sa četiri valjka imaju samo jedan pogonjeni valjak i to je gornji veći valjak. Manji valjci se mogu pomicati tako da je moguće istodobno obaviti i postupak predsavijanja. Svi pogonjeni valjci imaju promjenljiv smjer vrtnje, a prednji ležaj gornjeg valjka je konstruiran tako da se može osloboditi i zakrenuti kada se iz stroja vadi savijeni lim. [2] Kružnim savijanjem znatno se povećava krutost konstrukcije, jer kao i utisnuto rebro, zavijeni dio ojačava konstrukciju.[3]



Slika 2. Stroj za kružno savijanje limova s tri valjka.[4]



Slika 3. Proces kružnog savijanja lima na stroju sa slike 2.[4]



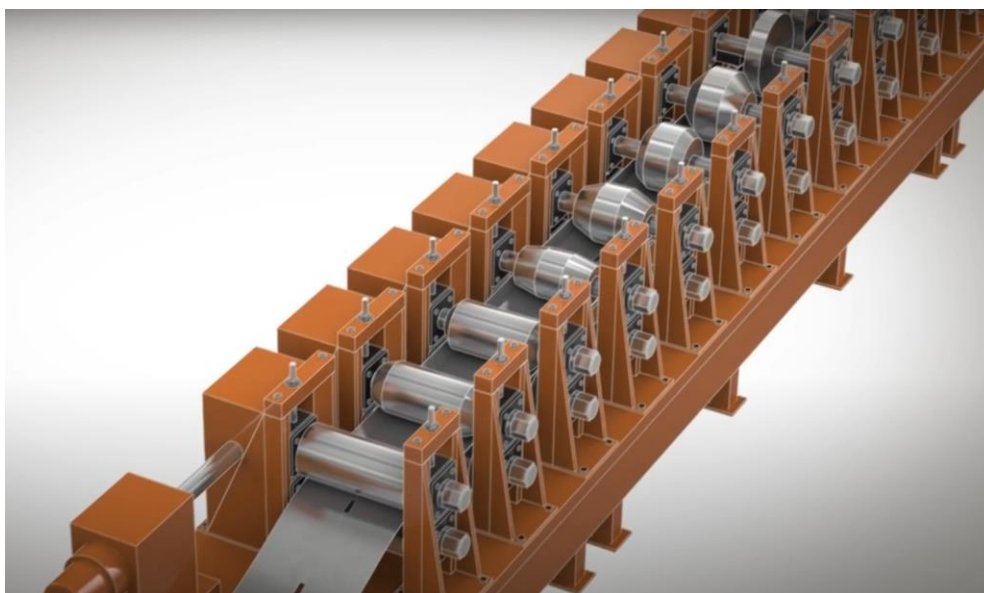
Slika 4. Stroj za kružno savijanje limova s četiri valjka.[5]



Slika 5. Proces kružnog savijanja lima na stroju sa slike 4.[5]

3.2. Profilno savijanje

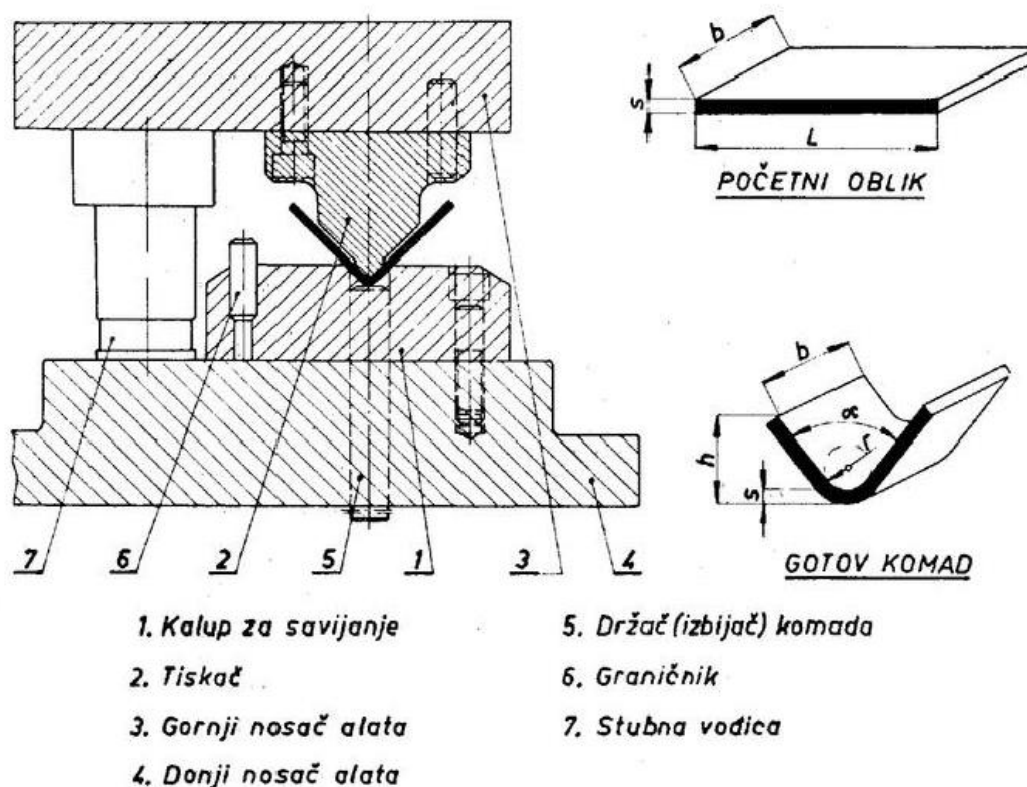
Postupcima profilnog savijanja prvenstveno se oblikuju limene trake, debljine obično 2mm do 20mm i duljine do 5m, i to postepeno. Ovim se načinom dobivaju profili koji se koriste u strojogradnji, brodogradnji i građevinskoj bravariji. Postupak se može odvijati postupno na hidrauličkoj ili koljenastoj preši, ili kontinuirano na valjalicama ili valjačkim stanovima za profilno savijanje. Lim se postavlja između alata i matrice te primjenom sile alat gura lim prema matrici, čime se lim savija u traženi oblik ili kut. Ovaj proces veoma je precizan i ponovljiv u velikim serijama. Također nam omogućuje izradu složenijih oblika u jednom koraku. Ujedno treba paziti na izradu alata kako bi se spriječile nepoželjne deformacije. [2]



Slika 6. Profilno savijanje valjcima.[6]

3.3. Oštro kutno savijanje

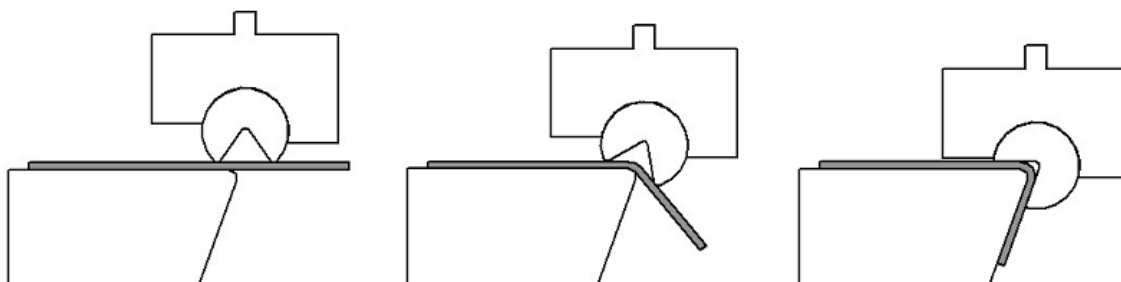
Oštro kutno savijanje se primjenjuje u masovnoj proizvodnji limenih odrezaka i profiliranih traka gdje je za razliku od kružnog savijanja omjer polumjera zakrivljenosti i debljine trake vrlo malen. Uslijed takvog procesa materijal se po cijelom poprečnom presjeku deformira samo plastično i uz to dolazi do promjene poprečnog presjeka i debljine stijenke, uz istodobno premještanje neutralne površine. Uslijed plastičnih deformacija koje su značajne, također postoji i znatno očvršćenje materijala.[2] To je jedna od najčešćih tehnika obrade metala, koristi se za izradu kutnih profila (npr. V, U, Z, L). Ovakvo savijanje vrši se na prešama, od najmanjih pa do najvećih (sa silom do 6000 t) preša. Dijelovi se savijaju preko malog radijusa na prešama. Za lakše i srednje teške obrade tiskač i kalup za savijanje izrađuju se od čelika za poboljšavanje. Radne površine tiskača i kalupa se tada termički obrađuju površinskim kaljenjem. Time se dobiva tvrda površina (60-62-Rc) sa žilavom jezgrom. Kod težih alata kalupi za savijanje se izvide sa segmentima koji se izrađuju od legiranog alatnog čelika. Prednosti ovakvih izvedaba jesu jeftina izrada i laki oporavak kod tupljenja ili otkrhuća segmenta. Za savijanje simetričnih profila pod raznim kutovima koriste se jednostavni alati, alati za savijanje V-profila. [3]



Slika 7. Alat za savijanje V-profila.[3]

3.4. Rotacijsko savijanje

Rotacijsko savijanje je savijanje koje se odvija tako da se lim uklješti između čeljusti hvataljke te se savija okretanjem matrice za savijanje oko osi profila. Jedna od najčešćih vrsta takve matrice je rotirajuća matrica sa V izrezom u stranu cilindra. Savijanje se odvija tako da se materijal uklješti, te se matrica spušta na materijal i rotacijskim pokretom savija lim oko vrha čeljusti. Ova vrsta savijanja ima mnoge prednosti. Prije procesa savijanja materijal će se uklještiti, čime se osigurava rad bez klizanja, a ujedno se time i olakšava posao radnika na stroju jer je materijal stacionaran. Ovim postupkom se također mogu izrađivati i kutovi veći od 90°. Rotacijsko savijanje omogućava brzu i preciznu izradu standardiziranih profila, time se postiže konzistentnost dijelova što je veoma povoljno kod serijske proizvodnje. Neki od najvećih nedostataka ove vrste savijanja su cijena i ograničenje geometrije. Matrice koje se koriste u rotacijskom savijanju mogu biti poprilično skupe zbog svoje složenosti, te su zbog toga pogodnije za serijsku proizvodnju. Geometrija ovih matrica ograničena je time da se obično omogućuje savijanje samo profila za koje su dizajnirane, ali su moguće izrade i kompleksnijih matrica koje bi omogućile izrade nekih teških oblika. Ovi se postupci često koriste u kombinaciji s drugim postupcima u procesima štancanja.[7]



Slika 8. Rotacijsko savijanje rotacijskom matricom.[7]

4. DOSTAVA I POZICIONIRANJE MATERIJALA NA ALAT STROJA

U procesu savijanja postoje različiti načini dostave i pozicioniranja materijala na alat stroja. Način dostave i pozicioniranja odabiremo ovisno o važnim faktorima poput stupnja automatizacije, veličini proizvodnje i tipu stroja. Osnovna podjela načina dostave i pozicioniranja materijala je podjela na ručnu, poluautomatsku i automatsku dostavu i pozicioniranje.

4.1. Ručna dostava materijala

Ručna dostava materijala je proces u kojem radnik ručno premješta materijal s jednog mjesta na drugo unutar proizvodnog sustava. Često se koristi u manjim proizvodnim pogonima, radionicama i skladištima gdje nema potrebe za ulaganjem u automatizaciju procesa, to jest gdje nije ekonomski opravdano ulaganje. Ručna dostava često se upotrebljava u manjim proizvodnim pogonima zbog svoje visoke fleksibilnosti i lake prilagodljivosti promjenama u proizvodnji. Također nije potrebna skupa oprema za rukovanje materijalima i samim time su manji troškovi održavanja nego kod automatiziranih sustava. Uz prednosti ove vrste dostave, postoje i nedostaci. Radnici imaju povećan fizički napor koji može dovesti do mišićno-koštanih problema. Manja je učinkovitost kod rukovanja teškim ili velikim materijalima. Uz to se također javlja i veći rizik ozljeda uslijed nepravilnog rukovanja materijalom.[8]



Slika 9. Ručna dostava materijala na alat.[9]

4.2. Poluautomatska dostava materijala

Poluautomatska dostava materijala je proces koji predstavlja mješavinu ručne i automatizirane dostave materijala na alat stroja. U ovom se procesu koriste poluautomatski uređaji poput transportnih traka, dizalica, automatiziranih transportnih sustava, mehaničkih ruku ili sustavi za automatsko punjenje i istovar. Ti se uređaji koriste uz ljudski nadzor ili prema potrebi uz ljudsku intervenciju kao na primjer podešavanje sustava ili rukovanje specifičnim materijalima. Uvođenjem uređaja u proces postiže se smanjenje fizičkog napora radnika gdje uređaji preuzimaju teže zadatke. Također se postiže veća preciznost i produktivnost. Poluautomatska dostava je također fleksibilna. Ova vrsta dostave treba početna ulaganja koja mogu biti visoka te redovno održavanje uređaja i kontrolu uređaja u radu.[8]



Slika 10. Uređaj za poluautomatsku dostavu materijala.[10]

4.3. Automatska dostava materijala

Automatska dostava materijala je proces u kojem potpuno automatizirani strojevi služe za dostavu materijala na alat stroja. Ova vrsta dostave je najsvremeniji pristup u industrijskom rukovanju materijala. Automatski uređaji za dostavu materijala predstavljaju sustave koji

potpuno autonomno premještaju materijal s jednog mjesta na drugo, bez potrebe za ljudskom intervencijom. Najčešće se koristi u automobilske industriji, elektroničkoj industriji, farmaceutskoj industriji. Koriste se roboti, transportne trake, automatska vozila i računalni sustavi za upravljanje, kojima se postiže visoka učinkovitost, smanjenje ljudske pogreške i povećanje sigurnosti. Za postavljanje materijala na alat uglavnom se koriste roboti koji imaju visoku preciznost, ponovljivost i mogućnost rada u teškim uvjetima. Oni koriste senzore i kamere za automatsko postavljanje i učvršćivanje materijala. Korištenjem automatskih uređaja za dostavu materijala povećava se produktivnost, sigurnost, točnost i preciznost. Ovi sustavi imaju mogućnost neprekidnog rada (svaki dan 24 sata). Za instalaciju ovakvih visoko efektivnih sustava potrebna su visoka početna ulaganja i kvalitetna integracija s postojećim proizvodnim procesima. Također je potrebno redovito provoditi preglede i popravke kako ne bi dolazilo do većih šteta.[8]



Slika 11. Automatska dostava materijala robotom.[11]

4.4. Ručno pozicioniranje materijala

Ručno pozicioniranje materijala je ono pozicioniranje u kojem radnik ručno postavlja materijal na alat stroja prema oznakama, mjerenjima i ručno učvršćuje materijal. Ovaj način pozicioniranja zahtijeva dobru tehniku, poznavanje alata i visoku preciznost kako bi obradak bio visoke kvalitete. Kako bi se odredila i održala točna pozicija obratka na radnom stolu koriste se graničnici. Za dodatno podešavanje obratka koriste se mjerni instrumenti kao što su mikrometri i njima osiguravamo točno poravnanje. Nakon pozicioniranja obradak se steže pomoću steznih naprava i time se pričvršćuje u tom položaju. Prednost ove vrste pozicioniranja je niska cijena opreme i fleksibilnost procesa, dok su glavni nedostaci moguće greške operatera i brzina izvedbe.[12]

4.5. Poluautomatsko pozicioniranje materijala

Poluautomatsko pozicioniranje materijala je pozicioniranje kod kojeg se koristi kombinacija ručnih i automatskih pomagala. Kod ove vrste pozicioniranja također se upotrebljavaju graničnici, no oni sada pozicioniraju obradak u suradnji sa sensorima. Proces pozicioniranja započinje ručnim postavljanjem obratka na stroj gdje se graničnici koriste za određivanje početne pozicije.[12] Nakon toga slijedi automatsko podešavanje obratka pomoću ugrađenih senzora. Sensori prepoznaju položaj obratka te ga u slučaju odstupanja mogu korigirati. Oni rade tokom cijelog procesa obrade te ukoliko dođe do pomaka obratka, moguća je i ponovna korekcija njegove pozicije. Ova vrsta pozicioniranja ima veću preciznost i točnost koja omogućuje visoku kvalitetu proizvoda. Zbog bržeg procesa postavljanja obratka, povećava se produktivnost. Nedostatak je novčani trošak koji u početku može biti velik te također potreba za obučanim radnicima za rad s ovakvom vrstom pozicioniranja.[13]

4.6. Automatsko pozicioniranje materijala

Automatsko pozicioniranje materijala je pozicioniranje gdje se materijal postavlja pomoću robotskog sustava, CNC upravljanja ili senzora bez intervencije radnika. Ova vrsta pozicioniranja povećava produktivnost i preciznost te minimizira ljudske greške. Robotski sustavi se koriste u industrijama gdje je potrebna brza i precizna manipulacija obradcima poput automobilske industrije, zrakoplovne industrije i elektroničke industrije. Roboti posjeduju sustave za prepoznavanje i vizualizaciju koji im omogućuju sposobnost postavljanja obratka na točno predviđeni položaj. CNC upravljanje omogućuje automatizirano pozicioniranje obratka u odnosu na alat bez potrebe za ljudskom intervencijom. To se omogućuje kvalitetnim programiranjem stroja. Sensori za pozicioniranje mogu detektirati položaj obratka i omogućiti automatske korekcije ako obradak nije ispravno postavljen. Prednosti automatskog

pozicioniranja su povećana preciznost i produktivnost i minimizacija ljudskih pogrešaka. Povećava brzinu proizvodnje i štedi vrijeme u obziru na preostale načine pozicioniranja materijala na alat stroja. Glavni nedostaci ove vrste pozicioniranja su visoki početni troškovi, održavanje automatskih sustava i složena integracija i programiranje.[14]

5. SAVIJANJE LIMENIH KUTIJA

Savijanje limenih kutija je proces oblikovanja ravnih limova u kutijaste strukture nekom od tehnika savijanja. Za izradu limenih kutija najpovoljnije je koristiti oštro kutno savijanje, ali se mogu koristiti i druge vrste savijanja poput savijanja uz pomoć letve, što je varijanta rotacijskog savijanja. Kod savijanja uz pomoć letve za savijanje, savijanje se odvija rotacijom letve oko brida letve koji je prislonjen uz donju čeljust. Tim se postupkom omogućava savijanje limova na željeni kut koji može biti do 145° , a ovisno o obliku gornje čeljusti i do iznad 145° . Kako bi proveli proces savijanja, potrebno je dobiti neke informacije vezane za kutiju. Postupak izrade limenih kutija sastoji se od:

1. Izrade tehničkog crteža savijanja.
2. Izrade narudžbenice.
3. Pripreme materijala (lima).
4. Podešavanja parametara na stroju.
5. Označavanja i predpripreme lima.
6. Savijanja.
7. Spajanja rubova.
8. Dodatne obrade i završne kontrole.

1. Izrada tehničkog crteža savijanja je proces u kojem se precizno prikazuju dimenzije, kutovi i smjerovi savijanja lima. Također se specificira radijus savijanja lima. U tehničkom crtežu također se naznačuju ukupne mjere lima i njegove dužine prije savijanja.

2. Izrada narudžbenice je proces u kojem se izrađuje narudžba koji treba sadržavati sve ključne informacije o limenoj kutiji kako bi se osigurala kvalitetna i precizna izrada. Narudžbenica se izrađuje prema dobivenom tehničkom crtežu i dogovoru sa naručiteljem. Za početak je potrebno u narudžbenici navesti opće podatke vezane za narudžbu. U opće podatke ulaze naziv i broj narudžbe pomoću kojeg se ta narudžbenica može identificirati. Također je u narudžbenici potrebno zadati ime naručitelja kako bi se znalo za koga je isporuka izrađena te kontakt kojim se može stupiti u kontakt s naručiteljem. Jedan od najvažnijih općih podataka je datum izrade i rok isporuke koji određuje vremenski okvir za proizvodnju nekog dijela. U ovom se procesu također određuje količina komada koje treba izraditi. Nakon toga u narudžbenici se također navode i tehnički podatci o kutiji. Dimenzije moraju biti prilagođene alatu i tehnici savijanja. U dimenzije kutije ulaze visina, širina i duljina. Također je potrebno zadati i debljinu lima iz

kojeg se kutija izrađuje, a ona nam ovisi o čvrstoći i namjeni kutije. Uz to se zadaje i željena vrsta materijala za savijanje, a to su najčešće aluminij, čelik, pocinčani lim ili inox. Uz to se zadaje i skica savijanja koja nam govori kako bi lim trebao izgledati nakon savijanja. Kod savijanja kutija pretpostavka je da su svi kutovi pravi, a u slučaju da je neki kut različit od 90° , potrebno ga je naznačiti u skici savijanja. Važno je za izradu da su svi potrebni kutovi zadani. Nakon izrade skice određuje se vrsta spajanja kutova kutije. Mogućnosti spajanja su: lijepljenje, lemljenje, zavarivanje, zakivanje ili preklopno savijanje limova (falcanje).

3. Priprema materijala upućuje na odabir materijala određenog u narudžbenici koji će ovisiti o namjeni kutije. Uz to se iz role lima pomoću škara za lim reže komad lima željenih dimenzija ili se od ostataka lima od prijašnjih komada odvaja potrebna količina lima.

4. Podešavanje parametara na stroju se odnosi na CNC savijačice koje imaju sposobnost unosa podataka prema zadanom modelu limene kutije. Postoji i mogućnost pohrane program kao i odabir postojećeg programa za izradu komada. Parametri koji se podešavaju jesu: kut savijanja, pozicija lima, širina lima, visina otvaranja čeljusti hvataljke. Također postoji i mogućnost rezanja lima kod nekih savijačica radi bržeg dobivanja gotove mjere lima.

5. Označavanje i predpriprema lima odnosi se na postupak koji prethodi postupku savijanja te koji sprema lim za olakšani proces savijanja. Na limu se označavaju linije savijanja pomoću trajnih markera prema tehničkom crtežu kako bi radnik mogao lakše pozicionirati lim u stroj. Također se lim priprema izradom rupa, utora ili proreza u kutiji ili rezanjem viška materijala koji nam smeta kod savijanja lima. U ovom koraku se još jednom radi provjera dimenzija kako bi se smanjila mogućnost pogreške u izradi.

6. Savijanje se odnosi na proces u kojem se lim prema prethodno označenim linijama savija u završni komad, u ovom slučaju kutiju, prema određenim fazama savijanja. Faze savijanja osiguravaju nam kvalitetan i precizan završni proizvod. U faze savijanja ubrajaju se vrste savijanja koje se obavljaju na kutiji i njihov logički poredak. Neke vrste mogućih savijanja na savijačici su: savijanje pod 90° , savijanje pod 145° koje obično prethodi obrubljivanju (korak zatvaranja lima u kojem čeljust hvataljke stisne lim pod maksimalnim tlakom), izrada radijusa. Također se u faze savijanja ubrajaju i ručna savijanja kliještima.

7. Spajanje rubova je postupak koji se provodi nakon postupka savijanja. Provodi se kako bi se bočne strane učvrstile jedna za drugu čime se izbjegava buduće odvajanje bočnih strana. Postoji i mogućnost spajanja rubova i popunjavanjem otvora silikonom kako bi se kutija izvela nepropusna za tekućine.

8. Dodatna obrada odnosi se na mogućnost uklanjanja oštih rubova brušenjem ili poliranjem. Moguće je provesti i zaštitu od korozije pocinčavanjem, bojenjem i plastificiranjem. Nakon toga se provodi završna kontrola dimenzija, spojeva i otpornosti na deformaciju.

6. ANALIZA PROCESA PROIZVODNJE LIMENIH KUTIJA

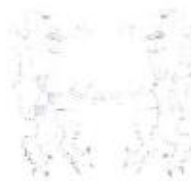
U suradnji sa tvrtkom MIRA SISTEM d.o.o. proizvedena je limena kutija od pocinčanog lima na stroju za rezanje i savijanje lima proizvođača Strojogradnja SAS Stanko Arzenšek s.p. tipa stroja HKS-Cs Profi. Hidraulički stroj za savijanje lima HKS-Cs Profi opremljen je s automatskim škarama, graničnicima za pomak lima i zaslonom na dodir. Cs softver omogućuje jednostavan ručni način savijanja i automatski rad sa NC programiranjem. Stroj je namijenjen rezanju i savijanju lima debljine do 1 mm za čelik te do 1.5 mm za aluminij i bakar. Maksimalni kut savijanja na ovom stroju je 145°. [15] Zbog ručnog rada moguća su odstupanja od mjera do 2 mm.



Slika 12. Stroj za rezanje i savijanje lima.

Proces proizvodnje započinje izradom tehničkog crteža savijanja kutije. Prema tehničkom crtežu izrađuje se narudžbenica za proizvodnju limene kutije. Proces proizvodnje limene kutije bit će analiziran za limenu kutiju prema tehničkom crtežu koji je u prilogu ovoga rada (01-1102-2025). Prema tome tehničkom crteži izrađuje se narudžbenica za izradu limene kutije, prikazan na slici 13. Limena kutija izrađivati će se od lima debljine 0,5 mm od materijala PCB 8019. Prikazana je i ručna skica 3D modela kutije uz koju je naznačeno da je strana lima na

kojoj je boja sa vanjske strane. Također je naznačeno da se ostave perca za spajanje kutova stranica. Spajanje će se izvršiti zakovicama 3,2 x6 mm koje su također izrađene iz materijala PCB 8019. PCB označava pocinčane bojane limove, dok broj 8019 označava boju.




MIRA SISTEM

d.o.o. za trgovinu
 49210 ZABOK, Prilaz dr. Franje Tuđmana 3
 IBAN: HR4923600001101269782
 MB 01166743 OIB 84622899677
 PREDSTAVNIK ŠVEDSKE FIRME "MIRA SYSTEM PLAT" AB, ANDERSLÖV
Trgovnički sud Zagreb, MRS 030034004, temeljni kapital 4 070 000 EUR, izdani u cijelosti
 Osnivač: Bjegunović-Ugras, Spjaničarić, Stipičić i Ivančević, pravnici d.o.o.

tel/fax: ++385 (0) 49 223-833
 tel: ++385 (0) 49 501-100
 e-mail: mira-sistem@mira-sistem.hr

Narudžbenica br. 1/12.02.2025 12.02. 2025. god.

Za kupca KARLO CVRK 099/4054234

MATERIJAL		d=0,5mm	ISPORUKA	AVANS				
PCB 8019			13.02.2025. 9 ⁰⁰ SATI					
Red. broj	Sifra	NAZIV ROBE - USLUGE			Jed. mjere	Količina	Cijena	IZNOS (EUR)
1.	RS. 470 x 370 mm				1 kom	m ²	0,18	
		- BOJA IRVANA			kom	1		
		- OSTAVITI PERCA ZA SPAJANJE KUTOVA						
2.		ZAKOVICA 3,2x6 mm PCB 8019			kom	4		

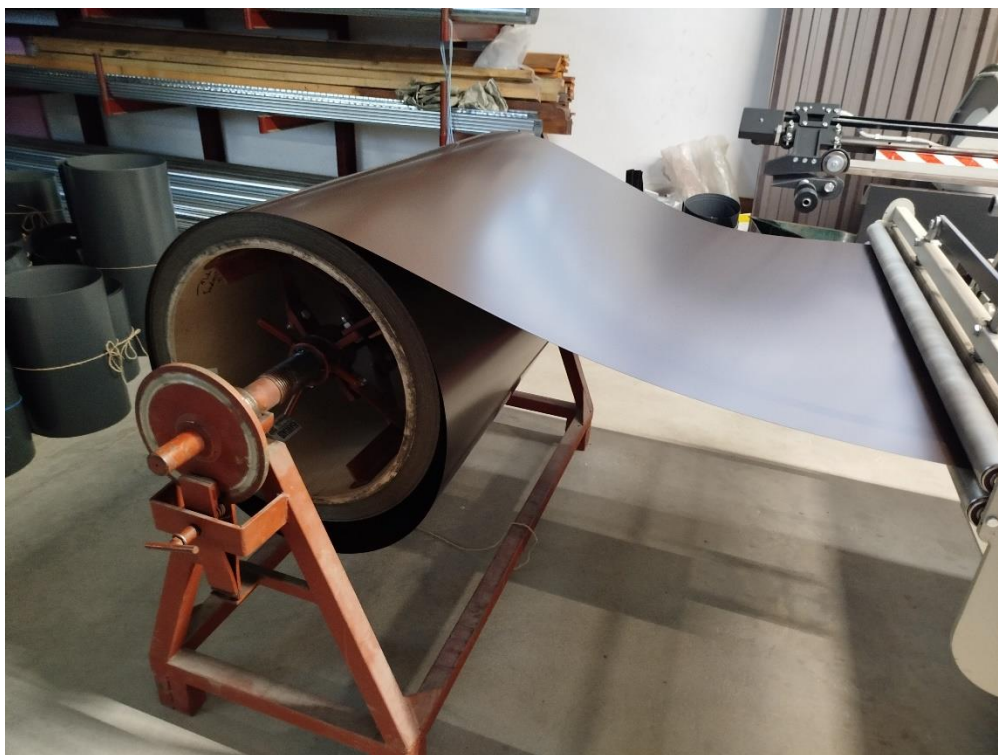
Naručenu robu dužni ste podignuti najkasnije u roku 5 dana od dana planirane isporuke!
 Za robu van navedenog roka ne odgovaramo!!

Narudžbu zaprimio: MIRA SISTEM d.o.o. za trgovinu ZABOK 4

Naručio: Karlo Cvrk

Slika 13. Narudžbenica za izradu limene kutije.

Nakon izrađene narudžbenice, ona se šalje na izradu u halu gdje je stroj pozicioniran. Sljedeći korak izrade limene kutije je priprema lima. Lim se najčešće dostavlja u rolama lima.

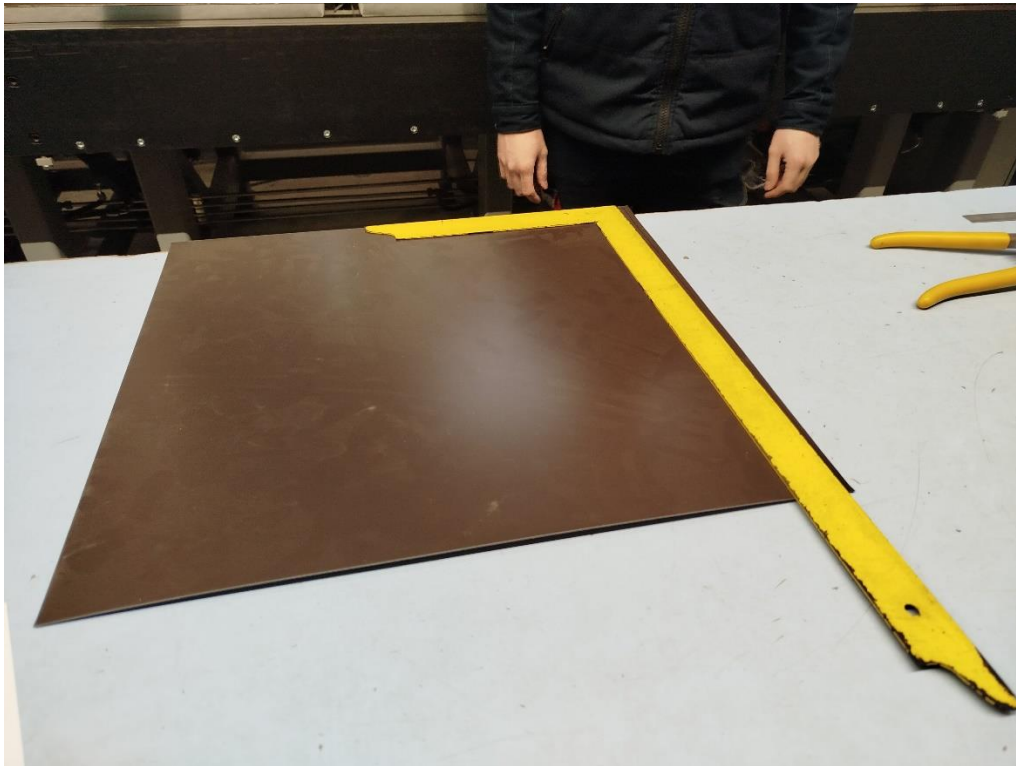


Slika 14. Rola lima PCB 8019.

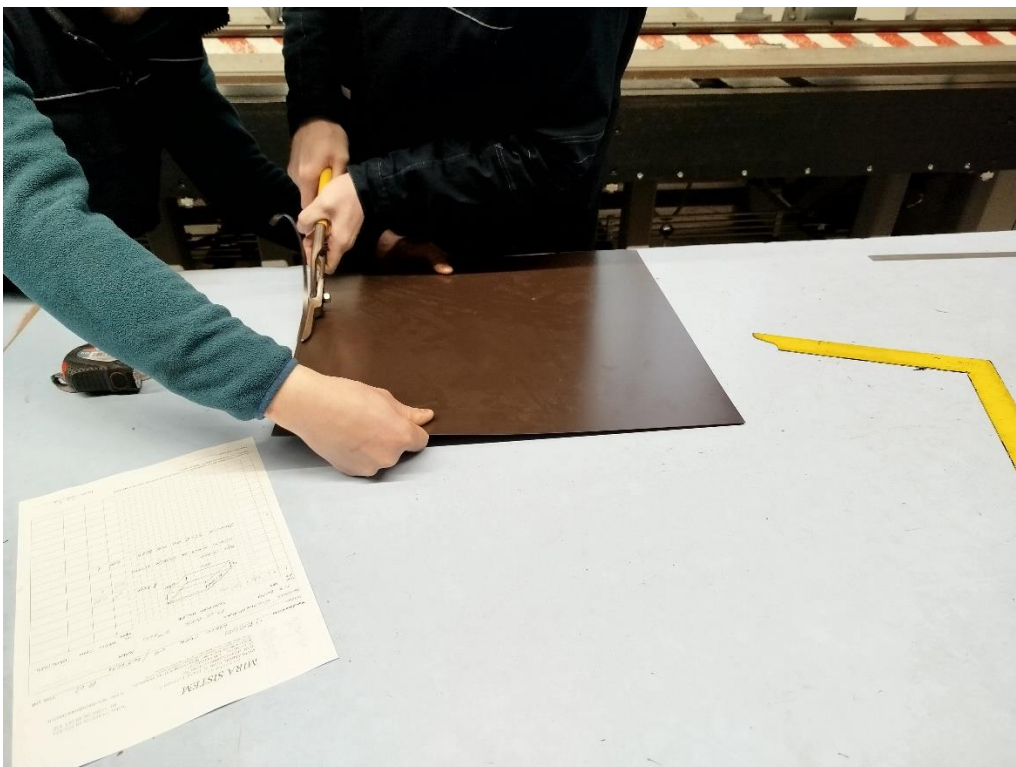


Slika 15. Škare za odrezivanje lima.

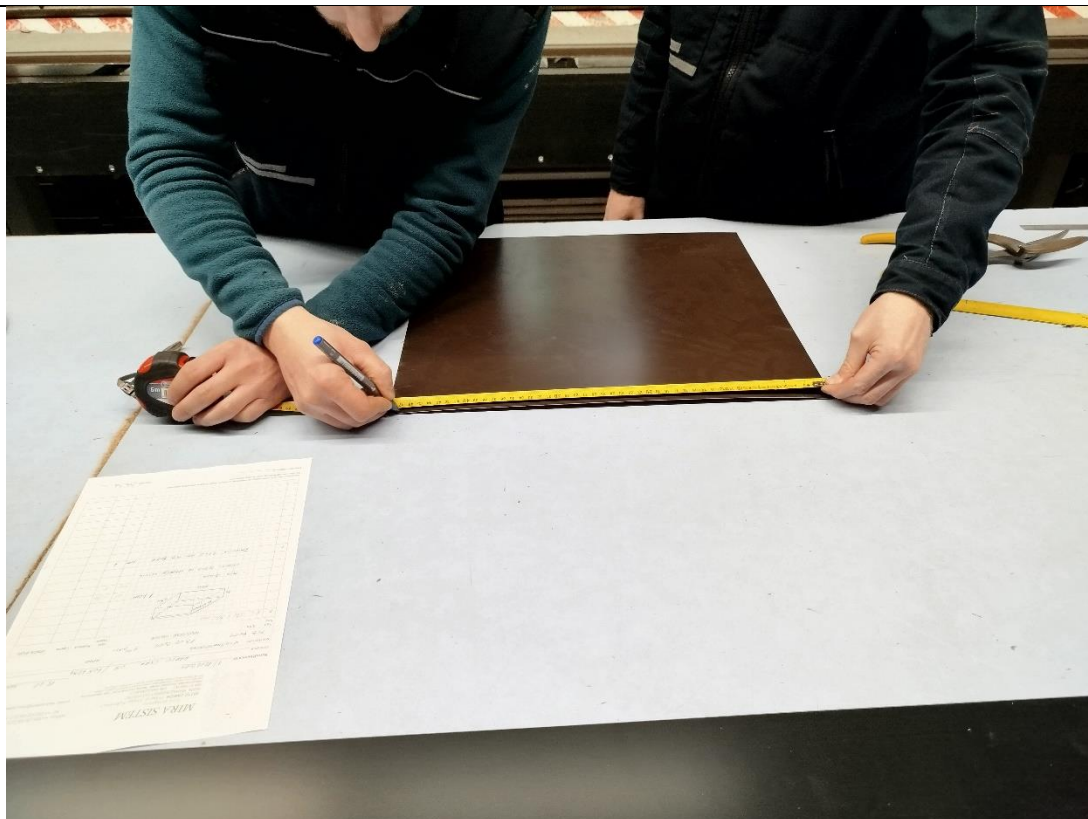
U ovome slučaju za izradu limene kutije potrebna količina lima pronašla se na zalihama od prijašnjih obradaka te se time uštedila određena količina lima. Zbog neravnosti površina nije moguće strojno odrezivanje, te se predlaže ručno odrezivanje.



Slika 16. Poravnavanje rubova lima.



Slika 17. Ručno poravnavanje rubova.



Slika 18. Mjerenje lima.



Slika 19. Poravnavanje druge strane lima.

Nakon obrade dvije strane lima, treća strana lima može se odrezati na stroju za rezanje i savijanje lima. To je moguće jer je posljednja strana bila rubna strana u limenoj roli i ta strana je ravna. Kako bi se strojno odrezala treća strana, potrebno je upisati u program dimenziju na kojoj će se rezanje izvršiti. U ovom slučaju to je dimenzija od 370 mm, a ona je na slici 20. označena kao mjera 2.



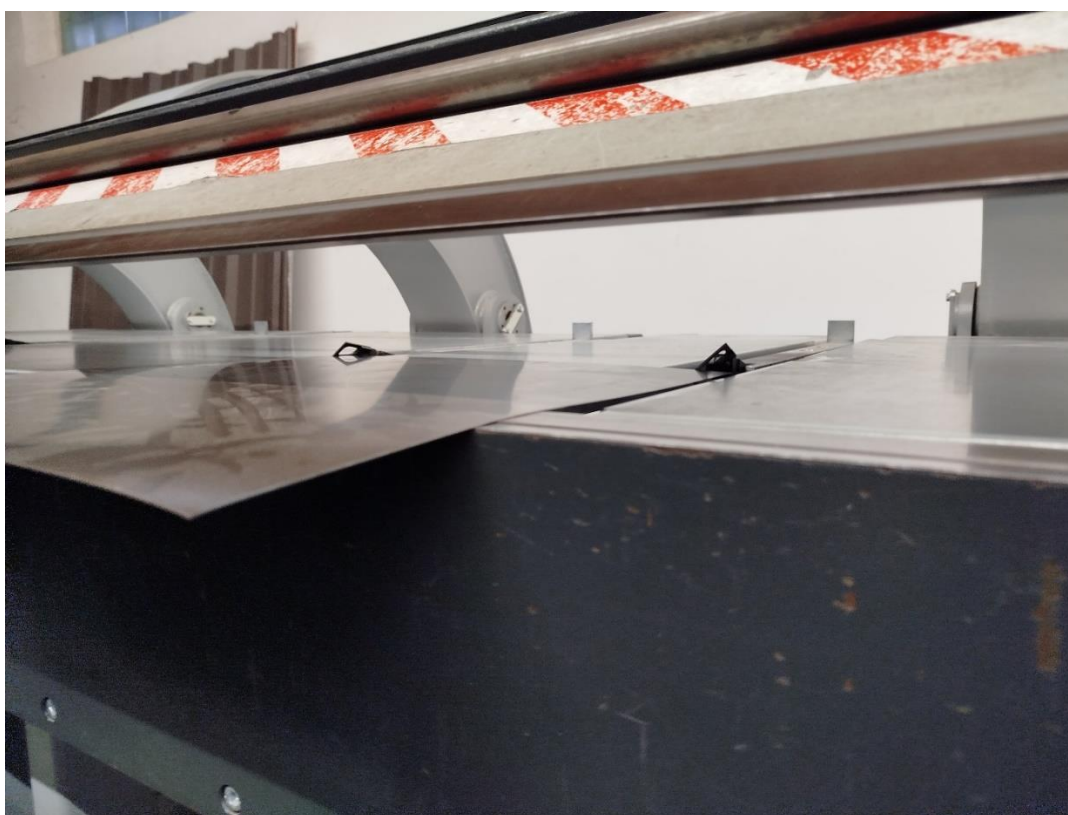
Slika 20. Podešavanje širine rezanja.



Slika 21. Prednji i stražnji naslon.



Slika 22. Umetanje lima u stroj za proces rezanja.



Slika 23. Poravnanje lima prema prednjim naslonima.



Slika 24. Zatvaranje čeljusti stroja.

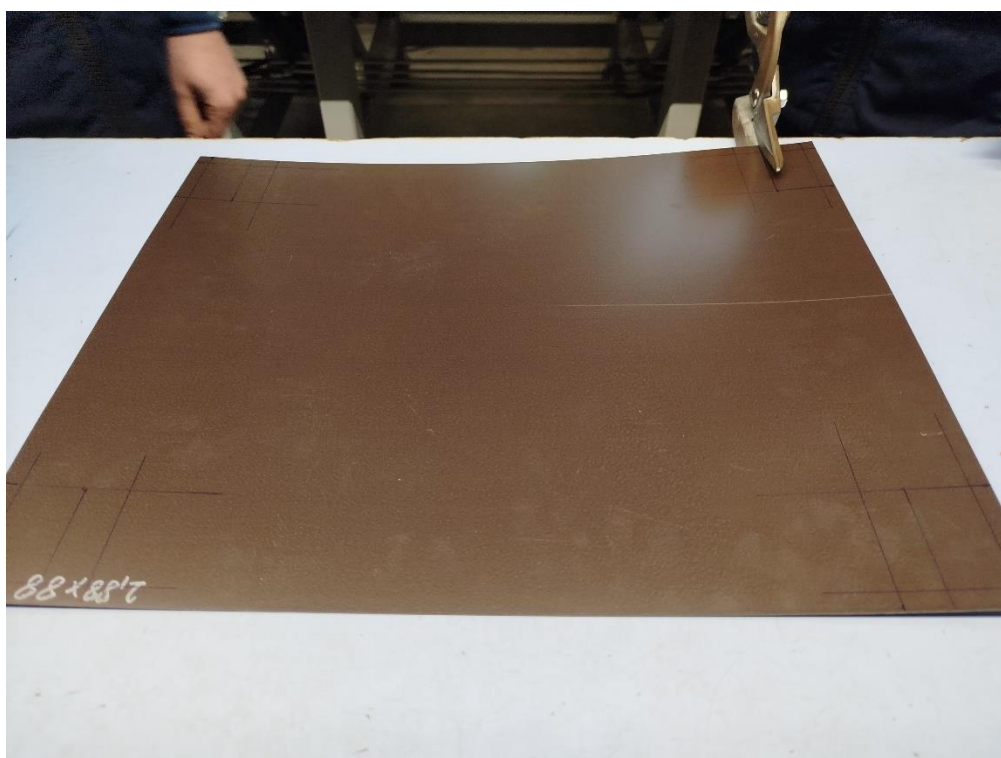


Slika 25. Škare spremne za rezanje lima.



Slika 26. Odrezivanje lima.

Time je dobiven početan oblik limene kutije. Nakon toga slijedi označavanje i predpriprema lima. Na limu se ucrtavaju dijelovi lima koji su višak i oni se izrezuju kako bi se olakšao proces savijanja.



Slika 27. Označavanje viška lima i njegovo izrezivanje.



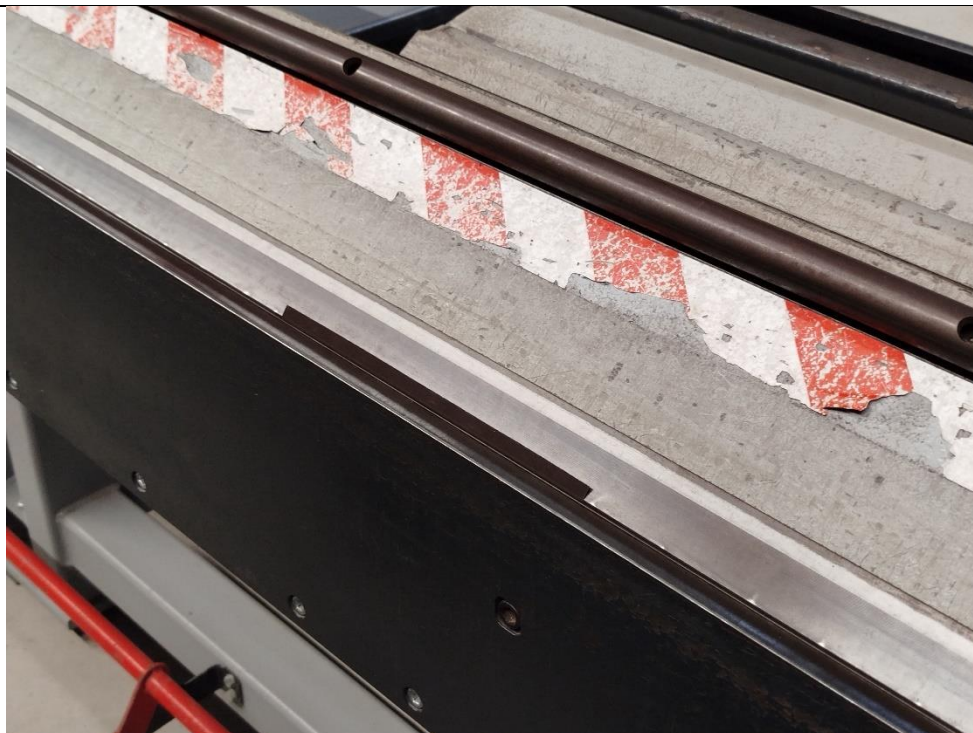
Slika 28. Lim nakon označavanja i predpripreme.

6.1. Faze savijanja limene kutije

Savijanje limene kutije započinje izradom obruba. Obrubljivanje se radi zbog estetike, sigurnosti i boljeg spajanja limova. Na ovome modelu stroja provodi se u 2 koraka. Prvo se rub lima savije pod kutom od 145° rotacijom letve za savijanje, a zatim se pritisne između dvije čeljusti.



Slika 29. Pozicioniranje lima na alat savijačice.



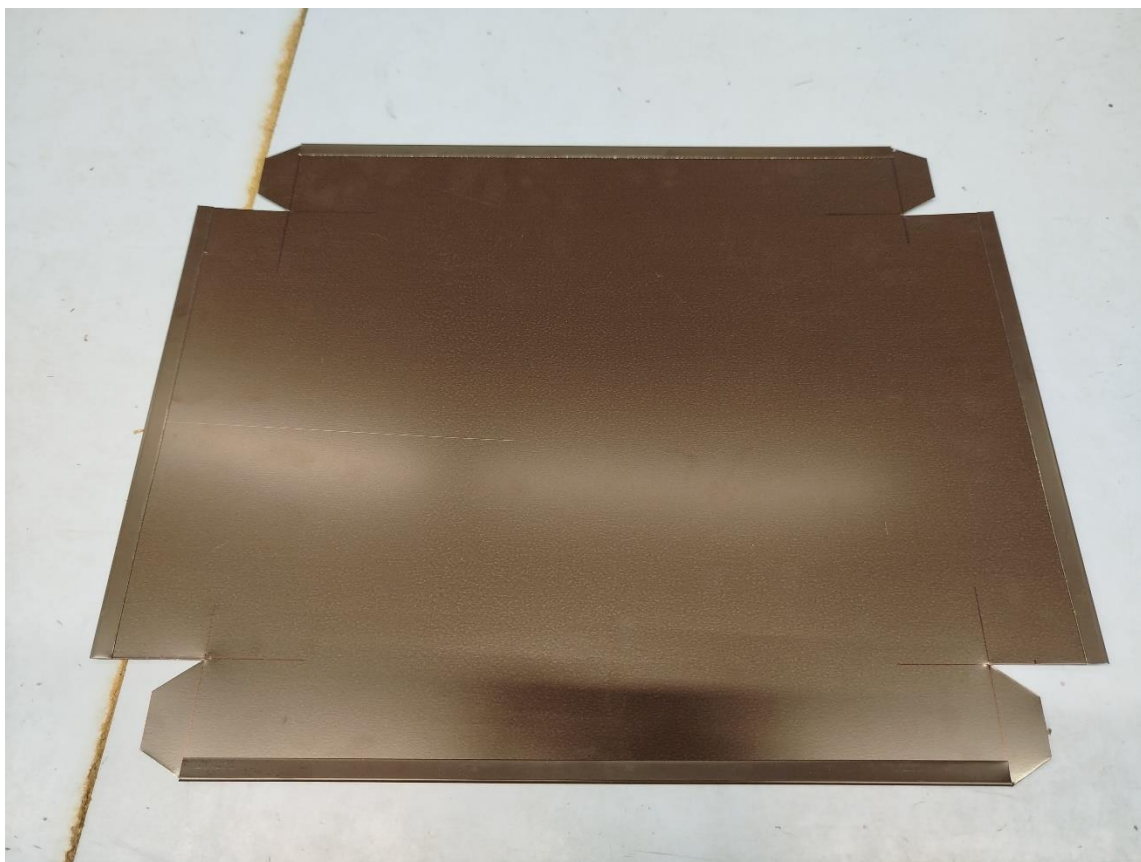
Slika 30. Lim nakon prvog koraka obrubljivanja.



Slika 31. Pozicioniranje lima za drugi korak obrubljivanja.

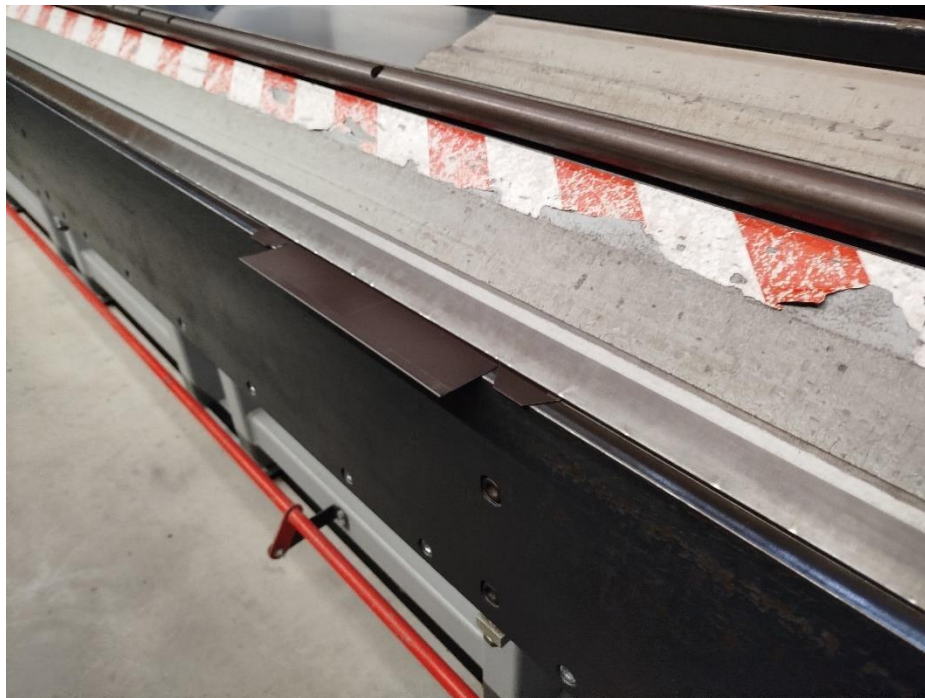


Slika 32. Lim nakon drugog koraka obrubljivanja.

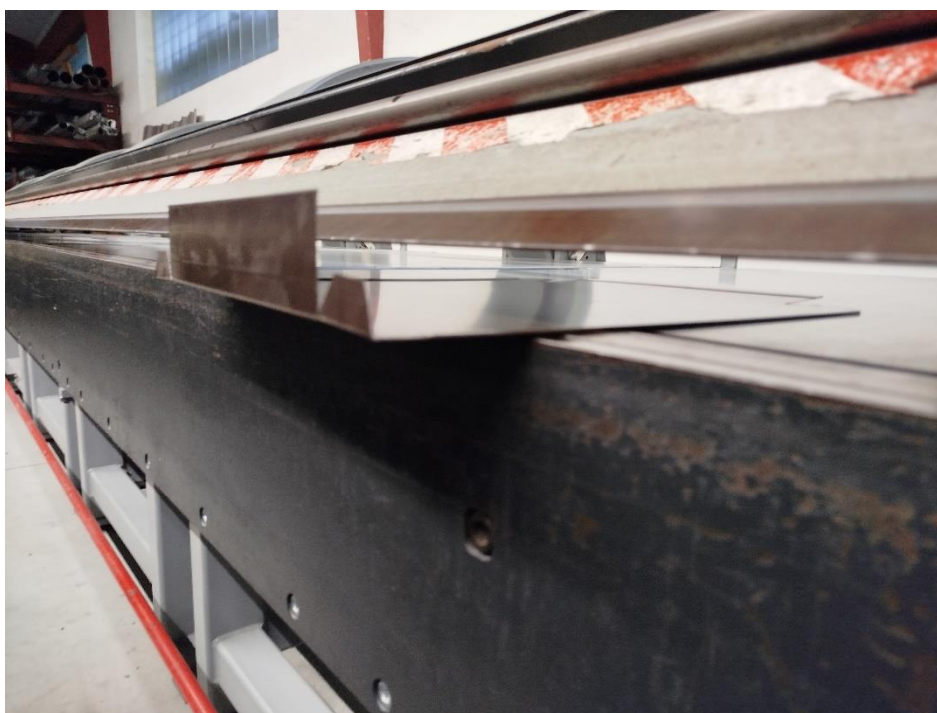


Slika 33. Obradak nakon obrubljivanja svih strana lima.

Nakon završenog procesa obrubljivanja slijedi proces savijanja lima u oblik limene kutije. Proces se provodi u više koraka gdje se treba izrazito paziti na slijed operacija koje se provode zbog kompleksnosti oblika završnog proizvoda. Započinje se savijanjem kraće strane i peraca za 90° rotacijom letve za savijanje.



Slika 34. Stegnuta kraća stranica i perca ručnim pozicioniranjem na alat stroja.



Slika 35. Savijena kraća stranica i perca pod 90°.

Nakon savijene kraće stranice radnik radi savijanje na rubu savijačice zbog neprikladnog oblika obratka. Savija se duža stranica pod 90° rotacijom letve za savijanje. Pozicioniranje je ručno zbog oblika obratka.

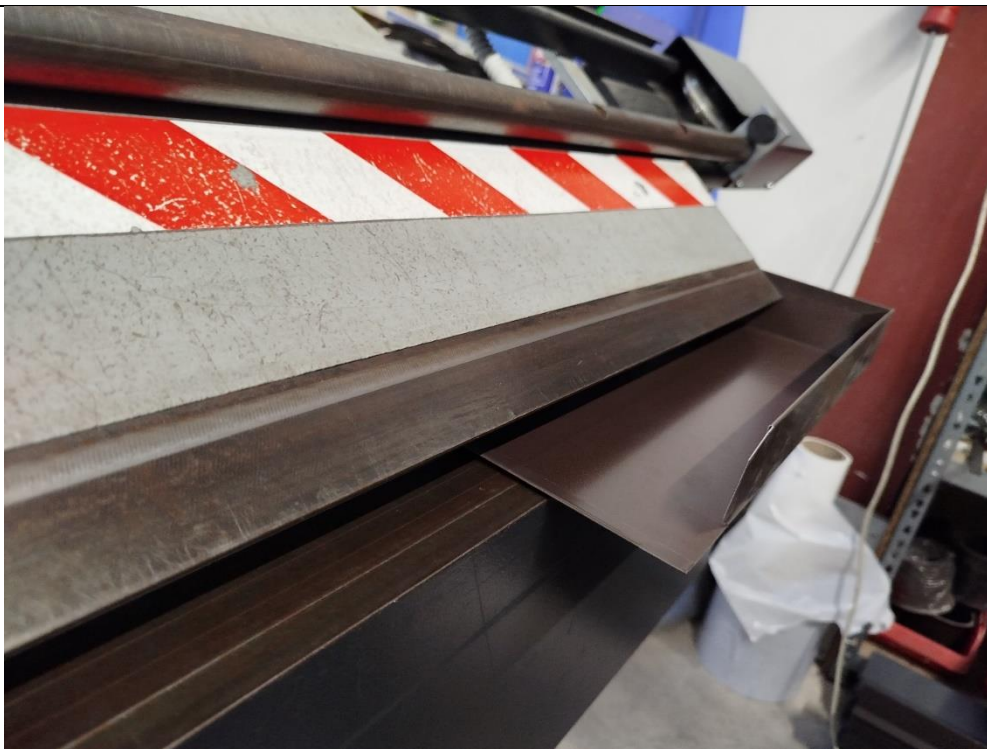


Slika 36. Ručno pozicioniranje obratka za savijanje duže stranice.

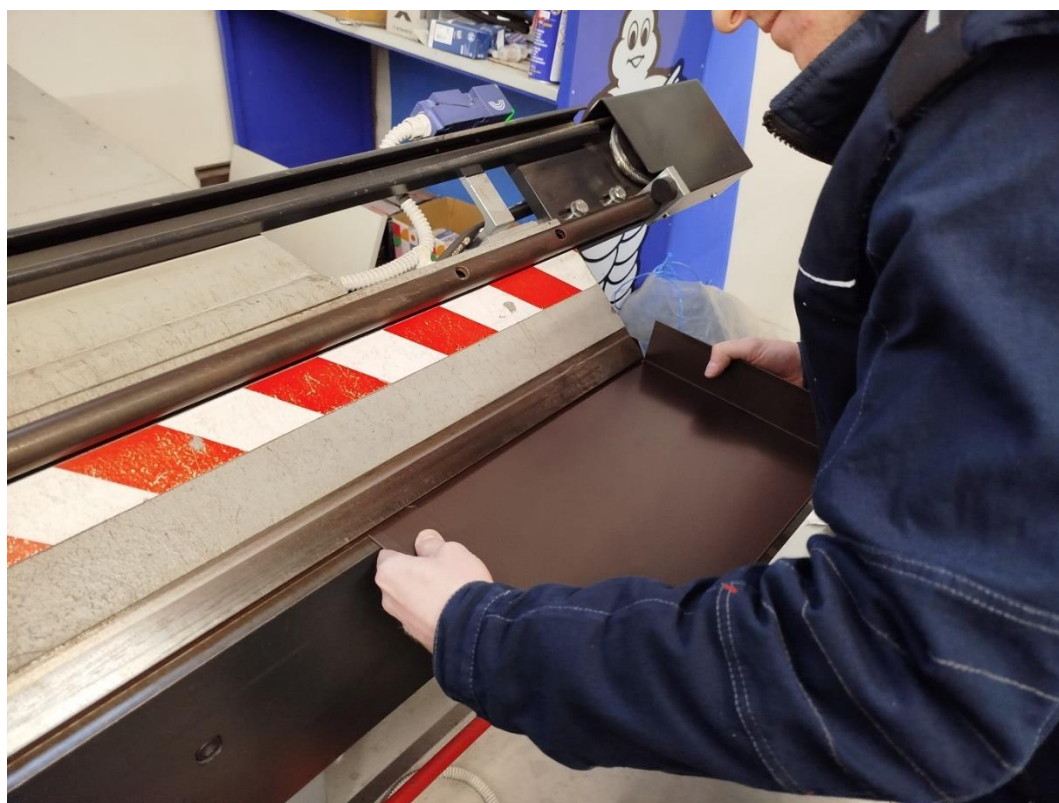


Slika 37. Savijanje dulje stranice obratka uz asistenciju radnika.

Radnik asistira stroj u radu kako ne bi došlo do kolizije između perca na duljoj stranici i kraće stranice obratka.



Slika 38. Savijena dulja stranica obratka.



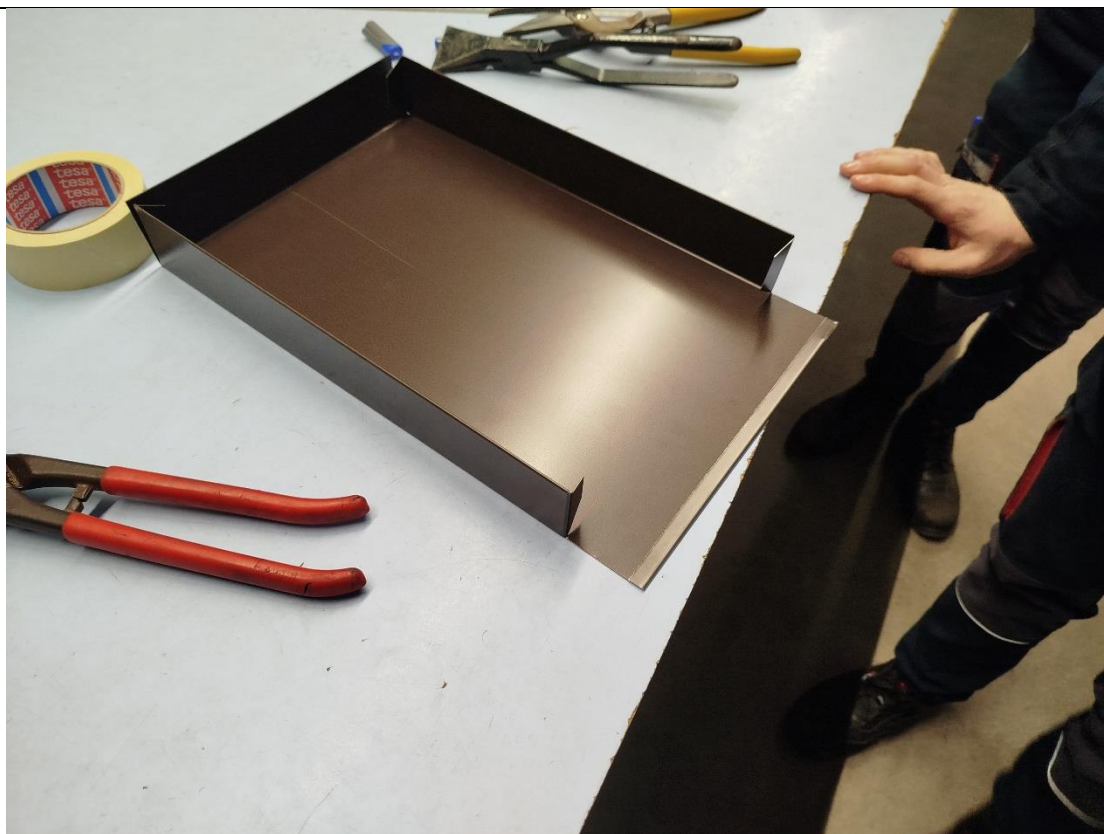
Slika 39. Ručno pozicioniranje druge dulje stranice obratka na alat stroja.



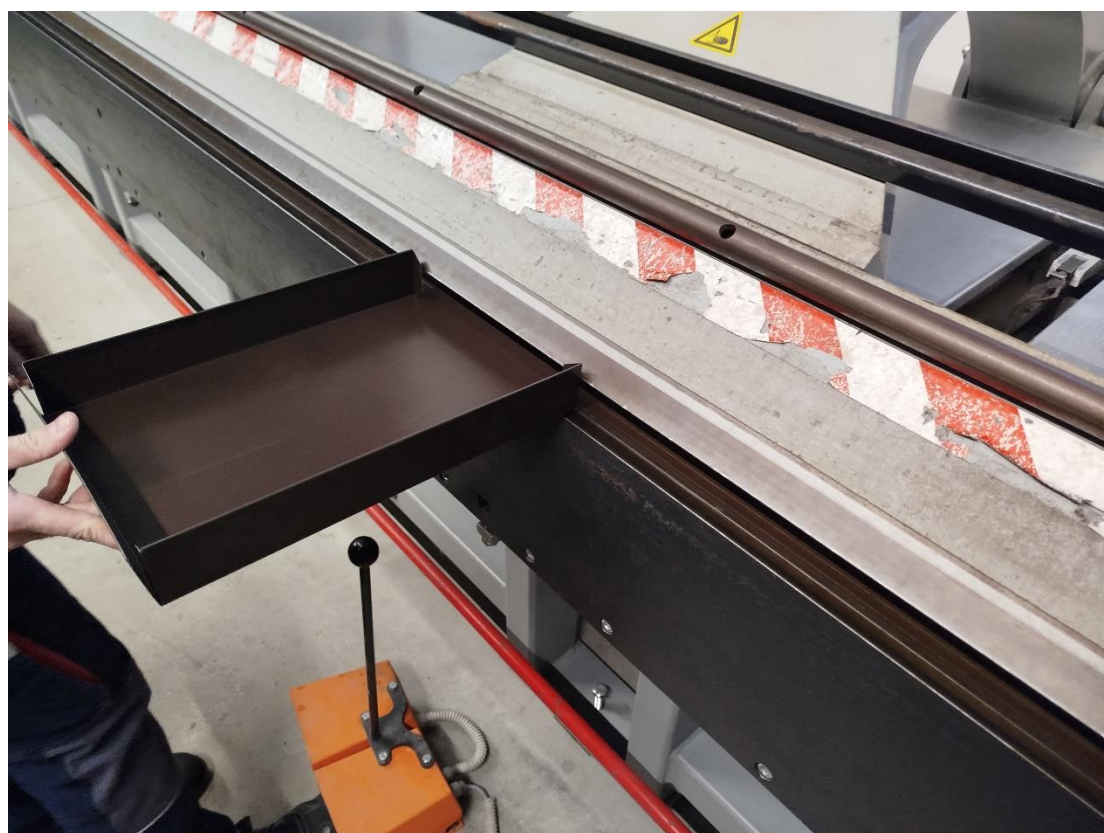
Slika 40. Savijena treća stranica obratka.



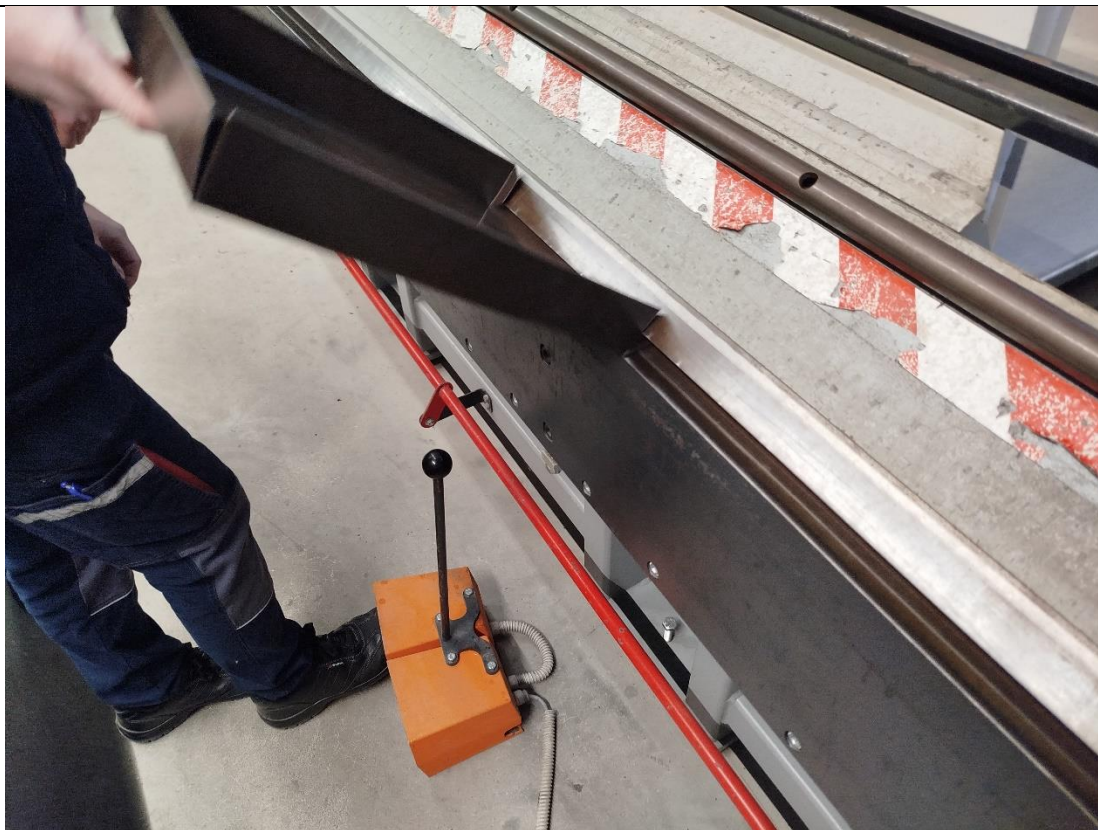
Slika 41. Ručno savijanje limenih peraca.



Slika 42. Obradak spreman za savijanje posljednje stranice.



Slika 43. Ručno pozicioniranje obratka na alat stroja.



Slika 44. Savijanje posljednje stranice pod 45° zbog oblika obratka.



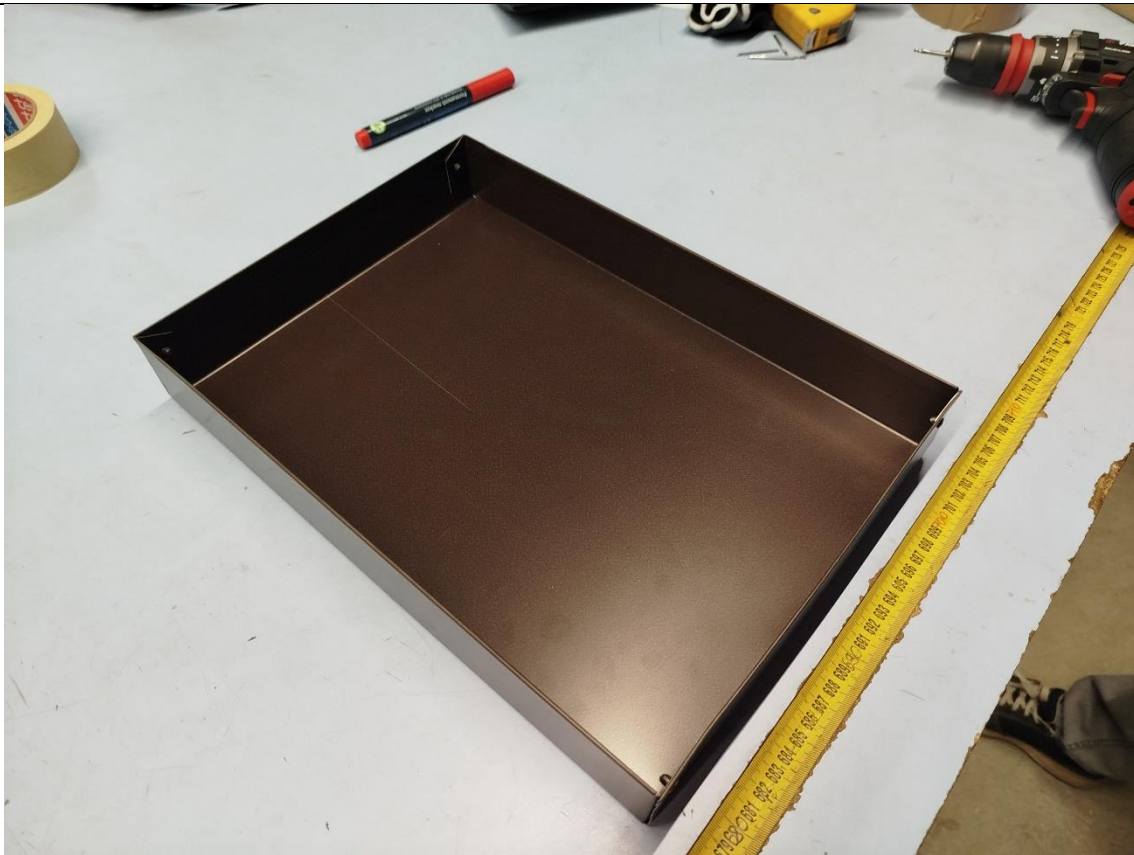
Slika 45. Ručno savijanje posljednje stranice do 90° .



Slika 46. Bušenje rupa za zakovice.



Slika 47. Zakivanje stranica limene kutije.



Slika 48. Završni proizvod.

Izrada limene kutije trajala je 20 minuta. U procesu se većinom koriste ručne metode izrade zbog velike potrebe za fleksibilnošću u procesima izrade ove tvrtke.

6.1. Poteškoće i prijedlozi rješenja

Kroz proces izrade limene kutije javile su se neke poteškoće. Jedna od poteškoće je otežano pozicioniranje obratka na alat stroja zbog geometrije obratka. To se može jasno vidjeti na slikama 36., 39., i 44. Obratci koji su kutijastog oblika ne mogu ući između čeljusti bez da budu zgnječeni. Takve situacije radnici rješavaju savijanjem dijelova na rubu stroja gdje je rad nesigurniji i teži. Moj prijedlog bio bi da se stol za prihvat i pozicioniranje obratka produlji kako bi obradak mogao biti pričvršćen bez većih opasnosti. Drugo rješenje bilo bi u slučaju potrebe za većim serijama izrade limenih kutija nabavka stroja koji ima mogućnost promjene duljine stezne čeljusti, čime bi se kutijasti obratci savijali s lakoćom. Drugi prijedlog rješenja bio bi promjena geometrije kutije, načina samog savijanja kutije. Na primjer savijanje kutija iz više komada lima koji bi se kasnije spajali ljepilima ili vijcima i zakovicama.

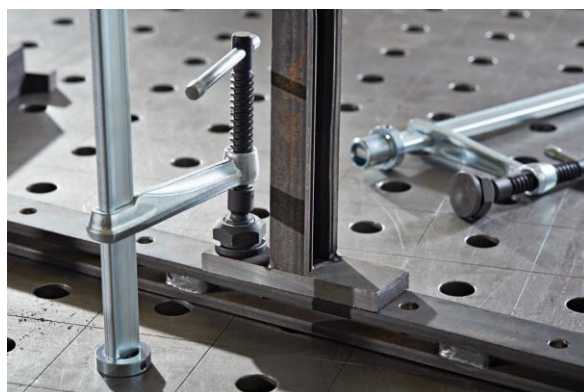
6.2. Prilagodba izvedbe stola stroja

Jedan od prijedloga poboljšanja procesa izrade limenih kutija je prilagoditi stroj takvim vrstama proizvoda bez utjecaja na obrade drugih vrsta proizvoda. To je najlakše ostvarivo montažnim steznim elementom koji bi se stezao sa desne strane stroja, ona koja je prikazana na slikama 36. i 39. Stezni element služio bi za prihvat obratka čime bi se smanjila opasnost za radnika i povećala preciznost obrade samih kutova.



Slika 49. Pozicija preuređenja stroja.[15]

Prvo bi se produljio stol stroja na koji se montira stezni element te bi se vijčanim spojem stezni element pričvrstio na produljeni dio stola. Stezni element imao bi mogućnost prijehvata obratka u ravnini sa radnim stolom kao i u ravnini okomitoj sa radnim stolom. Kod ove izvedbe mora se paziti da stezni element ne ulazi u radni prostor savijačice lima, to jest da nije u putanji letve za savijanje. Zbog toga provodimo produljenje stola.

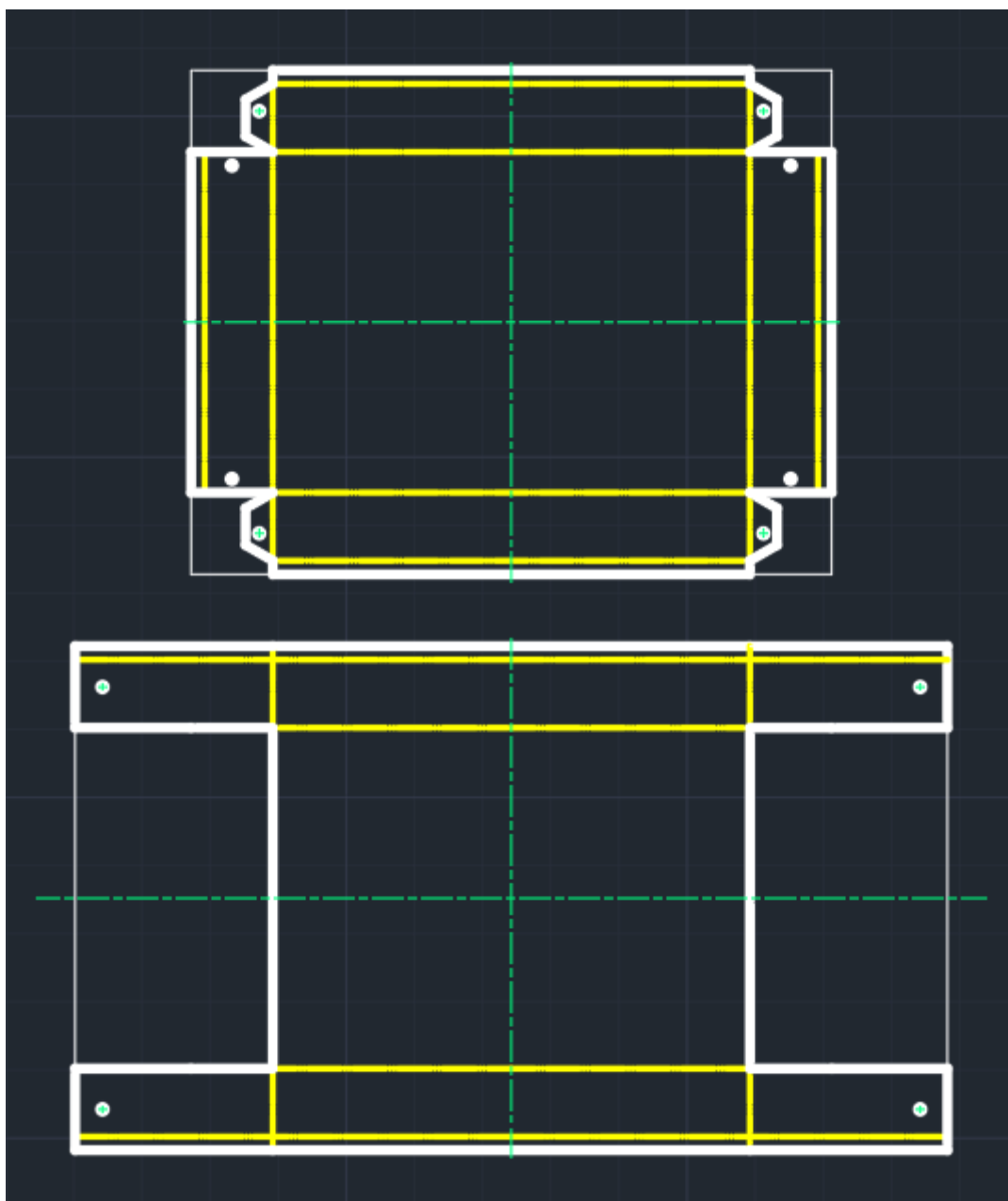


Slika 50. Stezni element koji bi bio povoljan za ovu prilagodbu.[16]

Na površinu stezanja moguće je postaviti i prihvat stege u obliku lima čime bi se osiguralo lim od pomaka.

6.3. Promjena geometrije i načina savijanja kutije

Jedan od prijedloga poboljšanja procesa izrade limenih kutija je promjena geometrije kutije. Pod promjenom geometrije kutije ukazujem na promjenu tehničkog crteža kutije kako bi imali mogućnost saviti sve 4 stranice kutije na savijačici. Prijedlog se odnosi na sliku 44., ali i samim crtežom na tehnički crtež 01-1102-2025. Promjenom načina savijanja kutije povećala bi se zahtijevana početna površina lima. Samim time promijenila bi se i količina otpadnog lima.



Slika 51. Usporedna skica klasične izrade kutije i promijenjene skice savijanja.

U programu AutoCAD izrađene su sheme kutije iste dimenzije na 2 načina. Prvi je klasičan način izrade koji se generalno upotrebljava kod izrade kutijastih komada, a drugi način je

promijenjen način savijanja kutije iste veličine dna. Usporedbom samih skica vidljivo je da za prvi slučaj treba manje početnog materijala. Pogledom na skice vidljivo je da u drugom slučaju treba manje dorade početnom komadu lima te se samim time proces izrade kutije ubrzava. U drugom slučaju smanjuje se potreba da se koristi sam rub stroja kao na slikama 36. i 39., ali se može koristiti umjesto ručnog savijanja stranica na kojima se nalaze otvori za zakovice. Postupak savijanja u drugom slučaju bio bi obrubljivanje duljih stranica, zatim savijanje duljih stranica i na kraju savijanje stranica sa otvorima za zakovice. Samim time smanjuje se i broj zakovica potrebnih za izradu kutije. Također je moguće ostaviti i perca s unutrašnje strane stranica koje imaju otvore u slučaju potražnje nepropusnosti kutije. Ovdje je glavno pitanje isplati li se koristiti više materijala kod izrade kutije na drugi način ili će prevladati stariji način savijanja koji je radnicima već jako dobro poznat.

7. ZAKLJUČAK

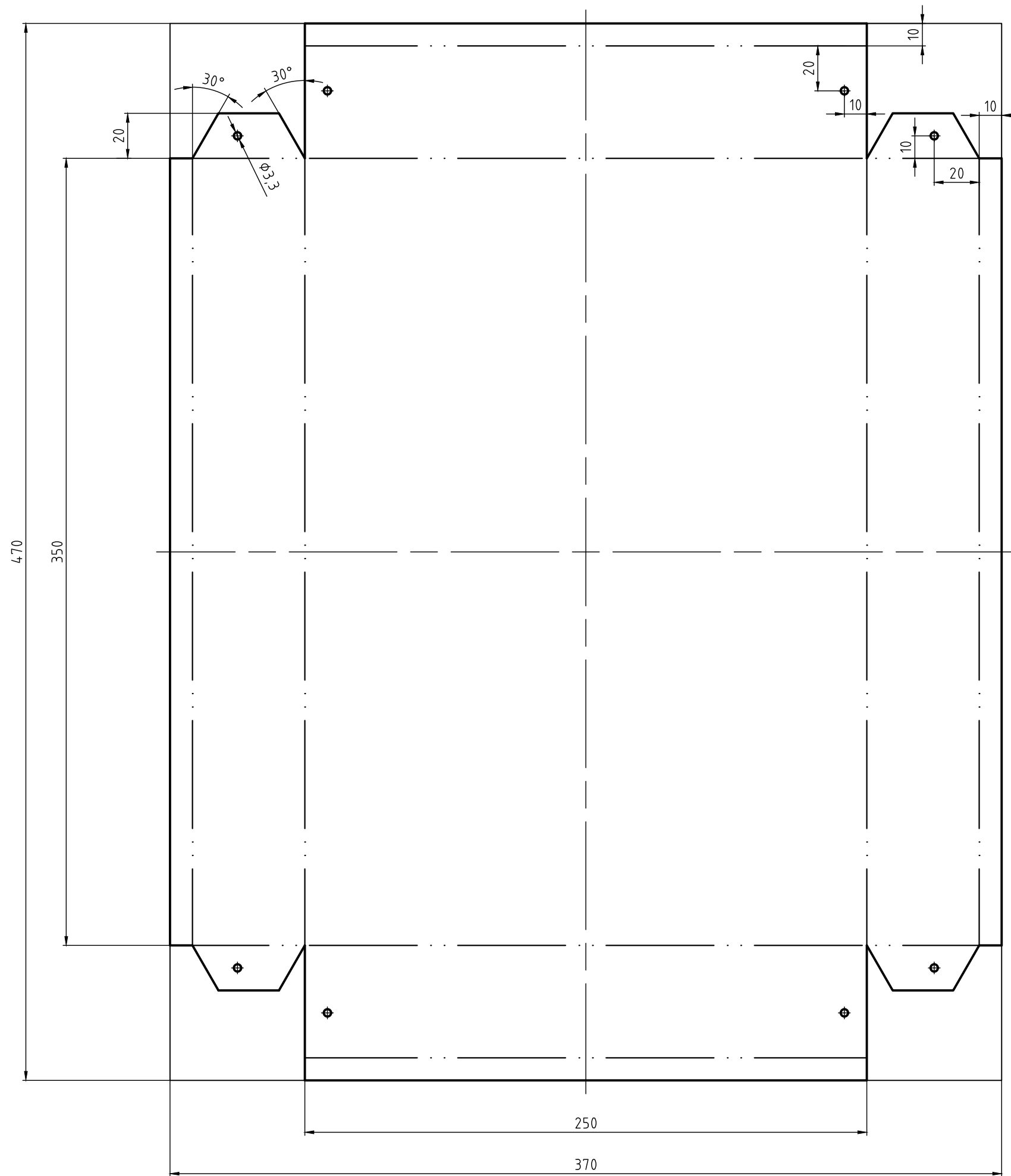
U ovom radu prikazana je jedna od najkorištenijih tehnologija oblikovanja deformiranjem, savijanje. Savijanje ima veoma važnu ulogu u izradi limenih kutija i obradaka kutijastog oblika. Preciznost izrade tih obradaka leži u karakteristikama materijala, ali i u odabiru strojeva i alata za savijanje. Uvođenje novih uređaja za prihvat obradaka olakšalo bi proizvodni proces, ali u slučaju malih serija često nisu ekonomski opravdana. Optimizacijom pozicioniranja i prilagodbe procesa savijanja uz dobar odabir stroja i alata za oblikovanje omogućuju proizvodnju limenih kutija visoke kvalitete. Daljnjom automatizacijom i uvođenjem novih naprednijih sustava upravljanja moguće je ubrzati vrijeme izrade ali i povećati njenu kvalitetu.

LITERATURA

- [1] Grizelj, B.: Oblikovanje metala deformiranjem, Slavonski Brod, 2002.
- [2] Math, M.: Uvod u tehnologiju oblikovanja deformiranjem, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [3] Musafia, B.: Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1970.
- [4] <https://www.lorsel.com/detalji-proizvoda/faccin-hav-strojevi/> pristup: siječanj 2025.
- [5] <https://www.lorsel.com/detalji-proizvoda/faccin-4hel-strojevi/> pristup: siječanj 2025.
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=S5DkOeNqRpg> pristup: siječanj 2025.
- [7] <https://sheetmetal.me/tooling-terminology/rotary-die/> pristup: veljača 2025.
- [8] Madjarević, B: Rukovanje materijalom, Tehnička knjiga, Zagreb, 1972.
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=OchWltp6NGQ&t=81s> pristup: veljača 2025.
- [10] <https://www.kinocranes.com/hr/product/pillar-jib-crane/> pristup: veljača 2025.
- [11] <https://www.youtube.com/shorts/OcFpn8HE-Vo> pristup: veljača 2025.
- [12] <https://www.carrlane.com/engineering-resources/fixture-design-principles/locating-clamping-principles> pristup: veljača 2025.
- [13] <https://tipteh.com/sensors/position-sensors/> pristup: veljača 2025.
- [14] Groover, M. P.: Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Pearson, 2015.
- [15] https://strojogradnja-sas.si/hr/proizvodi/strojevi_za_savijanje_lima/profi/8/hks_cs_profi/tab-12/ pristup: veljača 2025.
- [16] https://www.maksal-line.rs/sr/BESSEY_TWM28/ pristup: veljača 2025.

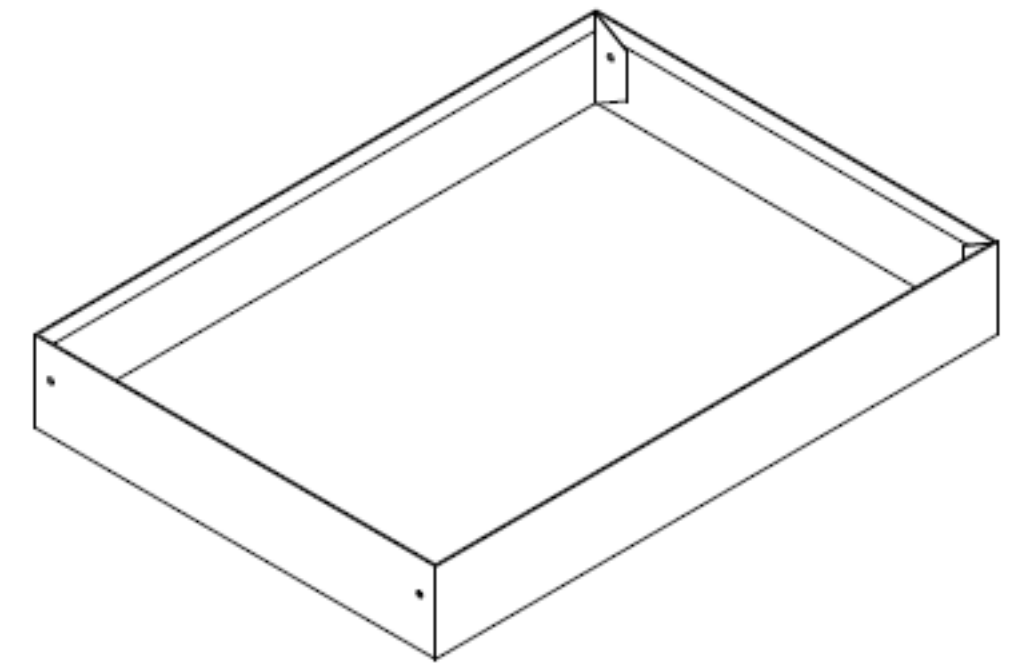
PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



Napomena:

- ① Debljina lima d=0,5mm
- ② Svi radijusi savijanja predodređeni su radijusom gornje čeljusti



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Studij strojarstva
Projektirao	11.02.2025.	Karlo Cvrk		
Razradio	11.02.2025.	Karlo Cvrk		
Crtao	11.02.2025.	Karlo Cvrk		
Pregledao				
Voditelj rada				
Objekt:	Limena kutija		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:	① ②		Proizvodno inženjerstvo	Kopija
Materijal:	PCB 8019	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala M1:2	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
	Obradak prije savijanja		1	Listova: 1
	Crtež broj:	01-1102-2025		List: 1