

# Proizvodnja armaturnog profila prema crtežu 007

---

**Gajić, Anđelko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:862964>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA POLITEHNIKU**

**DIPLOMSKI RAD**

**Andelko Gajić**

**Rijeka, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA POLITEHNIKU**

Studijski program : Sveučilišni diplomski studij politehnike i informatike  
Student: Anđelko Gajić

Tema diplomskog rada: **PROIZODNJA ARMATURNOG PROFILA  
PREMA CRTEŽU 007**

Mentor:  
prof. dr. sc. Marko Dunder

Rijeka, rujan 2017.

Sveučilište u Rijeci  
**Filozofski fakultet**  
**ODSJEK ZA POLITEHNIKU**  
u Rijeci  
Sveučilišna avenija 4.  
**Povjerenstvo za završne i diplomske ispite**

U Rijeci, .6.2017.

## **ZADATAK DIPLOMSKOG RADA**

**Rješenjem zadatka potrebno je obuhvatiti sljedeće:**

**Pristupnik: Anđelko Gajić**

**Zadatak: Proizvodnja armaturnog profila prema crtežu 007**

1. Uvodni dio – Opće značajke obrade plastičnom deformacijom
2. Objasniti specifičnosti i zahtjeve koji se postavljaju kod projektiranja tehnologije izrade profila savijanjem
3. Navesti karakteristike materijala za izradu armaturnog profila
4. Razraditi tehnologiju izrade proizvoda prema crtežu broj 007. Navesti faze izrade, izvršiti izbor potrebnih alata i pribora u skladu s traženom kvalitetom
5. Navesti zahtjeve pri odabiru stroja i tehnološke mogućnosti odabranih strojeva
6. Metodički dio:
  - Analizirati nastavni program srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada
  - Napisati pripremu za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s HKO (Hrvatski klasifikacijski okvir)
7. Zaključci

U diplomskom se radu obavezno treba pridržavati **Uputa o diplomskom radu**.

**Zadatak uručen pristupniku: .6.2017.**

**Rok predaje diplomskog rada: .9.2017.**

**Datum predaje diplomskog rada: \_\_\_\_\_**

**PREDSJEDNIK POVJERENSTVA  
ZA DIPLOMSKE I ZAVRŠNE ISPITE**

**Doc. dr. sc. Tomislav Senčić, dipl. ing.**

**ZADATAK ZADAO:**

**Prof. dr. sc. Marko Dunder, dipl. ing.**

## IZJAVA

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam diplomski rad izradio samostalno, znanjem stečenim na Filozofskom fakultetu u Rijeci na odsjeku za Politehniku služeći se pri tome navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Marka Dunđera, kome se srdačno zahvaljujem.

Zahvaljujem se i gđi. Fedori Vranić, tajnici našeg odsjeka, koja je tijekom cijelog našeg obrazovanja brinula o nama studentima.

Također se zahvaljujem i firmi Hermes d.o.o. koja mi je omogućila izradu diplomskog rada i stjecanje iskustva u proizvodnji armaturnih profila.

Andelko Gajić

---

Rijeka, rujan 2017.

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	I
POPIS TABLICA.....	III
POPIS KRATICA .....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
1.1. Opće značajke obrade plastičnom deformacijom.....	1
1.2. Osnove oblikovanja metala deformiranjem .....	3
1.2.1. Podjela oblikovanja metala deformiranjem.....	3
1.2.2. Pristup oblikovanju metala deformiranjem .....	3
1.2.3. Oblikovljivost materijala.....	4
1.3. Najčešće vrste oblikovanja metala deformiranjem s obzirom na postupke .....	5
1.3.1. Sabijanje .....	5
1.3.2. Provlačenje .....	7
1.3.3. Valjanje .....	8
1.3.4. Kovanje .....	9
1.3.5. Savijanje .....	10
1.3.6. Duboko vučenje.....	11
2. SPECIFIČNOSTI I ZAHTJEVI KOD PROJEKTIRANJA TEHNOLOGIJE IZRADE PROFILA SAVIJANJEM.....	12
2.1. Granične vrijednosti radijusa savijanja .....	12
2.2. Deformacije pri savijanju .....	13
2.2.1. Elastične deformacije .....	13
2.2.2. Elastično-plastične deformacije .....	15
2.2.3. Plastične deformacije .....	16
2.3. Razvijena dužina obratka .....	17
3. KARAKTERISTIKE MATERIJALA ZA IZRADU ARMATURNOG PROFILA.....	22
3.1. Svojstva materijala .....	22
3.2. Masa, pakiranje i označavanje proizvoda.....	23
3.3. Dimenzije i dopuštena odstupanja armaturnih mreža .....	24
3.4. Geometrija površine rebrastog čelika.....	25
3.5. Tehnička uputa za zavarene armaturne mreže kvalitete B500A .....	27
4. TEHNOLOGIJA IZRADE PROIZVODA PREMA CRTEŽU BROJ 007 .....	29
4.1. Tehnološki postupak izrade.....	29

4.2.	Opis stroja .....	51
4.2.1.	MEP Format 14 HS .....	51
4.2.1.1.	Kvaliteta i proizvodnost .....	52
4.2.1.2.	Inovativno rješenje .....	53
4.2.1.3.	Upravljanje ravnanjem .....	54
4.2.1.4.	Sigurnost i ergonomija .....	55
4.2.1.5.	Dijelovi stroja i pribor .....	56
4.2.1.6.	Kompjuterizirano upravljanje strojem .....	60
4.3.	Kalkulacija cijene i otplate stroja .....	62
5.	ZAHTJEVI PRI ODABIRU STROJA I TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI ODABRANIH STROJEVA .....	64
6.	METODIČKI DIO .....	67
6.1.	Analiza nastavnog programa srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada .....	67
6.2.	Ustroj strukovnog obrazovanja u Republici Hrvatskoj .....	67
6.3.	Opis programa zanimanja računalni tehničar za strojarstvo .....	68
6.4.	Nastavni plan predmeta Tehnička mehanika .....	70
6.5.	Priprema za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s HKO... ..	73
7.	ZAKLJUČAK .....	81
	LITERATURA .....	82

## POPIS SLIKA

Slika 1.1. Podjela oblikovanja metala deformiranjem [1].....	1
Slika 1.2. Postupci oblikovanja metala deformiranjem [1].....	3
Slika 1.3. Krivulja napreznja plastičnog tečenja pri hladnom i toplom oblikovanju [1].....	4
Slika 1.4. Napreznja kod sabijanja prizme [1] .....	5
Slika 1.5. Dijagram raspodjele aksijalnog napreznja [1].....	6
Slika 1.6. Primjer provrta napravljenog provlačenjem (žlijebni spoj) [4].....	7
Slika 1.7. Prikaz rada uzdužnog valjanja [5].....	8
Slika 1.8. Podjela kovanja [1] .....	9
Slika 1.9. Savijanje [1] .....	10
Slika 1.10. Shema dubokog vučenja u više faza [1].....	11
Slika 2.1. Shema elastičnog ispravljanja [7] .....	13
Slika 2.2. Stanja elastoplastičnog objekta [8] .....	15
Slika 2.3. Dijagram vlačne čvrstoće trgovačkih čelika .....	16
Slika 2.4. Izračunavanje razvijene dužine obratka [10] .....	17
Slika 2.5. Savijanje previjanjem [10] .....	17
Slika 2.6. Grafički prikaz savijanja obratka .....	19
Slika 2.7. Shema obratka za izračun razvijene dužine. ....	20
Slika 2.8. Prikaz razvijene dužine na ekranu stroja.....	21
Slika 3.1. Etiketa kojom se označava pakiranje proizvoda .....	23
Slika 3.2. Pakiranje mreže u vezove .....	24
Slika 3.3. Vrijednosti geometrijskih površina rebrastog čelika [11].....	26
Slika 3.4. Geometrijske značajke zavarenih mreža [11] .....	28
Slika 4.1. MEP Format 14 HS .....	51
Slika 4.2. Kombinacija patentiranih valjaka .....	52
Slika 4.3. a) AFS sustav eliminira rotaciju žice oko svoje osi [12] .....	53
Slika 4.3. b) Uvijanje žice tijekom provlačenja stvara otvorene poluge [12] .....	53
Slika 4.4. Pakiranje betonskog rebrastog željeza .....	54
Slika 4.5. Korekcija žice tijekom radnog ciklusa [12] .....	55
Slika 4.6. Radna površina [13] .....	55
Slika 4.7. Višeslojna naprava za prednapreznje [12].....	56
Slika 4.8. Vitlo za povlačenje žice [12] .....	56
Slika 4.9. Sakupljač.....	57
Slika 4.10. Savijač (biger) sa svornjacima [12] .....	57
Slika 4.11. a) Razdjelnik paketa.....	58
Slika 4.11. b) Transport paketa u razdjelnik .....	59



Slika 4.12. Kočnica .....	59
Slika 4.13. Upravljačka ploča [14].....	60
Slika 4.14. Programirani i unaprijed zapamćeni oblici .....	61
Slika 4.15. Kontrola svih parametara putem potenciometra .....	61

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Koeficijent savijanja [7] .....	12
Tablica 2.2. Faktor elastičnog ispravljanja ( $K\alpha$ ) [7] .....	14
Tablica 2.3. Minimalni polumjeri savijanja $r_{\text{umin}}$ (za savijanje pod $90^\circ$ ) [10].....	18
Tablica 3.1. Svojstva armaturne žice B500A [11] .....	22
Tablica 3.2. Nazivni promjeri, nazivne površine poprečnog presjeka, nazivne mase i svedena površina rebra [11] .....	22
Tablica 3.3. Vrijednosti geometrijskih površina rebrastog čelika [11] .....	26
Tablica 3.4. Kemijski sastav (% udjela mase) [11].....	27
Tablica 4.1. Cjenik armature .....	62
Tablica 5.1. Tehnološke mogućnosti stroja [12] .....	65
Tablica 6.1. Prikaz nastavnog plana za prvi razred.....	70
Tablica 6.2. Tehnička mehanika za drugi razred.....	71

## POPIS KRATICA

<b>Kratice</b>	<b>Opis kratice</b>
OOČ	Obrada odvajanjem čestica
OMD	Obrada metala deformiranjem
AFS	Sustav protiv uvijanja žice tijekom ravnanja (Anti-Twist and Straightening System)
HKO	Hrvatski klasifikacijski okvir
NUAS	Numerički upravljani alatni strojevi
ZNR	Zaštita na radu

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Naziv oznake
$k_f$	MPa	Naprezanje plastičnog tečenja
$\varphi$		Logaritamski stupanj deformacije
$h$	mm	Visina (u daljnjem dijelu visina rebra)
$b$	mm	Dužina
$\sigma$	MPa	Naprezanje
$\mu$		Faktor trenja
$C$		Konstanta integracije
$p_x$	MPa	Aksijalno naprezanje
$R$	mm	Polumjer savijanja šipke
$t$	mm	Promjer šipke
$r_{min}$	mm	Minimalna vrijednost radijusa savijanja
$r_{max}$	mm	Maksimalna vrijednost radijusa savijanja
$\varepsilon_m$		Deformacija kod zatezanja
$c$		Koeficijent savijanja
$\varepsilon_v$		Elastična deformacija
$R_V$	MPa	Volumni modul elastičnosti
$E$	MPa	Modul elastičnosti
$R_m$	MPa	Vlačna čvrstoća
$\alpha_1$	°	Kut alata
$\alpha_2$	°	Kut na obratku poslije elastičnog ispravljanja
$r_{u1}$		Radius alata
$r_{u2}$		Radius obratka poslije elastičnog ispravljanja
$L$	mm	Razvijena dužina
$l_1, l_2$	mm	Nesavijeni dijelovi obratka
$l_n$	mm	Dužina savijenog dijela obratka
$d$	mm	Nazivni promjer
$R_e$	MPa	Granica razvlačenja
$A_{gt}$	%	Ukupno istežanje pri najvećoj sili
$F_s$	N	Smična sila na zavaru
$S$	mm <sup>2</sup>	Nazivna površina poprečnog presjeka
$f_R$		Svedena površina rebra
$\sum e$	mm	Suma razmaka
$\beta$	°	Kut nagiba
$N_L$		Broj uzdužnih žica
$a$		Korak uzdužnih žica
$d$	mm	Promjer uzdužnih žica
$N_a$		Broj poprečnih žica
$d$	mm	Promjer poprečnih žica
$B$	mm	Duljina poprečne žice
$X_1$		Prepust uzdužnih žica
$X_2$		Prepust uzdužnih žica

$Y_1$		Prepust poprečnih žica
$Y_2$		Prepust poprečnih žica
$f_y$	MPa	Maksimalna granica tečenja
$f_t$	MPa	Maksimalna vlačna čvrstoća
$M_s$	Nm	Moment savijanja

## SAŽETAK

U radu je opisan postupak proizvodnje armaturnih profila prema crtežu broj 007. U Uvodu se opisuju opće značajke obrade plastičnom deformacijom, osnove oblikovanja metala deformiranjem te se navodi podjela oblikovanja deformiranjem, pristup oblikovanju metala deformiranjem i objašnjava se oblikovljivost materijala. Obrađuju se i najčešće vrste oblikovanja metala deformiranjem kao što su: sabijanje, provlačenje, valjanje, kovanje, savijanje i duboko vučenje.

U sljedećem poglavlju obrađuju se specifičnosti i zahtjevi kod projektiranja tehnologije izrade profila savijanjem. Spominju se granične vrijednosti radijusa savijanja, deformacije koje se javljaju pri savijanju (elastične, elasto-plastične, plastične) i razvijena dužina obratka. Razvijenu dužinu obratka izrađenog za ovaj rad kroz primjer računamo i u samome radu.

Nakon toga slijede karakteristike materijala za izradu armaturnog profila u kojem se obrađuju svojstva materijala, masa, pakiranje i označavanje proizvoda. Zatim se navode dimenzije i dopuštena odstupanja armaturnih mreža, geometrija površine rebrastog čelika i tehnička uputa za zavarene armaturne mreže kvalitete B500A.

U idućem poglavlju prikazana je tehnologija izrade proizvoda prema crtežu broj 007. Tehnologija izrade prikazana je putem tehnološkog lista, koji prikazuje sve operacije koje su potrebne za izradu proizvoda te skice pojedinih operacija. Nakon toga slijedi opis stroja na kojem je rad izrađen, a zatim kalkulacija cijene i otplate stroja, odnosno izračun koji prikazuje kroz koje će se vrijeme stroj otplatiti.

Nakon tehnologije izrade, navode se zahtjevi koji su potrebni pri odabiru stroja, kao i tehnološke mogućnosti odabranih strojeva.

Zatim slijedi Metodički dio u kojem se analizira nastavni program strukovne škole vezan uz temu rada. Metodički dio sadrži i pripremu za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s Hrvatskim kvalifikacijskim okvirom (HKO).

Na kraju rada je Zaključak, koji je osvrt na rad na temu Proizvodnja armaturnih profila prema crtežu broj 007.

Ključne riječi: savijanje, obrada metala deformacijom, granična vrijednost radijusa, MEP Format 14 HS, razvijena dužina obratka.

## SUMMARY

This master's thesis describes the procedure for the production of reinforcing profiles according to drawing No. 007. The Introduction describes the general features of plastic deformation processing, the basis for forming the metal by deforming, including their classification, as well as the approach to forming the metal by deforming. It also describes material shaping. The introduction deals with the most common types of forming the metal by deforming, such as: compression, squeezing through, rolling, forging, bending and deep drawing.

The next chapter deals with specifics and requirements in designing bending technology. The limit values of bending radius, flexural deformation (elastic, elastic-plastic, plastic) and the developed length of work piece are mentioned. The developed length of the work piece created for this thesis is being calculated through an example in the thesis itself.

Afterwards, the characteristics of the material for the production of reinforcing profiles are mentioned. Those are material features, mass, packaging and product labelling. This is followed by dimensions and permissible deviation of reinforcement grids, the geometry of the ribbed steel surface and technical instructions for the welded reinforcement grid of B500A quality.

The following chapter presents the technology of product design according to drawing No. 007. The production technology is presented through a technology sheet that shows all the operations required to produce the product and sketches of individual operations, followed by the description of the machine used to make the product and calculation of the price and repayment of the machine, in the calculation showing over which time the machine will be repaid.

After the manufacturing technology, the requirements for selecting the machine and the technological capabilities of the selected machines are stated.

Furthermore, there is a Methodology section, in which a technical high school curriculum related to the thesis's topic is analyzed. This section also includes a lesson plan for the certain level of qualification, which is in accordance with the Croatian Qualification Framework (HKO).

At the end of the thesis, there is a Conclusion, which is a review of this thesis's topic: Production of reinforcing profiles according to drawing No. 007.

Keywords: bending, forming the metal by deforming, the limit value of bending radius, MEP Format 14 HS, developed length of the work piece.

# 1. UVOD

## 1.1. Opće značajke obrade plastičnom deformacijom

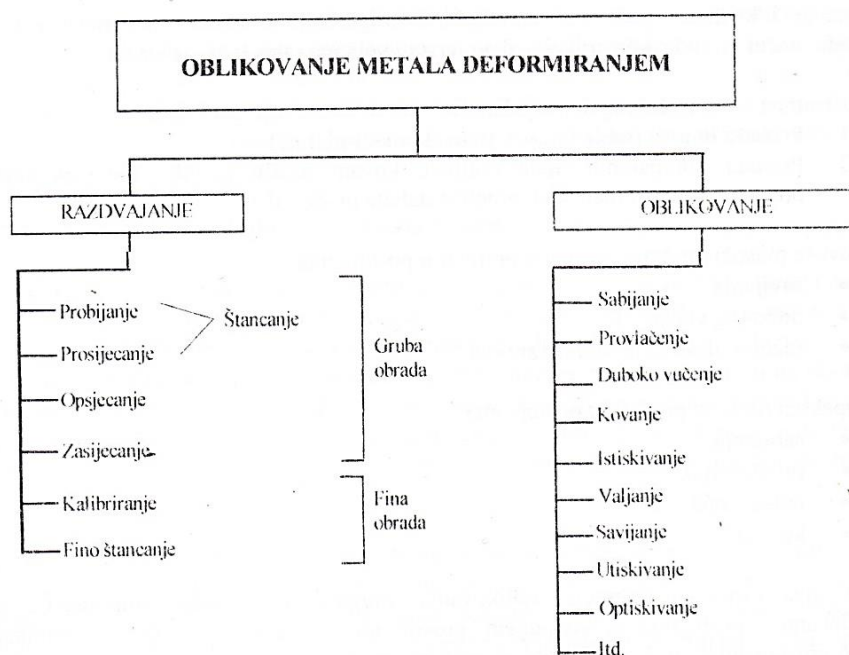
Pod pojmom obrada metala deformacijom ili obrada bez odvajanja čestica, podrazumijevaju se one metode oblikovanja materijala pri kojima se metalu daje željeni oblik operacijom plastičnog deformiranja i odvajanja. Metode oblikovanja metala deformiranjem su mnogobrojne i one pronalaze najširu primjenu u metalnim industrijama (metaloprerađivačka, industrija motora, zrakoplovna, industrija poluproizvoda, precizna mehanika, industrija proizvoda društvenog standarda i sl.). [1]

Obrada metala odvajanjem čestica (OOČ) svoju primjenu pronalazi i u pojedinačnoj proizvodnji, dok se za oblikovanje metala deformiranjem može reći da je vezano isključivo samo za serijski tip proizvodnje.

Glavni cilj ove vrste obrade metala je dobiti izratke u konačnom obliku uz što manji gubitak materijala i sa što manjim brojem radnih operacija. Također je poželjno da je dorada takvog jednog izratka što manja, a sami izradak se nakon obavljenih operacija može neposredno upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop, kao sastavni element istog.

Kako bi se materijal mogao prerađivati, potrebno ga je dovesti u stanje plastičnog tečenja, što znači da ga treba opteretiti iznad granice elastičnosti. Potreban rad i silu (opterećenje) ostvaruju strojevi za obradu deformiranjem: preše, kovački batovi, strojevi za savijanje, škare, automati, itd. Alat koji se priključuje stroju ima funkciju oblikovanja radnog proizvoda. Sila se sa stroja preko alata prenosi na radni komad. Prema tome, dinamika prerade deformiranjem se ostvaruje strojem, a geometriju radnog komada osigurava alat. [1]

Podjela oblikovanja metala deformiranjem prikazana je na slici 1.1 [1].



Slika 1.1. Podjela oblikovanja metala deformiranjem [1]



Opteretimo li materijal iznad granice plastičnog tečenja, materijal se trajno deformira, a takav način obrade naziva se oblikovanje metala plastičnom deformacijom.

Ukoliko se opterećenje i dalje nastavi povećavati, u jednome će trenutku doći do razdvajanja čestica materijala.

Takvo područje oblikovanja metala može se podijeliti u dvije skupine deformiranja:

1. Deformiranje do razaranja metala
2. Plastično deformiranje

Razaranje metala se izvodi u cilju razdvajanja komada na dijelove. U području obrade s odvajanjem čestica razdvajanje se vrši rezanjem na: pilama, tokarilicama, glodalicama i sl. Kod razdvajanja deformiranjem nema odvajanja čestica. Razdvajanje se vrši ili po otvorenoj rezanoj liniji (kao kod odsijecanja, zasijecanja i sl.) ili po zatvorenoj konturi (prosijecanje, probijanje, obrezivanje i sl.).

Za razliku od spomenute skupine deformiranja, plastično se deformiranje metala može obavljati u hladnome stanju (pri sobnoj temperaturi) ili u vrućem stanju (pri povišenoj temperaturi). Porastom temperature metala opada otpor kojim se metal suprotstavlja deformiranju i samim tim se olakšavaju uvjeti obrade samoga metala. Hoće li se proces obrade metala obavljati u hladnome ili vrućem stanju, to nam ovisi o nizu faktora kao što su: oblik, dimenzije i kvaliteta početnog materijala, konfiguracija i stupanj složenosti gotovog komada, način prerade, konstrukcija alata, vrsta i veličina raspoloživog stroja. [1]

S obzirom na oblik početnog materijala, plastično deformiranje obuhvaća:

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

Limovi se plastičnim deformiranjem prerađuju postupcima:

- Savijanja
- Dubokog vučenja
- Raznim plastičnim oblikovanjima

Kompaktna tijela se prerađuju postupcima:

- Sabijanja
- Provlačenja
- Istiskivanja
- Kovanja

Obradom plastične deformacije materijala mogu se izvršiti i postupci spajanja dijelova (sabijanje, zakivanje, hladno zavarivanje, previjanje, itd.). Ova se vrsta spajanja najčešće primjenjuje kod limova, ali nije isključena i za kompaktna tijela. [1]

Kako bi se što uspješnije mogla provesti obrada plastičnom deformacijom, ona se često kombinira i s pomoćnim radovima kao što su:

- Zagrijavanje komada
- Rekristalizacijsko žarenje i normalizacija
- Podmazivanje komada
- Pjeskarenje
- Pranje i fosfatiranje

Svi navedeni radovi se obavljaju kako bi se postigla što bolja plastična svojstva materijala, a radi smanjenja unutrašnjih naprezanja, trenja prilikom procesa obrade,

sprječavanja korozije i poboljšanja svih ostalih segmenata koji utječu na sami postupak i proces obrade.

## 1.2. Osnove oblikovanja metala deformiranjem

### 1.2.1. Podjela oblikovanja metala deformiranjem

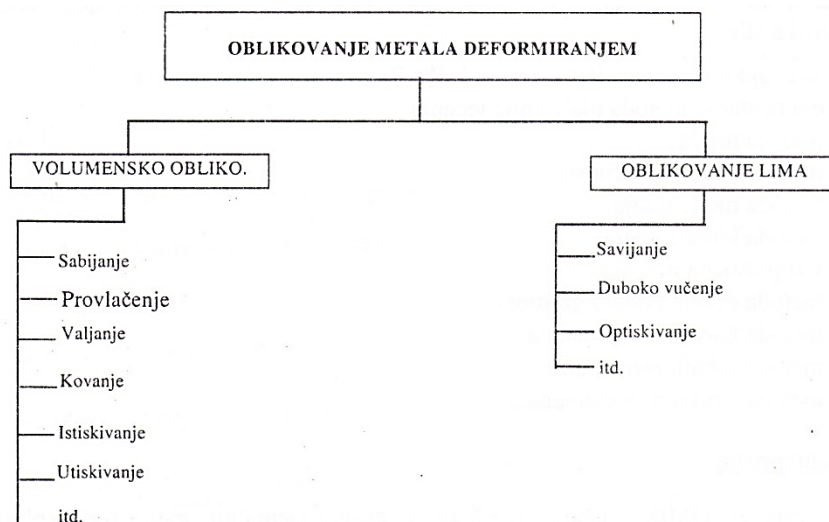
Oblikovanje metala deformiranjem (OMD) dijeli se s obzirom na:

#### 1. Temperaturu rekristalizacije:

- Hladno oblikovanje ispod temperature rekristalizacije
- Toplo oblikovanje iznad temperature rekristalizacije

Ako se olovo visoke čvrstoće oblikuje na temperaturi od  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  to je još uvijek plastična obrada u toplom stanju, dok je plastična obrada čelika na  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  obrada u hladnom stanju.

#### 2. Postupke:



Slika 1.2. Postupci oblikovanja metala deformiranjem [1]

#### 3. Stanje naprezanja:

- Jednoosno stanje naprezanja
- Dvoosno stanje naprezanja
- Troosno stanje naprezanja

### 1.2.2. Pristup oblikovanju metala deformiranjem

Oblikovanje metala deformiranjem ima sljedeće pristupe:

#### 1. Mehaničko-matematički pristup

U plastičnom području deformiranog tijela i uvjetima prijelaza elastične deformacije u plastičnu. Kod ovog pravca istraživanja promatraju se uvjeti ravnoteže elementarnog dijela volumena u zoni deformacije, te iz tih uvjeta određuju se parametri deformacije i deformacijske sile.

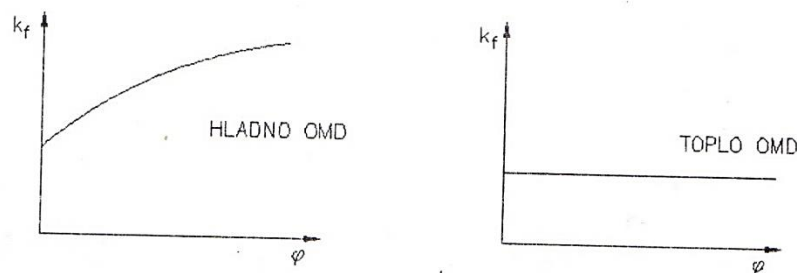
Tu se proučavaju naprezanja, deformacije i sile. Za to postoji više metoda:

- Elementarna metoda plastičnog tečenja
- Metoda mreže
- Metoda visokoplastičnosti
- Metoda modeliranja
- Metoda kliznih linija
- Fotoplastična metoda
- Metoda gornje i donje granice
- Metoda konačnih elemenata
- Metoda strukturnih elemenata

## 2. Fizikalni pristup

Fizikalni pristup OMD izučava teorijski i eksperimentalni mehanizam plastične deformacije vodeći računa o anizotropnosti i kristalnoj građi metala.

Tu se proučavaju promjene naprezanja plastičnog tečenja  $k_f$  pri hladnom i toplom OMD,  $k_f=f$  (materijala, temperature,  $\varphi$ )



Slika 1.3. Krivulja naprezanja plastičnog tečenja pri hladnom i toplom oblikovanju [1]

## 3. Fizikalno-kemijski pristup

Tu se proučavaju promjene u materijalu prilikom zagrijavanja. To je veza kemijskog sastava i faznih stanja materijala. [1]

### 1.2.3. **Oblikovljivost materijala**

Oblikovljivost se može definirati kao omjer najveće deformacije koju istraživani materijal može podnijeti (bez nestabilnosti, pukotina i loma) i parametara procesa.

Ovako općenita definicija proizlazi iz okolnosti što oblikovljivost u različitim postupcima ima različita značenja:

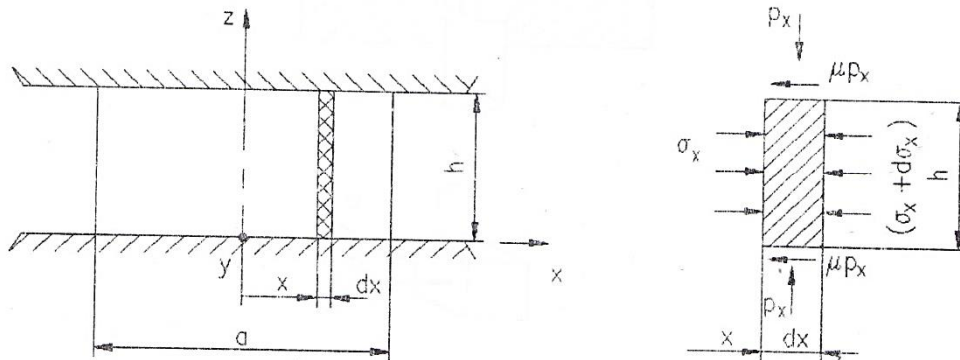
- Kod savijanja se dovodi u vezu s najmanjim unutarnjim polumjerom savijanja i debljine savijene ploče, lima ili šipke
- Kod provlačenja usko je vezano s redukcijom poprečnog presjeka
- Pri volumenskom oblikovanju, dovodi se u vezu sa sabijanjem, raskovanošću i iskovanošću (maksimalna promjena dimenzija)
- Pri potiskivanju se dovodi u vezu s maksimalnom promjenom oblika, nagiba, debljine ili duljine [1]

### 1.3. Najčešće vrste oblikovanja metala deformiranjem s obzirom na postupke

#### 1.3.1. Sabijanje

Najjednostavniji primjer korištenja istraživanja o naprezanju elementarnog volumena materijala prikazan je u slučaju sabijanja prizme, iz kojeg se zatim izvode zaključci o zbivanju kod operacija slobodnog kovanja i drugih gdje se materijal preoblikuje sabijanjem.

Naprezanja kod sabijanja prizme prikazana su na slici 1.4 [1]



Slika 1.4. Naprezanja kod sabijanja prizme [1]

Uvjet statističke ravnoteže djelujućih sila koje na elementu volumena ostvaruju naprezanja prikazana na slici, je  $\sum X=0$  što omogućava postavljanje diferencijalne jednadžbe

$$h b \sigma_x - h b (\sigma_x + d\sigma_x) - dx 2\mu p_x b = 0 \quad /: b \quad \dots (1.1.)$$

Kod postavljanja ove jednadžbe usvojena je konvencija da su s lijeve strane djelujuće projekcije sila negativne, a sa desne strane pozitivne. Skraćivanjem i uređivanjem jednadžbe slijedi:

$$-h d \sigma_x - 2\mu p_x dx = 0 \quad \dots (1.2.)$$

Uz uvjet plastičnog tečenja koji će za ovaj slučaj u općem obliku glasiti  $\sigma_1 - \sigma_3 = k_f$  jednadžba (1.2.) će postati rješiva. Uvjet uz upotrijebljene oznake glasi  $p_x - \sigma_x = k_f$ , a kako se po osnovnim pretpostavkama analize elementarnog volumena  $k_f$  smatra konstantom, nužno slijedi  $d(p_x - \sigma_x) = 0$  odnosno  $dp_x = d\sigma_x$ , što se može uvrstiti u (1.2.) [1] Tada je:

$$\begin{aligned} -h dp_x - 2\mu p_x dx &= 0 \\ \frac{dp_x}{p_x} &= -2\frac{\mu}{h} dx \\ \int \frac{dp_x}{p_x} &= -2\frac{\mu}{h} \int dx \\ \ln p_x &= -2\frac{\mu}{h} x - C \quad \dots (1.3.) \end{aligned}$$

Jednadžbu (1.3.) možemo napisati i u malo drugačijem obliku koji glasi:

$$p_x = C e^{\frac{2\mu}{h} x} \quad \dots (1.4.)$$

Konstantna integracije  $C$  se određuje iz rubnog graničnog uvjeta: kada je  $x=a/2$  rub je definiran i tada je neophodno  $\sigma_x=0$  a uvjet plastičnog tečenja za tu lokaciju glasi  $p_x=0=k_f$  odnosno  $p_x=k_f \cdot \sigma_x$  - ovdje predstavlja radijalno naprezanje u slučaju prizme kojoj ništa ne sprječava širenje. Na vanjskog plohi stoga nema radijalnog naprezanja. Kako je ova ploha ipak plastično deformirana, treba savladati naprezanje plastičnog tečenja  $k_f$  a to može jedino se realizirati uz pomoć aksijalnog naprezanja  $p_x$ . U ovom slučaju, ako je  $p_x < k_f$  ne može nastupiti plastična deformacija, a ako je  $p_x > k_f$  nastupa **razaranje materijala**, a ne plastična deformacija.

Uvrštavanjem u (1.4.) slijedi:

$$k_f = C e^{\frac{2\mu}{h}x}$$

tj. za  $x = \frac{a}{2}$

$$C = k_f e^{-\frac{2\mu a}{h^2}} = k_f e^{-\frac{\mu a}{h}}$$

Tako je određena konstanta.

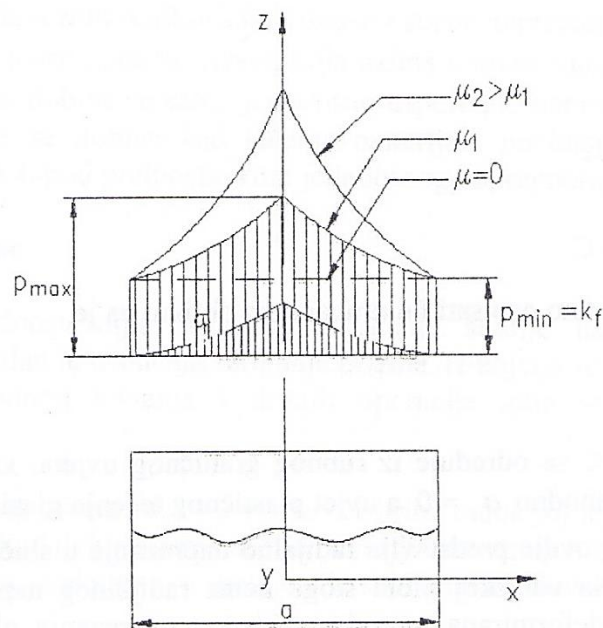
Opći izraz (1.4.) sada je uz poznati i uvršteni  $C$ :

$$p_x = k_f e^{\frac{\mu a}{h}} \cdot e^{-\frac{2\mu x}{h}} = k_f e^{\frac{2\mu}{h}(\frac{a}{2}-x)}$$

Iz čega slijedi za  $x = \frac{a}{2} \dots p_x = k_f = p_{min}$

za  $x = 0 \dots p_x = p_{max}$

Slika 1.5. [1] prikazuje nam dijagram raspodjele aksijalnog naprezanja.



Slika 1.5. Dijagram raspodjele aksijalnog naprezanja [1]

### 1.3.2. Provlačenje

Provlačenje je jedan od novijih postupaka u strojnoj obradi odvajanjem čestica. Uspjeh ovog postupka obrade metala je u visokoj kvaliteti obrade i dobroj produktivnosti. Ovakav postupak obrade je nezamjenjiv kod obrade dubokih rupa, te ravnih i spiralnih utora.

Provlačenje spada pod završnu obradu kod kojega glavno gibanje obavlja alat, dok posmičnog gibanja nema. Ako se provlači zavojnica, onda nam je glavno gibanje kombinirano uz translaciju i rotaciju, a posmičnog gibanja također nemamo. [2]

Alati za provlačenje (izvlačila i provlačila) se razlikuju za vanjsko i unutarnje provlačenje. Alati za unutarnje provlačenje mogu biti dugačke ili **provlakači** i kratke igle ili **probijači**. Alati za provlačenja se mogu podijeliti i prema obliku na: cilindrične, kvadratne, trokutaste, žljebaste, pravokutne, itd. [3]

Svrha provlačenja:

- Promjena veličine, ponekad i oblika prvobitnog presjeka neke šipke, trake, cijevi i žice
- Postizavanje veće glatkoće površine, točnijih dimenzija presjeka, te užih tolerancija
- Dobivanje materijala relativno sitnog presjeka, npr. žice, traka i cijevi, koji se upravo zbog svoje sitnoće, tj. tanke stijeni ne bi mogao nekim drugim postupkom ekonomično i rentabilno proizvoditi. [1]

Provlačenje se može izvoditi u hladnom i toplom stanju. Češće se koristi provlačenje u hladnom stanju, nego toplijem.



Slika 1.6. Primjer provrta napravljenog provlačenjem (žlijebni spoj) [4]

### 1.3.3. Valjanje

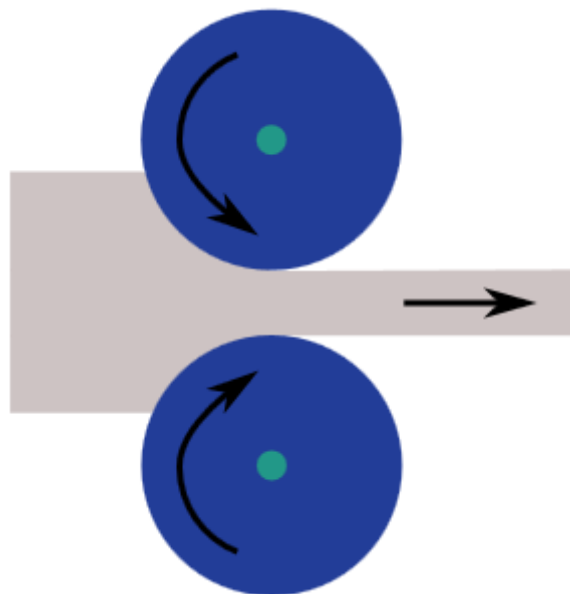
Valjanje je jedan od postupaka oblikovanja metala deformiranjem kod kojega se odljevnom bloku (ingotu) propuštanjem između okrećućih valjaka smanjuje presjek i dalje željeni oblik, uz istovremeno poboljšanje mehaničkih svojstava. [5]

Najveću primjenu u usporedbi s ostalim postupcima plastične deformacije ima upravo valjanje. Sami postupak valjanja započinje valjanjem bloka u poluproizvode. Do deformiranja materijala dolazi dok obradak prolazi između valjaka. U samoj zoni deformacije, materijal ne prolazi svugdje istom brzinom kojom se rotiraju valjci. Obodna brzina valjka može biti veća, ista ili sporija od brzine prolaza materijala u zoni deformacije.

Operacija valjanja može se obavljati u toplom i hladnom stanju. Materijali većeg presjeka valjaju se pretežno u toplom stanju, zbog veće plastičnosti i mogućnosti puno većih redukcija presjeka, te manjih sila i manjeg utroška rada. Materijali manjeg presjeka valjaju se pretežno u hladnom stanju, jer se postiže glađa površina, uža tolerancija i veća tvrdoća materijala. [5]

Vrste valjanja:

- Uzdužno valjanje
- Poprečno valjanje
- Koso valjanje



Slika 1.7. Prikaz rada uzdužnog valjanja [5]

### 1.3.4. Kovanje

Kovanje je jedno od najstarijih postupaka plastične obrade, a koristilo se još u doba osvajanja i prve upotrebe metala. Prilikom samog spomena *kovanje* misli se prvenstveno na operacije koje se obavljaju u toplom stanju, tj. kod povišene temperature, ali male dimenzije obratka mogu se kovati i kod sobne temperature.

U proizvodnom procesu kovanja učestvuju:

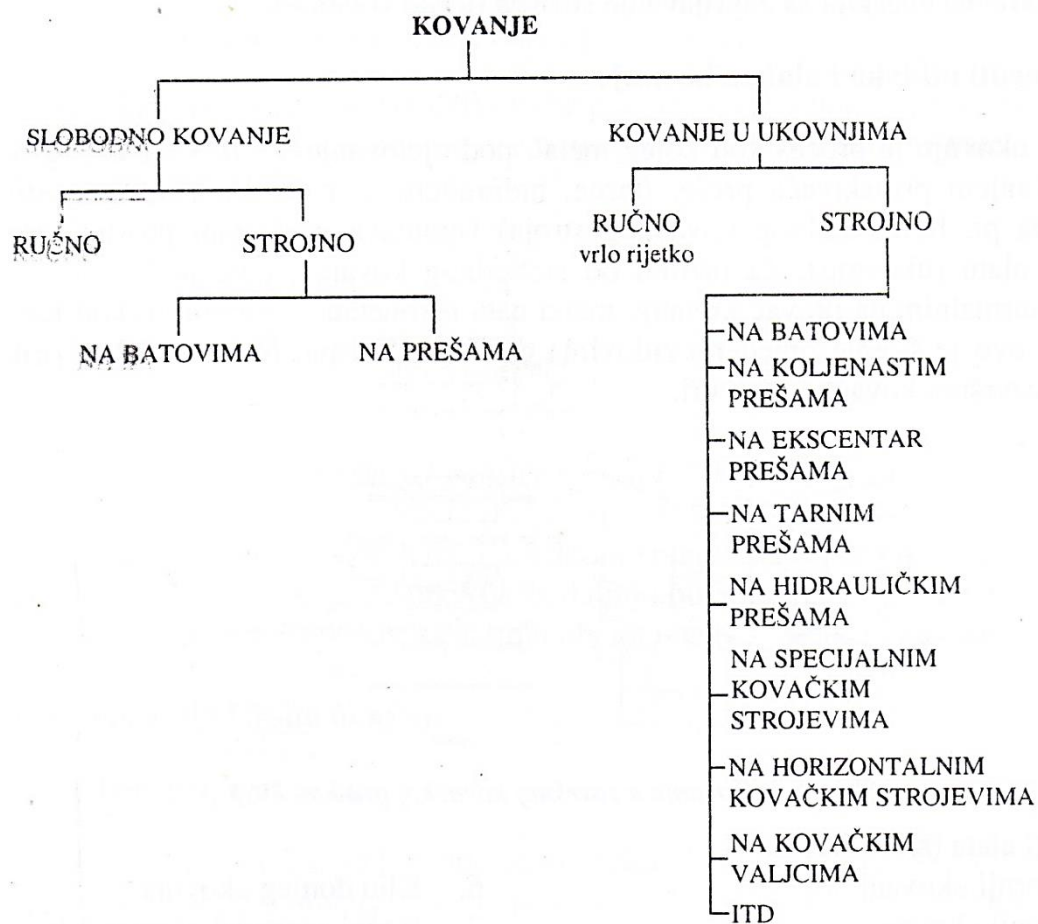
1. Materijal, koji od sirovca prelazi u fazi obrade u otkivak
2. Strojevi [1]

Strojevi imaju zadatak da na određeni način unesu potrebnu energiju ili silu u materijal koji se obrađuje i na taj način osiguraju deformabilnost materijala do konačnog željenog oblika koji želimo dobiti.

Prema načinu provođenja postupka kovanja postoji:

1. Slobodno kovanje
2. Kovanje u ukovnjima (alatima za kovanje)

Radni proces obrade u toplom i hladnom stanju obavlja se na batovima i prešama. Podjela kovanja prikazana je na slici 1.8. [1]



Slika 1.8. Podjela kovanja [1]



### 1.3.5. Savijanje

Obrada savijanjem pripada području prerade metala plastičnom deformacijom i veoma je zastupljena kao grana tehnologije u metalnoj industriji. Kako u maloserijskoj tako i u velikoserijskoj proizvodnji, tehnologija savijanja, u poređenju s progresivnim razvojem tehnologije zavarivanja u posljednje vrijeme sve više istiskuje druge načine obrade metala. [6]

Kao poluproizvodi za daljnju obradu savijanjem najčešće se koriste limovi i trake, ali se ne isključuju i mogućnosti prerade i drugih poluproizvoda (npr. vučeni i valjani profili, šipke cijevi itd.). U tehničkoj industriji danas operacije savijanja u kombinaciji sa zavarivanjem, često zamjenjuju tehnologiju lijevanja i kovanja teških dijelova (savijanjem i zavarivanjem rade se: tankostjeni kotlovi, baloni, cijevi pod tlakom, kućišta teških preša, kućišta turbina, itd.). Tehnologija izrade dijelova savijanjem nudi niz prednosti. Konstrukcije izrađene tehnologijom savijanja su lakše od lijevanih, a proizvodni proces je jednostavniji što se, svakako, odražava kroz ekonomske efekte. Osim toga, veća je i otpornost konstrukcija i to naročito na udarna opterećenja. [6]

Proces savijanja se može kombinirati i s ostalim procesima obrade deformacijom kao što su: prosijecanje, probijanje, izvlačenje i razna druga oblikovanja. Ova tehnologija zauzima vidno mjesto u izradi dijelova za laka i teška vozila, traktore, šinska vozila, poljoprivredne strojeve, aparate, itd. [6]

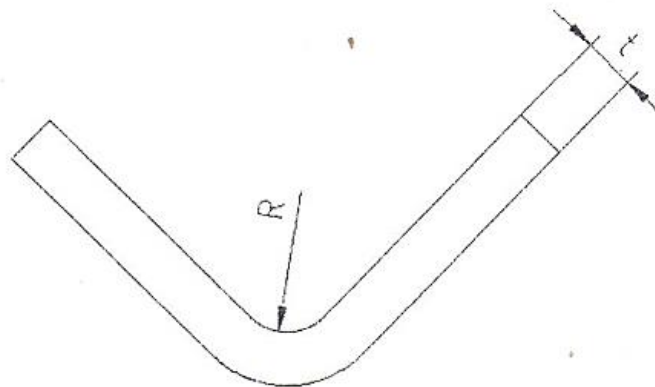
Postupak savijanja provodi se pretežno u hladnom stanju, dok se jedino savijanje debelih limova teških profila i debelostijenih cijevi provodi u toplom stanju.

Postupak savijanja može se grupirati:

1. Savijanje u plastičnom području
2. Kružno savijanje

U ovisnosti od dimenzija i oblika komada, profila poluproizvoda i samog načina proizvodnje, proces savijanja se obavlja:

1. Alatima na prešama (krivajnim, koljenastim, ekscentar, hidrauličnim i specijalnim prešama)
2. Valjcima na rotacijskim strojevima za savijanje
3. Posebnim uređajima na specijalnim strojevima za savijanje [6]



Slika 1.9. Savijanje [1]

Izraz za određivanje unutarnjeg polumjera savijanje (slika 1.9. [1]) glasi:

$$\left(\frac{R}{t}\right)_{min} = \frac{60}{A_r} - 1 \quad \dots (1.5.)$$

gdje je:

$R$  – polumjer savijanja šipke

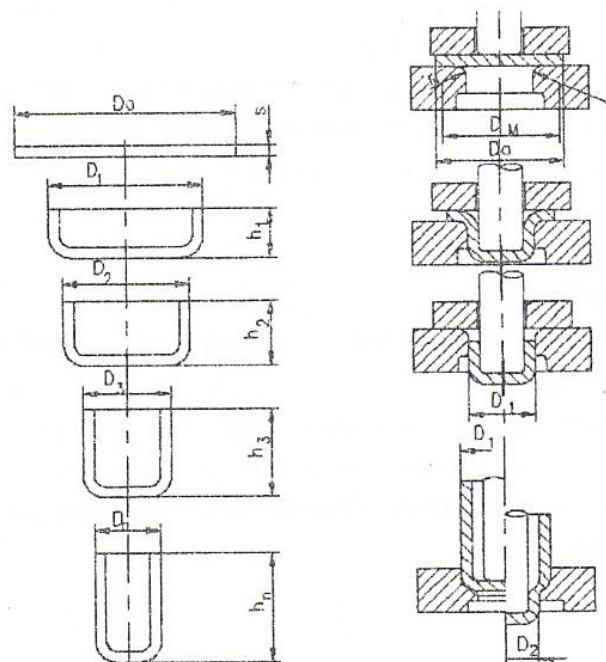
$t$  – promjer šipke

### 1.3.6. Duboko vučenje

Duboko vučenje metala je postupak strojne obrade metala u kojem se obradak (platina ili rondela), najčešće u hladnom stanju, provlači kroz jednu ili više matrica u novi željeni oblik korištenjem posebnih alata. Može biti i u toplom stanju, ali samo za debele limove. Za duboko vučene proizvode svojstvena je dubina proizvoda, koja je veća od polovice promjera ronđele. Proizvodi mogu imati različite poprečne presjke s ravnim, konusnim (stožastim) ili zakrivljenim stjenkama, ali najčešći oblici su cilindrične (valjkaste) ili pravokutne geometrije. Duboko vučenje upotrebljava rastezljive metale kao što su aluminij, mjed, bakar i meki čelici u proizvodnji auto dijelova, limenog posuđa i ambalaže, streljiva, itd. [1, 3]

Alatni strojevi na kojima se može obrađivati metal dubokim vučenjem su hidrauličke preše, ekscentar preše i duboko vučenje vakuumom. Duboko vučenje može biti bez i sa stanjenjem stjenke. [2]

Postupak dubokog vučenja sastoji se u tome da se prethodno skrojena platina, pomoću dubokog vučenja kroz jedan ili više alata dovede u završni, željeni oblik neke posude, lonca, kutije, čahure ili sl. (slika 1.10. [1]).



Slika 1.10. Shema dubokog vučenja u više faza [1]

## 2. SPECIFIČNOSTI I ZAHTJEVI KOD PROJEKTIRANJA TEHNOLOGIJE IZRADE PROFILA SAVIJANJEM

### 2.1. Granične vrijednosti radijusa savijanja

Pri savijanju postoje određena ograničenja u pogledu veličine radijusa savijanja. Suviše male vrijednosti radijusa savijanja izazivaju vrlo intenzivnu deformaciju i mogu biti uzrok pojave razaranja materijala. Kod prevelikih vrijednosti radijusa, može se dogoditi da ne nastane plastična deformacija, tj. da deformacija ostane u domeni elastičnosti. [7]

Optimalna vrijednost radijusa savijanja treba se nalaziti između graničnih vrijednosti:

$$r_{\min} < r < r_{\max}$$

**Minimalna vrijednost** radijusa savijanja pri kojoj neće biti razaranja određuje se s obzirom na stupanj deformacije koji odgovara točki  $M$  u dijagramu zatezanja i koja iznosi:

$$r_{\min} = \frac{s}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_m} - 1 \right) \quad \dots (2.1.)$$

$$r_{\min} = c \cdot s - \text{za praktičnu upotrebu} \quad \dots (2.2.)$$

**Maksimalna vrijednost** radijusa savijanja određuje se s obzirom na deformaciju na granici razvlačenja  $\left( \varepsilon_V = \frac{R_V}{E} \right)$  [7]

$$r_{\max} = \frac{s}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_V} - 1 \right) = \frac{s}{2} \left( \frac{E}{R_V} - 1 \right) \cong \frac{s}{2} \cdot \frac{E}{R_V} \quad \dots (2.3.)$$

Tablica 2.1. Koeficijent savijanja [7]

Materijal	C
C10G1 (Č.0210)	1,5
GS-38 (Č.0300)	1,8
GS-45 (Č.0400)	2,0
St 2 (Č.0145)	0,5
St 4 (Č.0147)	0,5
Ms 60	0,4
Cu 63 Zn	0,4
Cu 72 Zn	0,3
Cu	0,25

## 2.2. Deformacije pri savijanju

Prilikom projektiranja tehnologije izrade profila savijanjem, u obzir se trebaju uzeti i moguće deformacije koje mogu nastati prilikom obavljanja operacija savijanja. Deformacije koje prilikom savijanja mogu nastati su:

- Elastične deformacije
- Elastično-plastične deformacije
- Plastične deformacije

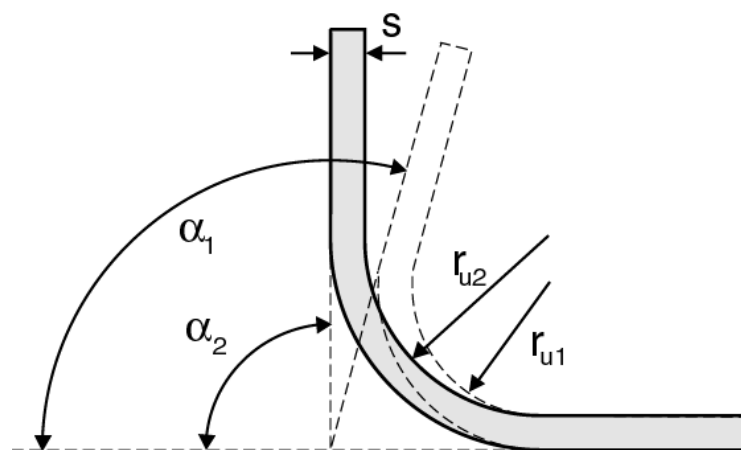
### 2.2.1. Elastične deformacije

Elastične deformacije postoje u svim procesima obrade plastičnom deformacijom. Njihov značaj za što bolju točnost izrađenog komada je što veći, ako je ukupna deformacija relativno mala, što je slučaj pri oblikovanju materijala savijanjem.

Tako nam za primjer, obrada lima savijanjem ima značajne specifičnosti u odnosu na ostale metode plastične deformacije metala koje proizlaze iz činjenice da se kod ove obrade, za razliku od npr. volumske obrade deformiranjem, ne mogu zanemariti elastične deformacije obratka nakon odrađene operacije savijanja.

Prilikom koncipiranja, konstrukcije i izrade alata za savijanje, neophodno je voditi računa o prirodi i intenzitetu tih povratnih deformacija.

Promjena kuta kraka obratka uslijed elastičnog ispravljanja definira se faktorom elastičnog ispravljanja ( $K_\alpha$ ).



Slika 2.1. Shema elastičnog ispravljanja [7]

$$K_\alpha = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_{u1} + 0,5s}{r_{u2} + 0,5s} \quad \dots (2.4.)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot K_\alpha \quad \dots (2.5.)$$

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{K_\alpha} \quad \dots (2.6.)$$

$$r_{u1} = \frac{r_{u2}}{1 + \frac{r_{u2} \cdot R_m}{s \cdot E}} \quad \dots (2.7.)$$

Gdje je:

$\alpha_1$  – kut alata

$\alpha_2$  – kut na obratku poslije elastičnog ispravljanja

$r_{u1}$  – radijus alata

$r_{u2}$  – radijus obratka poslije elastičnog ispravljanja

$R_m$  – vlačna čvrstoća [MPa]

$E$  – modul elastičnosti [MPa]

Tablica 2.2. Faktor elastičnog ispravljanja ( $K_\alpha$ ) [7]

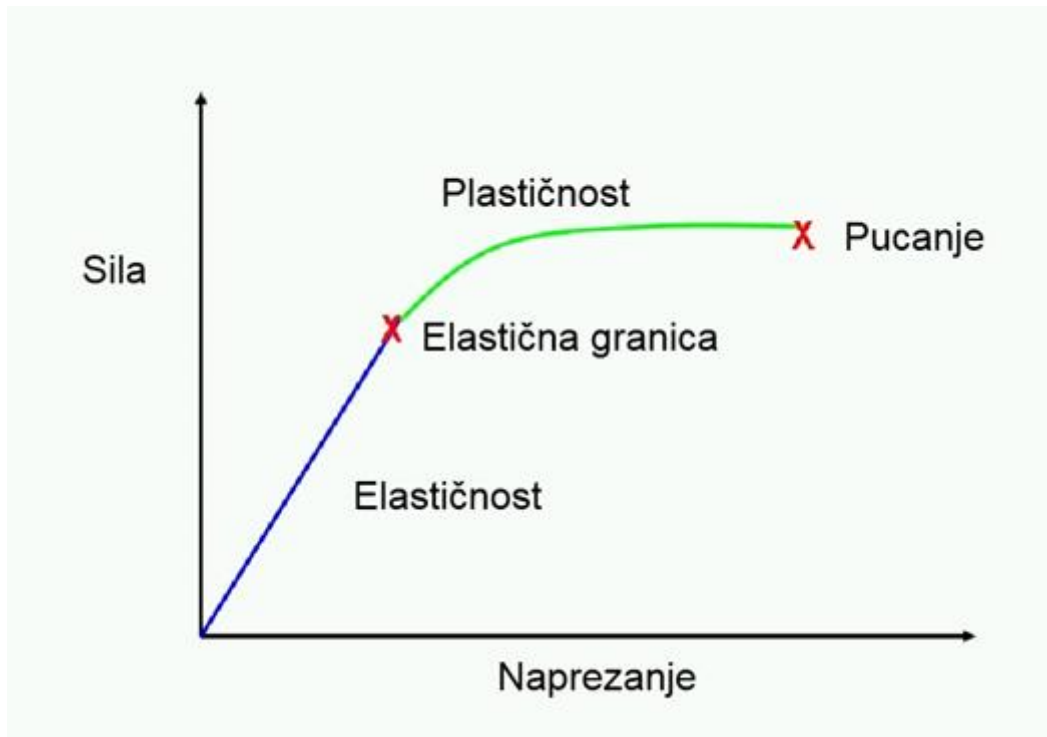
Materijal	Faktor $K_\alpha$	
	$r_{u2}/s=1$	$r_{u2}/s=10$
St 10 (Č 0145)	0,99	0,97
DC01 (Č 0146)	0,99	0,97
DC03 (Č 0147)	0,985	0,97
DC04 (Č 0148)	0,985	0,96
Nehrđajući austenitni čelik	0,96	0,92
Vatrootporni feritni čelik	0,99	0,97
Vatrootporni austenitni čelik	0,982	0,955
Al 99	0,99	0,98
Al Mg 1	0,98	0,90
Al Mg Mn	0,985	0,935
Al Cu Mg 2	0,91	0,65
Al Zn Mg Cu 1,5	0,935	0,85

### 2.2.2. Elastično-plastične deformacije

U prirodi se susrećemo s materijalima koji su elastoplastični. Za njih vrijedi da se uz primjenu određene količine vanjske sile na materijal oni ponašaju kao elastični, no uslijed velikog povećanja sile, počnu se ponašati kao plastični.

Prijelaz iz elastičnosti u plastičnost opisan je pojmom koji se naziva granica elastičnosti. Daljnjim povećanjem sile na materijal dolazi do pucanja materijala.

Također postoje i materijali koji se zovu pseudoelastični, odnosno superelastični. Takvi materijali se pod utjecajem neke vanjske sile ponašaju kao plastični predmeti, naizgled trajno mijenjajući svoj oblik. No, uslijed djelovanja nekog specifičnog vanjskog podražaja na materijal, poput topline ili električne struje, oni se vraćaju u svoj prvobitni položaj čime se ponašaju kao da su elastični. [8]



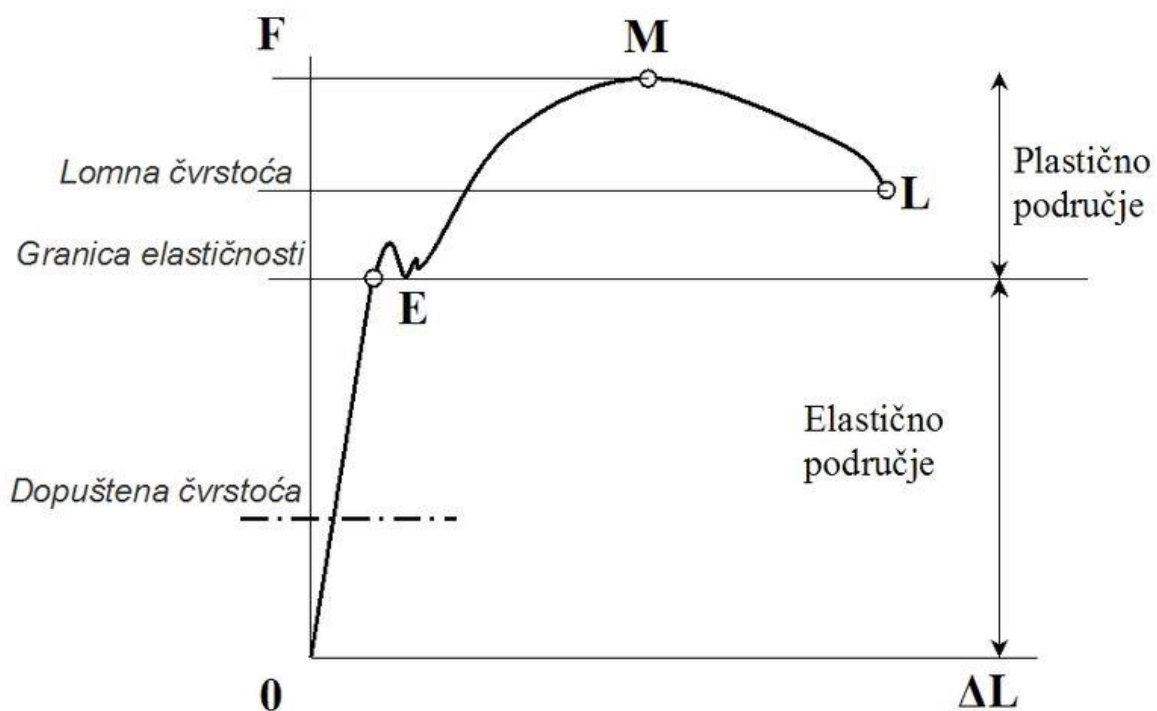
Slika 2.2. Stanja elastoplastičnog objekta [8]

### 2.2.3. Plastične deformacije

Plastičnost je svojstvo nekih tvari (materijala) da pod djelovanjem dovoljno velike sile mijenjaju oblik, koji gotovo u potpunosti trajno zadržavaju nakon prestanka djelovanja sile (plastična deformacija).

Plastičnost nastupa kada se pod djelovanjem sila prijeđe tzv. granica tečenja, koja ovisi o temperaturi materijala. Tako i neki krhki materijali (bronca, mramor, staklo, kristali) mogu prijeći u plastično stanje pri povišenim temperaturama.

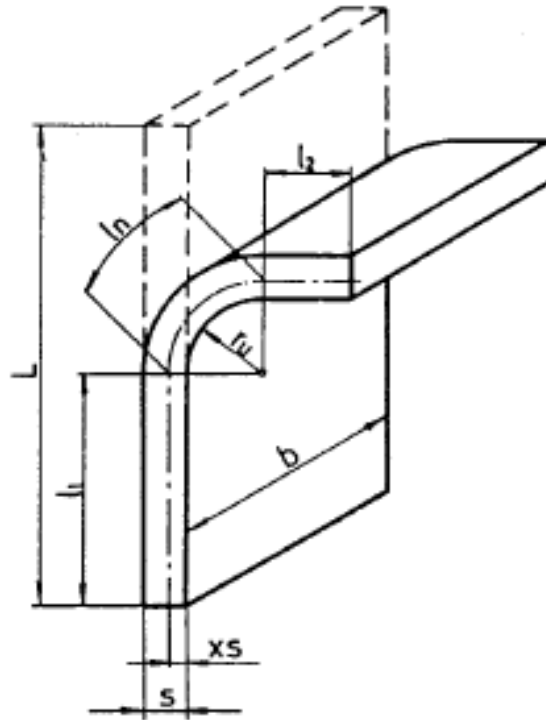
Plastičnost je bitna pojava u tehnologiji oblikovanja deformiranjem, kao što su valjanje, kovanje, savijanje, duboko vučenje i dr., dok se u konstrukcijama javlja samo lokalno unutar ograničenih manjih područja. [9]



Slika 2.3. Dijagram vlačne čvrstoće trgovačkih čelika

### 2.3. Razvijena dužina obratka

Početna dužina komada jednaka je zbroju dužine neutralne geometrijske osi u zoni savijanja i dužina pravih – nesavijenih dijelova izvan zone savijanja. Tijekom savijanja njezina se dužina ne mijenja. Dužina pripremljena identična je razvijenoj dužini obratka. [7, 10]



Slika 2.4. Izračunavanje razvijene dužine obratka [10]

$$L = l_1 + l_2 + l_n \quad \dots (2.8.)$$

$$l_n = \frac{\pi\varphi}{180} (r_u + x_s) = 0,017\varphi (r_u + x_s) \quad \dots (2.9.)$$

Za savijanje sa potpunim dodirivanjem krakova približno se određuje  $L$  prema izrazu:

$$L = l_1 + l_2 - 0,43s \quad \dots (2.10.)$$



Slika 2.5. Savijanje previjanjem [10]

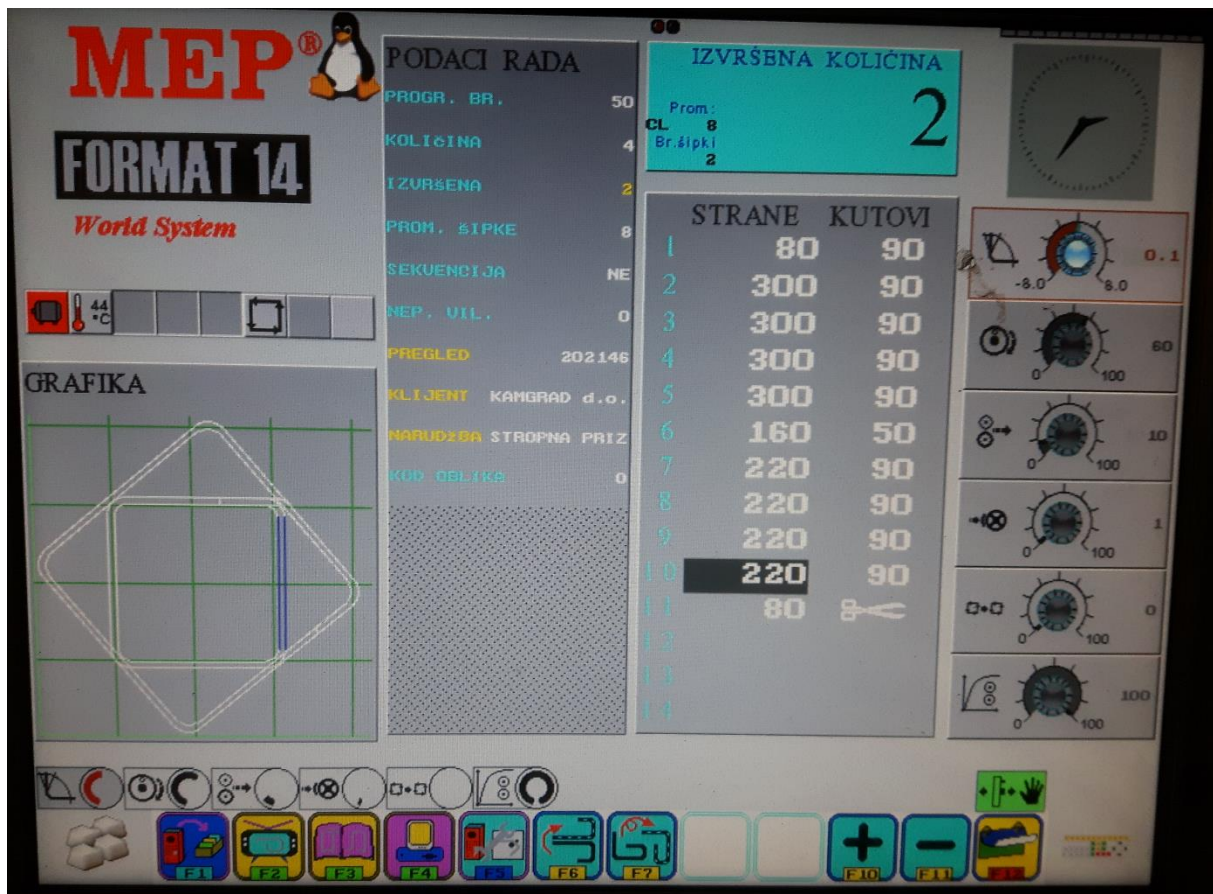


Tablica 2.3. Minimalni polumjeri savijanja  $r_{\text{umin}}$  (za savijanje pod  $90^\circ$ ) [10]

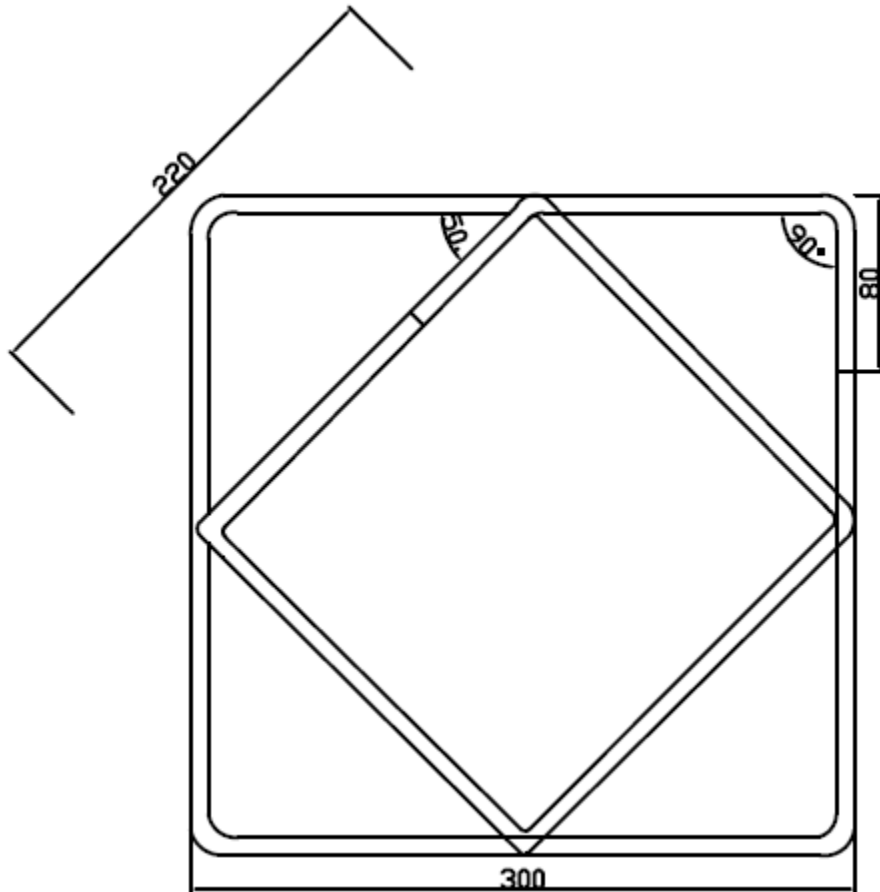
Materijal	Stanje materijala			
	Žareno ili normalizirano		Ojačano hladnim deformiranjem	
	Pravac linije savijanja u odnosu na pravac valjanja			
	Poprečno	Duž vlakana	Poprečno	Duž vlakana
	Polumjer savijanja $r_{\text{umin}}$			
Aluminij, Žareni bakar, Mesing Ms 68, Umiren ugljeni čelik sa oko 0,05-0,08%C	0	0,3s	0,03s	0,8s
			1,0s	2,0s
			0,4s	0,8s
			0,2s	0,5s
Ugljeni čelici sa 0,08-0,10%C (Č.0260)	0	0,4s	0,4s	0,8s
S235 (Č.0360)	0,1s	0,5s	0,4s	1,0s
S275 (Č.0460)	0,2s	0,6s	0,6s	1,2s
E295 (Č.0545)	0,3s	0,8s	0,8s	1,5s
E335 (Č.0645)	0,5s	1,0s	1,0s	1,7s
E360 (Č.0745)	0,7s	1,3s	1,3s	2,0s
Nehrđajući čelik	1,0s	2,0s	3s	4s
Duraluminijum meki	1,0s	1,5s	1,5s	2,5s
Duraluminijum tvrđi	2,0s	3,0s	3,0s	4,0s

Napomene:

1. Pri savijanju duž linije koja je pod kutom od  $45^\circ$  u odnosu na pravac valjanja, treba uzeti srednje iznose  $r_{\text{umin}}$
2. Pri savijanju pod kutovima manjim od  $90^\circ$  treba gornje vrijednosti povećati za 1,1-1,3 puta
3. Ako postoje oštećenja površine s vanjske strane, onda treba ove polumjere uzimati 1,5-2 puta veće.



Slika 2.6. Grafički prikaz savijanja obratka



Slika 2.7. Shema obratka za izračun razvijene dužine.

### Proračun razvijene dužine obratka:

Dimenzije dužina:

$$l_1 = 60 \text{ mm}$$

$$l_2, l_3, l_4, l_5 = 260 \text{ mm}$$

$$l_6 = 140 \text{ mm}$$

$$l_7, l_8, l_9, l_{10} = 185 \text{ mm}$$

$$l_{11} = 65 \text{ mm}$$

Jednadžba za proračun razvijene dužine obratka

$$L = l_1 + l_n + l_2 + l_n + l_3 + l_n + l_4 + l_n + l_5 + l_n + l_6 + l_{n_x} + l_7 + l_n + l_8 + l_n + l_9 + l_n + l_{10} + l_n + l_{11}$$

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9 + l_{10} + l_{11} + l_{n_x} + 9 \cdot l_n \quad \dots (2.11.)$$

$$L_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} (r_u + xs) = 0,017\varphi(r_u + xs)$$

Iz tablice 2.3.,  $r_u$  iznosi 0,6s

$$L_n = 0,017\varphi(0,6s + xs)$$

$$\varphi = 180 - \alpha = 180 - 90 = 90 \quad \dots (2.12.)$$

$$L_n = 0,017 \cdot 90(0,6 \cdot 8 + 4) = 1,53 \cdot 8,8 = 13,464 \text{ mm}$$

$$\varphi = 180 - \alpha = 180 - 50 = 130$$

$$L_{n_x} = 0,017 \cdot 130(0,6 \cdot 8 + 4) = 19,448 \text{ mm}$$

$$L = 60 + 4 \cdot 260 + 140 + 4 \cdot 185 + 65 + 19,448 + 9 \cdot 13,464$$

$$L = 60 + 1040 + 140 + 740 + 65 + 19,448 + 121,776$$

$$L = 2185,624 \text{ mm}$$

Time	Event	Count	Prom.	Time
07:31:20	Uključivanje br. 1			07:06:40?
14:35:22	Obrada br. 61/	50	8	00:00:12.
	Komada: 2	Dužina 2228 mm.;		(00:00:06)
14:36:24	Obrada br. 62/	50	8	00:00:22.
	Komada: 4	Dužina 2228 mm.;		(00:00:05)
14:37:56	Obrada br. 63/	1	8	00:00:04.
	Komada: 2	Dužina 1001 mm.;		(00:00:02)

Slika 2.8. Prikaz razvijene dužine na ekranu stroja

Na ekranu stroja prikazana je razvijena dužina obratka koja iznosi 2228 mm, dok smo mi našim proračunom dobili iznos od 2185,624 mm što nam se u određenim granicama tolerira za  $\pm 100$  mm.

### 3. KARAKTERISTIKE MATERIJALA ZA IZRADU ARMATURNOG PROFILA

#### 3.1. Svojstva materijala

Materijal koji se koristio za izradu armaturnog profila u ovom diplomskom radu je armaturna žica B500A. U tablici 3.1. prikazana su njezina svojstva.

Tablica 3.1. Svojstva armaturne žice B500A [11]

Svojstvo	Kvalitet: B500A	
	Karakteristična vrijednost	Najmanja vrijednost
Nazivni promjer $d$ (mm)	od 5mm do 10 mm	
Granica razvlačenja $R_e$ (MPa)	500	475
Omjer $R_m/R_e$	1,05 <sup>a</sup>	1,03 <sup>c,d</sup>
Ukupno istezanje pri najvećoj sili $Agt$ (%)	2,5 <sup>b</sup>	2,0 <sup>d,e</sup>
Smična sila na zavaru $F_s$ (N)		0,25 $R_eA$
Nazivna masa žice (kg/m)	Vidi tablicu 3.2. $d \leq 8$ mm; $\pm 4,5\%$ $d \geq 8$ mm; $\pm 6\%$	
Ispitivanje povratnim savijanjem	Savijanje za kut 180°	

<sup>a</sup>  $R_m/R_e = 1,03$  za  $4,0 \leq d \leq 5,5$  mm  
<sup>b</sup>  $Agt = 2\%$  za  $4,0 \leq d \leq 5,5$  mm  
<sup>c</sup>  $R_m/R_e = 1,02$  za rebraste proizvode promjera 5,0 mm i 5,5 mm. Također 1,02 za profilirane proizvode i glatke proizvode promjera 5,0 mm do 16,0 mm ako je  $R_{e,act} > 550$  MPa  
<sup>d</sup> Nema najmanje vrijednosti za profilirane i glatke proizvode promjera 4,0 mm i 4,5 mm  
<sup>e</sup>  $Agt = 1,5\%$  za rebraste proizvode promjera 5,0 i 5,5 mm. Također 1,5% za profilirane i glatke proizvode promjera 5,0 mm do 16,0 mm ako je  $R_{e,act} > 550$  MPa

Tablica 3.2. Nazivni promjeri, nazivne površine poprečnog presjeka, nazivne mase i svedena površina rebra [11]

Nazivni promjer $d$ (mm)	Nazivna površina poprečnog presjeka $S$ (mm <sup>2</sup> )	Nazivna masa po metru kg/m	Svedena površina rebra $f_R$
5	19,6	0,154	0,039
6	28,3	0,222	0,039
6,5	33,2	0,260	0,045
7	38,5	0,302	0,045
7,5	44,2	0,347	0,045
8	50,3	0,395	0,045
9	63,3	0,499	0,052
10	78,5	0,617	0,052

### 3.2. Masa, pakiranje i označavanje proizvoda

Masa po metru je izračuna iz vrijednosti nazivnog presjeka koristeći vrijednost specifične gustoće  $7,85 \text{ kg/dm}^3$ . Dopušteno odstupanje mase žice od nominalne mase po metru dužnom biti će:  $\pm 4,5\%$  za sve promjere žice. [11]

Armature mreže se pakiraju u vezovima pri čemu je težina jednog pakiranja max: 3.000 kg (slika 3.2.).

Svaki vez se označava plastičnom etiketom na kojoj se nalaze podatci o kupcu, gradilištu na koje se paket otprema, lista za što će se paket upotrijebiti, element za koji točno dio objekta je namijenjen, pakirna količina, datum proizvodnje, stroj na kojem je rađen paket i oznaka prvenstvenosti otpreme paketa (zelena oznaka markerom na kartici). Izgled kartice prikazan je na slici 3.1.



Slika 3.1. Etiketom se označava pakiranje proizvoda



*Slika 3.2. Pakiranje mreže u vezove*

### **3.3. Dimenzije i dopuštena odstupanja armaturnih mreža**

Svaka armaturna mreža mora imati onoliki broj uzdužnih i poprečnih žica koji odgovara njezinoj dužini, širini, osnom razmaku i prepustima. Standardna dužina armaturnih mreža iznosi 6 000 mm, ukoliko se drugačije ne ugovori te se računa prema najdužoj uzdužnoj žici.

Standardna širina armaturnih mreža iznosi 2150 mm, ukoliko se drugačije ne ugovori.

Korak uzdužnih i poprečnih žica ne smije biti manji od 50 mm. Prepust ne bi trebao biti manji od 25 mm.

Dozvoljena odstupanja za zavarene mreže:

- Duljina i širina zavarene mreže:  $\pm 25$  mm ili  $\pm 0,5$  mm, a mjerodavna je veća vrijednost
- Korak žica:  $\pm 15$  mm ili  $\pm 0,7$  %, a mjerodavna je veća vrijednost
- Prepusti: treba dogovoriti u vrijeme upita i narudžbe

Između prodavača i kupca mogu se dogovoriti posebni zahtjevi za dopuštena odstupanja. [11]

### 3.4. Geometrija površine rebrastog čelika

Rebrasta čelična žica je okarakterizirana dimenzijom, brojem i konfiguracijom rebara. Rebrasta čelična žica ima tri reda poprečnih rebara koji su ravnomjerno raspoređeni po obodu. U procesu hladnog valjanja na žicu se nanosi oznaka proizvođača (slika 3.3. a i 3.3. b) koja se periodično ponavlja duž žice.



Slika 3.3. a) Žica proizvođača iz Austrije



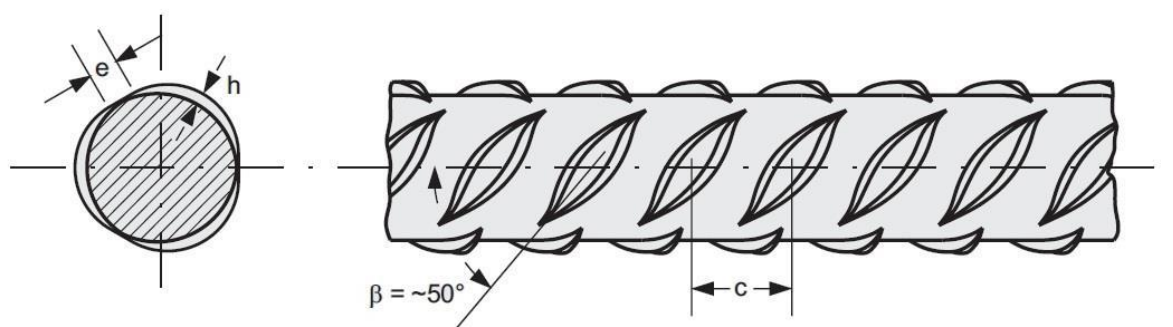
Slika 3.3. b) Žica proizvođača iz BiH

Vrijednosti visine rebara, njihova međusobna udaljenost, nagib u odnosu na uzdužnu os i suma razmaka dane su u tablici 3.3. , a isti prikazani na slici 3.4.



Tablica 3.3. Vrijednosti geometrijskih površina rebrastog čelika [11]

Nazivni promjer $d$ (mm)	Visina rebra $h$ (mm)		Udaljenost rebara $c$ (mm)		Suma razmaka $\Sigma e$ (mm)	Kut nagiba $\beta$ (°)	
	Min	Max	Min	Max	Max	Min	Max
5,0	0,15	0,75	2,0	6,0	3,9	35	75
6,0	0,18	0,90	2,4	7,2	4,7		
7,0	0,21	1,05	2,8	8,4	5,5		
8,0	0,24	1,20	3,2	9,6	6,3		
9,0	0,27	1,35	3,6	10,8	7,1		
10,0	0,30	1,50	4,0	12,0	7,9		



Slika 3.3. Vrijednosti geometrijskih površina rebrastog čelika [11]

### 3.5. Tehnička uputa za zavarene armaturne mreže kvalitete B500A

Zavarljivost armaturnih mreža određuju dvije značajke:

- Ekvivalent ugljika
- Ograničenje sadržaja određenih elemenata

Vrijednosti pojedinih elemenata i ekvivalenta ugljika koje određeni elementi ne smju prelaziti, navedene su u tablici 3.4.

Vrijednost ekvivalenta ugljika  $C_{eq}$  računa se prema sljedećem izrazu:

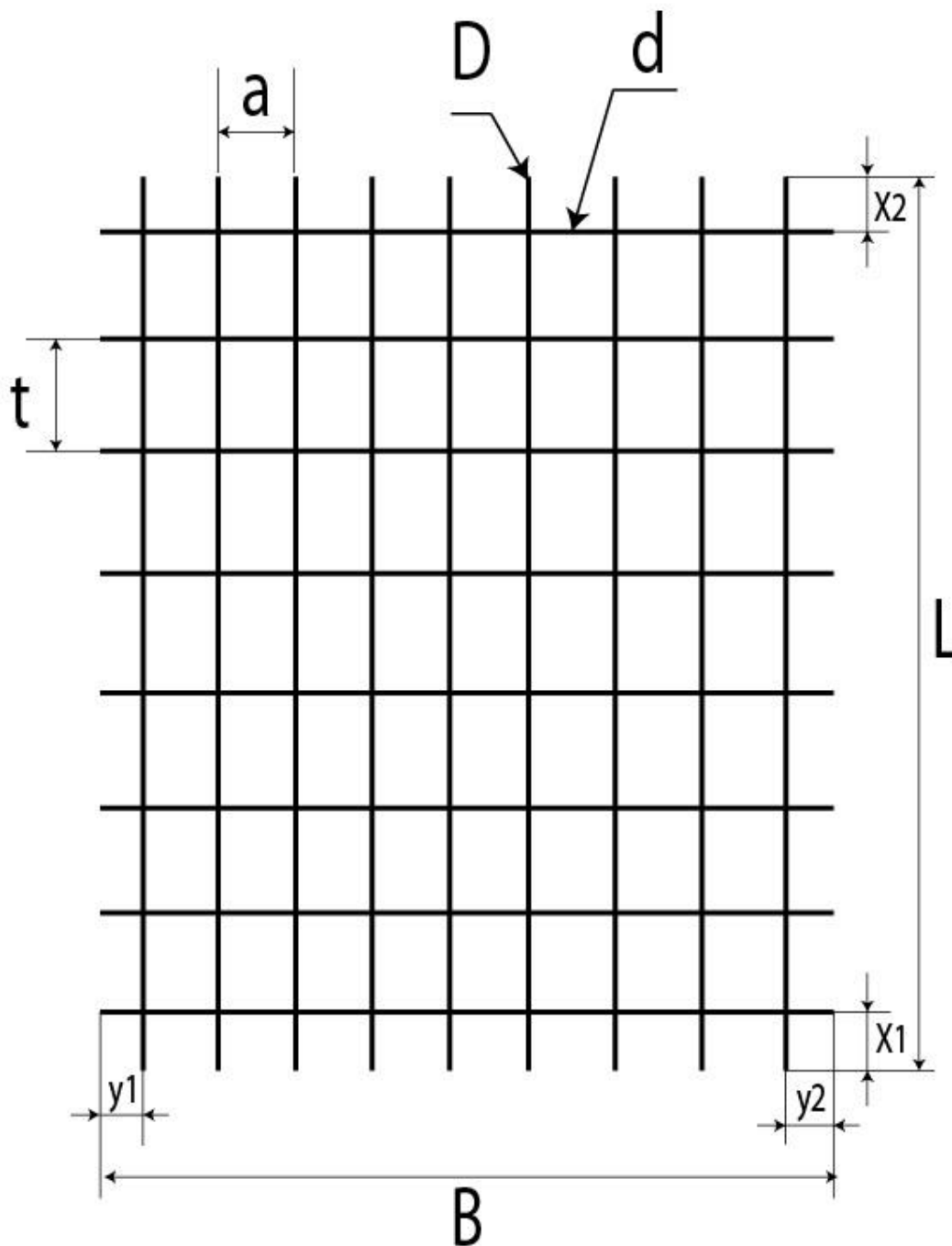
$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad \dots (3.1.)$$

U ovoj jednadžbi oznake kemijskih elemenata označavaju njihov % udjela mase.

Tablica 3.4. Kemijski sastav (% udjela mase) [11]

	<b>Ugljik<sup>a</sup> max</b>	<b>Sumpor max</b>	<b>Fosfor max</b>	<b>Dušik<sup>b</sup> max</b>	<b>Bakar max</b>	<b>Vrijednost ekvivalenta ugljika<sup>a</sup> max</b>
Analiza taline	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Analiza proizvoda	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

a - Dozvoljeno je prekoračiti najveće vrijednosti ugljika za 0,03% udjela mase uz uvjet da je vrijednost ekvivalenta ugljika smanjena za 0,02% udjela mase.  
b - Viši sadržaji dušika dozvoljeni su ako su prisutne dovoljne količine elemenata koje vežu dušik.



Slika 3.4. Geometrijske značajke zavarenih mreža [11]

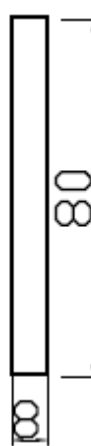
**Legenda:**

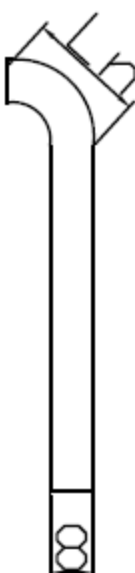
$N_L$  - broj uzdužnih žica  
 $a$  - korak uzdužnih žica  
 $D$  - promjer uzdužnih žica  
 $N_B$  - broj poprečnih žica  
 $t$  - korak poprečnih žica  
 $d$  - promjer poprečnih žica

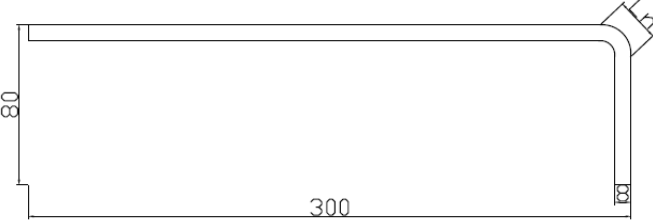
$L$  - duljina uzdužne žice  
 $B$  - duljina poprečne žice  
 $X_1$  - prepust uzdužnih žica  
 $X_2$  - prepust uzdužnih žica  
 $Y_1$  - prepust poprečnih žica  
 $Y_2$  - prepust poprečnih žica

## 4. TEHNOLOGIJA IZRADE PROIZVODA PREMA CRTEŽU BROJ 007

### 4.1. Tehnološki postupak izrade

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 1	Listova: 22		
RB 1	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave			
<b>Skica operacije</b>				1/1	Pripremiti radno mjesto								
				1/2	Dovući materijal do stroja					Vitlo za povlačenje žice			
				1/3	Stegnuti materijal i pripremiti ga za operaciju						Stezna glava		
				1/4	Izvlačenje žice na dužinu 80 mm							Valjci	
				1/5	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka ako je potrebno								
<b>KONTROLA</b>													

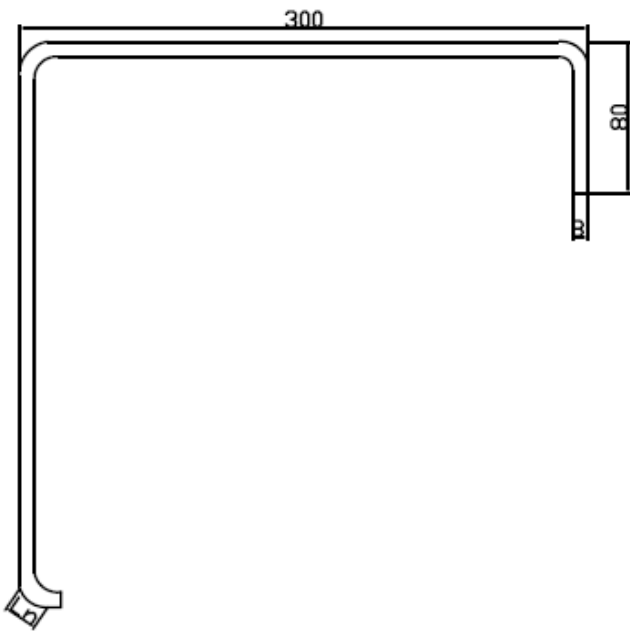
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić	Polazni materijal: B500A	Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228				List: 2	Listova: 22
RB 2	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave	
<b>Skica operacije</b>				2/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)	
				2/2	Prilikom savijanja pripaziti da bude pravi kut						
<b>KONTROLA</b>											

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 3	Listova: 22			
RB 3	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				3/1	Nakon savijanja žice slijedi izvlačenje žice na dužinu 300 mm					Valjci				
				3/2	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka ako je potrebno									
<b>KONTROLA</b>														

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 4	Listova: 22		
RB 4	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave			
<b>Skica operacije</b>				4/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)			
				4/2	Prilikom savijanja pripaziti da bude pravi kut								
<b>KONTROLA</b>													

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 5	Listova: 22			
RB 5	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				5/1	Izvlačenje materijala na dužinu 300 mm					Valjci				
				5/2	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka ako je potrebno									
<b>KONTROLA</b>														



Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 6	Listova: 22			
RB 6	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				6/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)				
				6/2	Prilikom savijanja pripaziti da bude pravi kut									
<b>KONTROLA</b>														

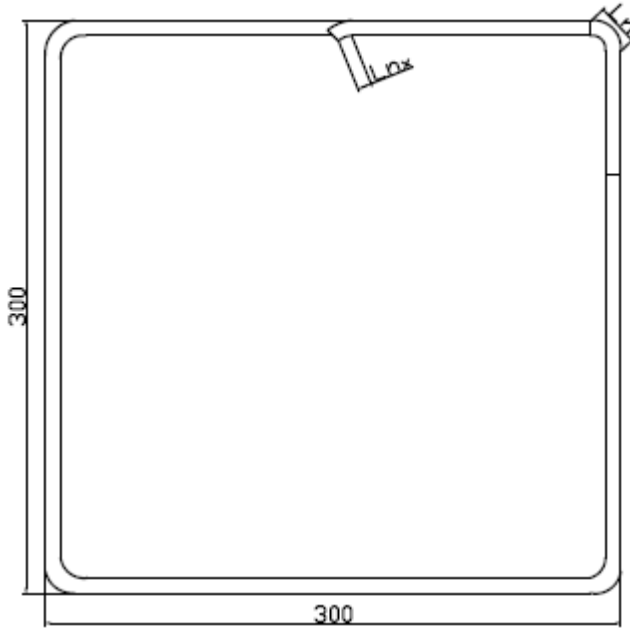
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 7	Listova: 22			
RB 7	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				7/1	Izvlačenje materijala na dužinu od 300 mm					Valjci				
				7/2	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka ako je potrebno									
<b>KONTROLA</b>														

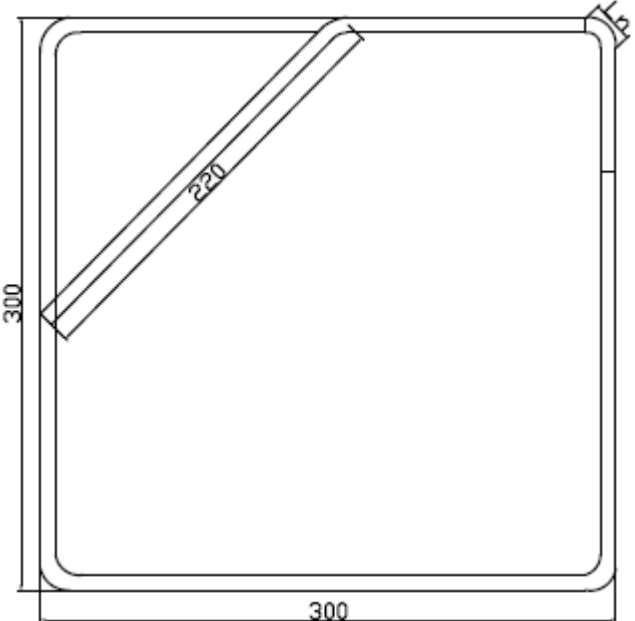
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 8	Listova: 22			
RB 8	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				8/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)				
				8/2	Prilikom savijanja pripaziti da bude pravi kut									
<b>KONTROLA</b>														

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 9	Listova: 22			
RB 9	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				9/1	Izvlačenje materijala na dužinu od 300 mm					Valjci				
				9/2	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka ako je potrebno									
<b>KONTROLA</b>														

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 10	Listova: 22		
RB 10	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave			
<b>Skica operacije</b>				10/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)			
				10/2	Prilikom savijanja pripaziti da bude pravi kut								
<b>KONTROLA</b>													

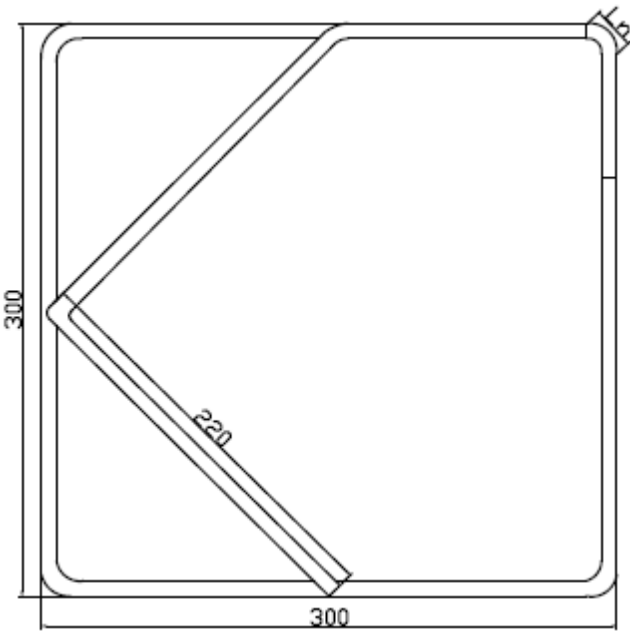
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 11	Listova: 22			
RB 11	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				11/1	Izvlačenje materijala dužinom 160 mm					Valjci				
				11/2	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka ako je potrebno									
<b>KONTROLA</b>														

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 12	Listova: 22		
RB 12	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave			
<b>Skica operacije</b>				12/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 50°					Savijač („biger“)			
				12/2	Paziti na preklapanje rebara žice								
<b>KONTROLA</b>													

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 13	Listova: 22				
RB 13	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave					
<b>Skica operacije</b>				13/1	Izvlačenje materijala za 220 mm					Valjci					
				13/2	Paziti na preklapanje rebara žice										
				13/3	Pripaziti na uvijanje žice, korigirati pritisak valjaka										
	<b>KONTROLA</b>														



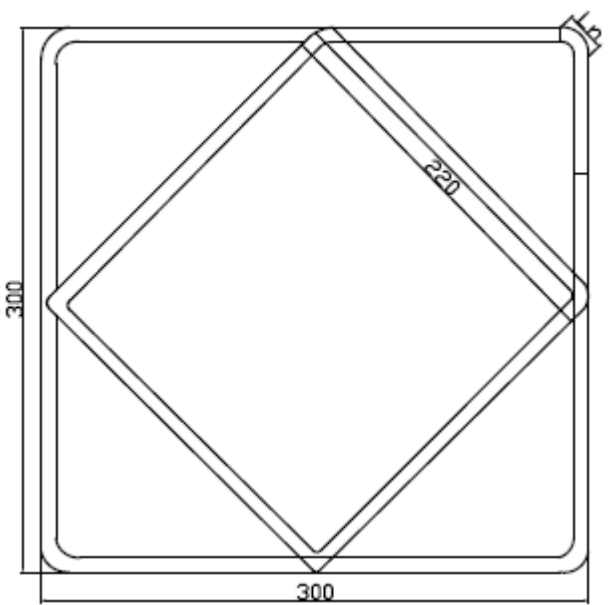
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 14	Listova: 22			
RB 14	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				14/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)				
				14/2	Paziti na preklapanje rebara žice									
<b>KONTROLA</b>														

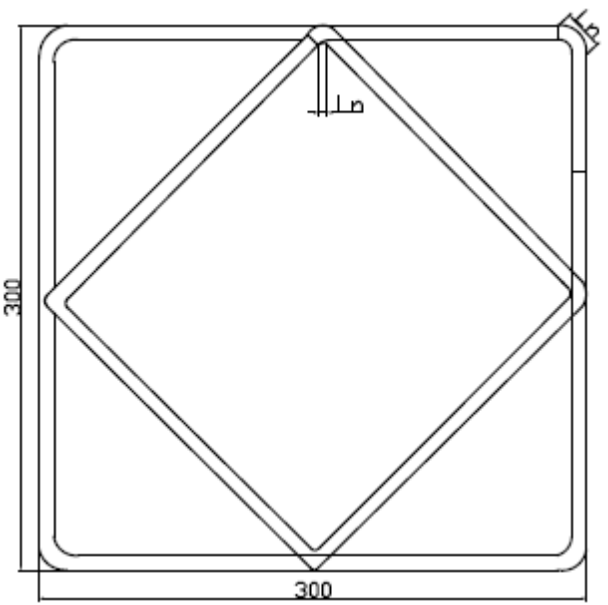
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 15	Listova: 22			
RB 15	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				15/1	Izvlačenje materijala za 220 mm					Valjci				
				15/2	Paziti na preklapanje rebara žice									
				15/3	Pripaziti na uvijanje žice									
	<b>KONTROLA</b>													

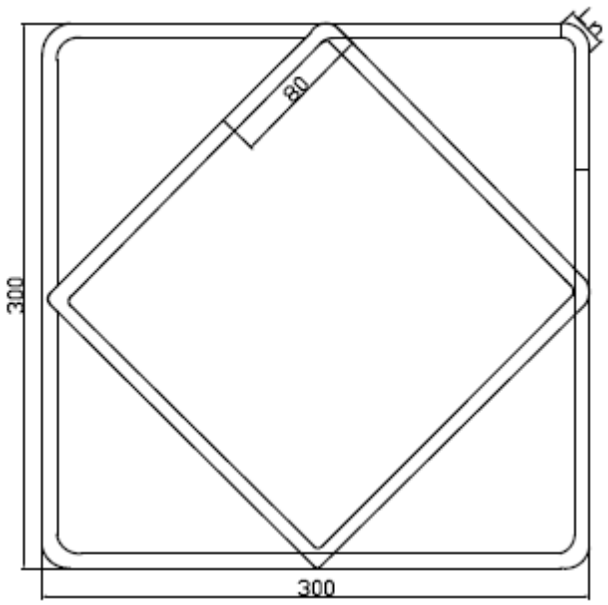
Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 16	Listova: 22			
RB 16	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				16/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)				
				16/2	Paziti na preklapanje rebara žice									
<b>KONTROLA</b>														

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 17	Listova: 22			
RB 17	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				17/1	Izvlačenje materijala za 220 mm					Valjci				
				17/2	Paziti na preklapanje rebara žice									
				17/3	Pripaziti na uvijanje žice									
	<b>KONTROLA</b>													

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 18	Listova: 22		
RB 18	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave			
<b>Skica operacije</b>				18/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)			
				18/2	Paziti na preklapanje rebara žice								
<b>KONTROLA</b>													

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 19	Listova: 22				
RB 19	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave					
<b>Skica operacije</b>				19/1	Izvlačenje materijala za 220 mm					Valjci					
				19/2	Paziti na preklapanje rebara žice										
				19/3	Pripaziti na uvijanje žice										
	<b>KONTROLA</b>														

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 20	Listova: 22	
RB 20	Operacija: Savijanje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave		
<b>Skica operacije</b>				20/1	Savijanje materijala/žice pod kutom od 90°					Savijač („biger“)		
				20/2	Paziti na preklapanje rebara žice							
<b>KONTROLA</b>												

Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 21	Listova: 22				
RB 21	Operacija: Izvlačenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave					
<b>Skica operacije</b>				21/1	Izvlačenje materijala za 80 mm					Valjci					
				21/2	Paziti na preklapanje rebara žice										
				21/3	Pripaziti na uvijanje žice										
	<b>KONTROLA</b>														



Tehnološki postupak izrade		Odsjek za Politehniku Rijeka		Ime i prezime: Anđelko Gajić		Polazni materijal: B500A		Dimenzije ulaznog materijala: Ø8×2228		List: 22	Listova: 22			
RB 22	Operacija: Sječenje	Stroj: MEP Format 14		RB	Zahvat (mjere i tolerancije)	D a	L s	B v	i n	Rezni i mjerni alati, naprave				
<b>Skica operacije</b>				22/1	Sječenje materijala nakon obavljenog posla					Sjekač				
				22/2	Prekontrolirati komad nakon obrade									
1	KONTROLA			1/1	Kontrolirati prvi komad a zatim svaki 15-20 komad									

## 4.2. Opis stroja

### 4.2.1. MEP Format 14 HS

Stroj na kojem su obavljane operacije prilikom proizvodnje armaturnog profila prema crtežu 007 je MEP Format 14 HS (slika 4.1.) koji je predviđen za savijanje betonskog rebrastog željeza. Navedeni stroj pripada kompjuteriziranim strojevima tvrtke **MEP group**.



*Slika 4.1. MEP Format 14 HS*

MEP Format 14 HS idealno je rješenje u području automatizacije savijanja betonskog rebrastog željeza koji korisniku omogućava lakoću upotrebe i visoke performanse. Fleksibilnost, produktivnost i kvaliteta proizvoda uvijek je zajamčena. [12]

Mali ili veliki okviri, vilice, ravni ili savijeni štapovi, kao i kružnice i spirale izrađuju se pomoću ovoga stroja zahvaljujući kompletnom nizu dijelova koji mogu zadovoljiti najširu paletu proizvodnih zahtjeva.

#### 4.2.1.1. Kvaliteta i proizvodnost

MEP Format 14 HS je prilagodljiv korisniku i osigurava vrhunsku kvalitetu gotovih proizvoda. Kombinacijom ekskluzivne serije patentiranih valjaka (slika 4.2.) unutar samoga stroja, smanjuje se vrijeme prilagodbe i oblikovanja betonskog rebrastog željeza te količina odbačenog materijala, tzv. škarta. [12]

Sustav pogona i upravljanja, koji se temelji na tehnologiji najnovije generacije, osigurava postizanje neusporedivih razina produktivnosti po satu.

Npr. u jednoj smjeni od 8 sati, radnik u prosjeku iskoristi oko 5 - 5,5 tona betonskog rebrastog željeza profila  $\phi 8$ .



*Slika 4.2. Kombinacija patentiranih valjaka*

#### 4.2.1.2. Inovativno rješenje

**AFS sustav** (Anti-Twist and Straightening System) je sustav poravnanja koji eliminira učinak rotacije žice oko svoje osi (slika 4.3. a) [12] i slika 4.3. b) [12]). Zahvaljujući tome možemo proizvesti zatvorene poluge i ravne šipke. Nezavisna kontrola uvlačenja dviju žica istovremeno, kao i povećana dodirna površina s velikim unutarnjim zupčanicom, eliminira razlike u dužini između dvije žice. Zahvaljujući ovome patentu i posljedičnom nižem pritisku na čelični materijal (betonsko rebrasto željezo), rebra kod žice su daleko manje deformirana prilikom postupka ravnjanja . [12]

Vijek trajanja valjaka za uvlačenje materijala je oko 8 puta dulji, nego u slučaju tradicionalnih metoda ravnjanja.



Slika 4.3. a) AFS sustav eliminira rotaciju žice oko svoje osi [12]



Slika 4.3. b) Uvijanje žice tijekom provlačenja stvara otvorene poluge [12]

Budući da je proizvodnja ovih armaturnih profila prvenstveno namijenjena građevinarstvu i srodnim joj granama gdje se može i u grubo računati, dopuštena su odstupanja u izradi kod dimenzija od  $\pm 10-20$  mm. Također nakon što se izradi profil i naprave paketi, prije samoga transporta robe, dolazi kontrola koja kontrolira pakete na temelju kartice paketa (str. 23., slika 3.1.) te se zatim obavlja transport prema navedenim prioritetima na samoj kartici.

#### 4.2.1.3. Upravljanje ravnanjem

Budući da se betonsko rebrasto željezo dovodi u pakiranjima kao koluti (slika 4.4.), posebne korekcije se mogu primijeniti prilikom postavljanja svake pojedine žice za uvlačenje. Isto tako, korekcije se mogu uraditi i tijekom radnog ciklusa (slika 4.5. [12]), čime se ne zaustavlja proizvodnja.

Jako je bitno da prilikom radnog ciklusa, korisnik stroja, povremeno pogleda ravnoću betonskog rebrastog željeza te na taj način, ako je potrebno, reagira i kompjuterski upravlja ravnanjem čime će se izbjeći što veća količina neiskorištene, škart robe.



*Slika 4.4. Pakiranje betonskog rebrastog željeza*



*Slika 4.5. Korekcija žice tijekom radnog ciklusa [12]*

#### **4.2.1.4. Sigurnost i ergonomija**

Prilikom rukovanja MEP Format 14 HS strojem za savijanje betonske rebraste žice, potrebno je pridržavati se mjera o zaštiti na radu. Imati adekvatnu radnu robu, cipele sa zaštitnom kapicom, rukavice i slušalice protiv buke.

Nagnuta radna površina opremljena je s plohom za zakretanje koja sprječava padanje materijala na tlo i omogućuje proizvodnju velikih šipki (udaljenost od 2000 mm između središnjeg kola za savijanje i poda). (slika 4.6. [13])

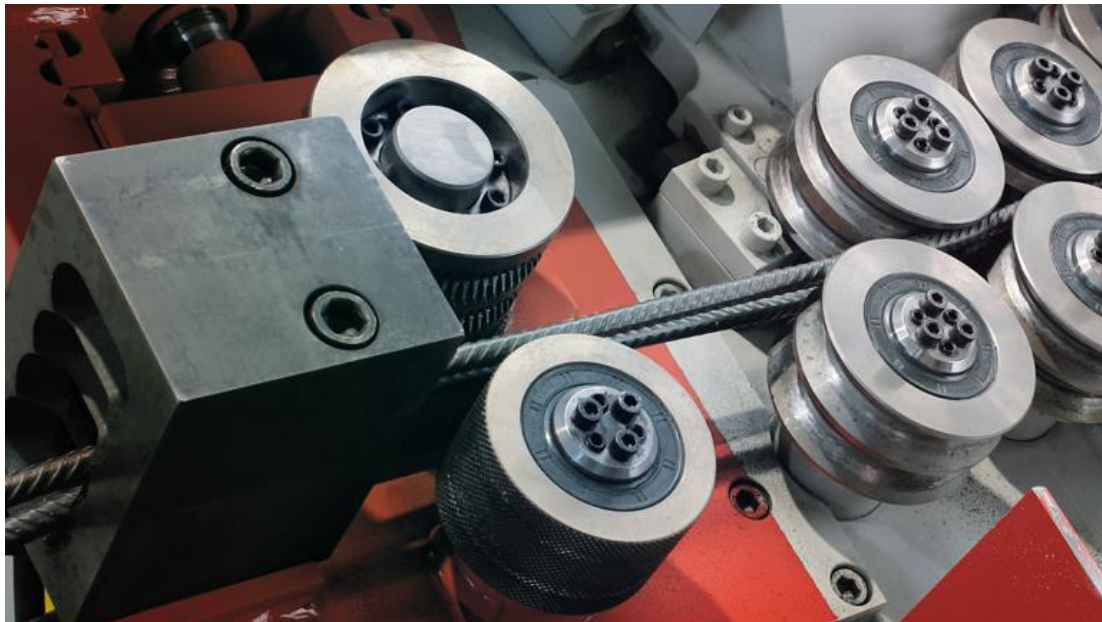
Ova rješenja osiguravaju da korisnik može raditi u optimalnim sigurnosnim uvjetima u izuzetno ergonomskom okruženju. [12]



*Slika 4.6. Radna površina [13]*

#### 4.2.1.5. Dijelovi stroja i pribor

**Višeslojna naprava za prednaprezanje** – elektroničko upravljanje putem upravljačke ploče, potpuno automatizirana s 4 položaja za promjenu žice (slika 4.7. [12])



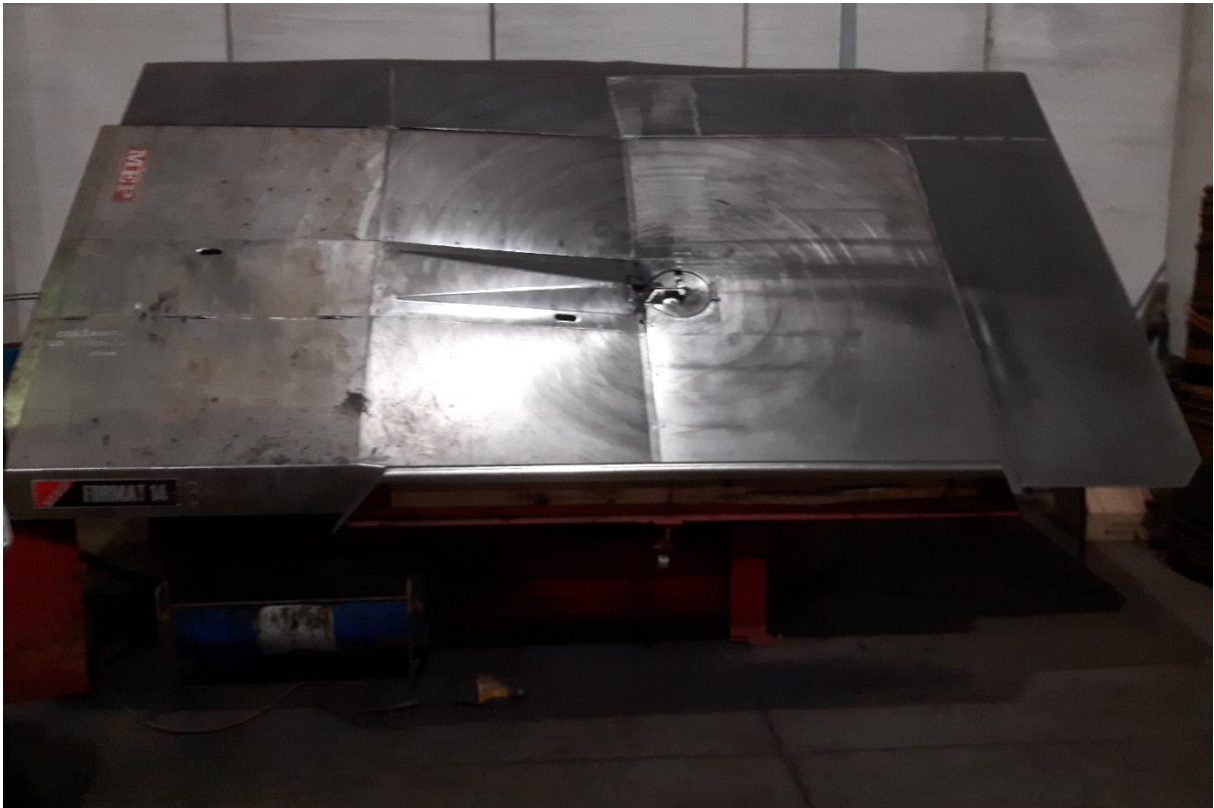
*Slika 4.7. Višeslojna naprava za prednaprezanje [12]*

**Vitlo** – motorizirani valjak za povlačenje žice prilikom prednaprezanja (slika 4.8. [12])



*Slika 4.8. Vitlo za povlačenje žice [12]*

**Sakupljač** – za sakupljanje ravnih i savijenih šipki (slika 4.9.).



*Slika.4.9. Sakupljač*

**Savijač** – tzv. „biger“, isporučen je sa središnjim svornjacima za savijanje (slika 4.10. [12]) koji su u skladu s međunarodnim standardima. Konstruiran je na način da olakša preklapanje i uvlačenje vanjske žice u odnosu na unutarnju tijekom operacije savijanja. To znači da se s dvije žice istovremeno može realizirati složeni ili vrlo mali komad. [12]



*Slika 4.10. Savijač (biger) sa svornjacima [12]*



**Razdjelnik** – služi za odvajanje paketa betonskog rebrastog željeza i njegovu lakšu upotrebu, tj. prijenos i uvlačenje u napravu za prednaprezanje (slika 4.11. a) i 4.11. b)). Sadrži i **kočnicu** koja služi za slučaj da se paketi prebrzo odmotavaju i uvlače, kako ne bi došlo do neželjenih nuspojava i zastoja u proizvodnji. (slika 4.12.)



*Slika 4.11. a) Razdjelnik paketa*



*Slika 4.11. b) Transport paketa u razdjelnik*



*Slika 4.12. Kočnica*

#### 4.2.1.6. Kompjuterizirano upravljanje strojem

Upravljačka ploča (slika 4.13. [14]) MEP Industrial PC „World System“ sastoji se od:

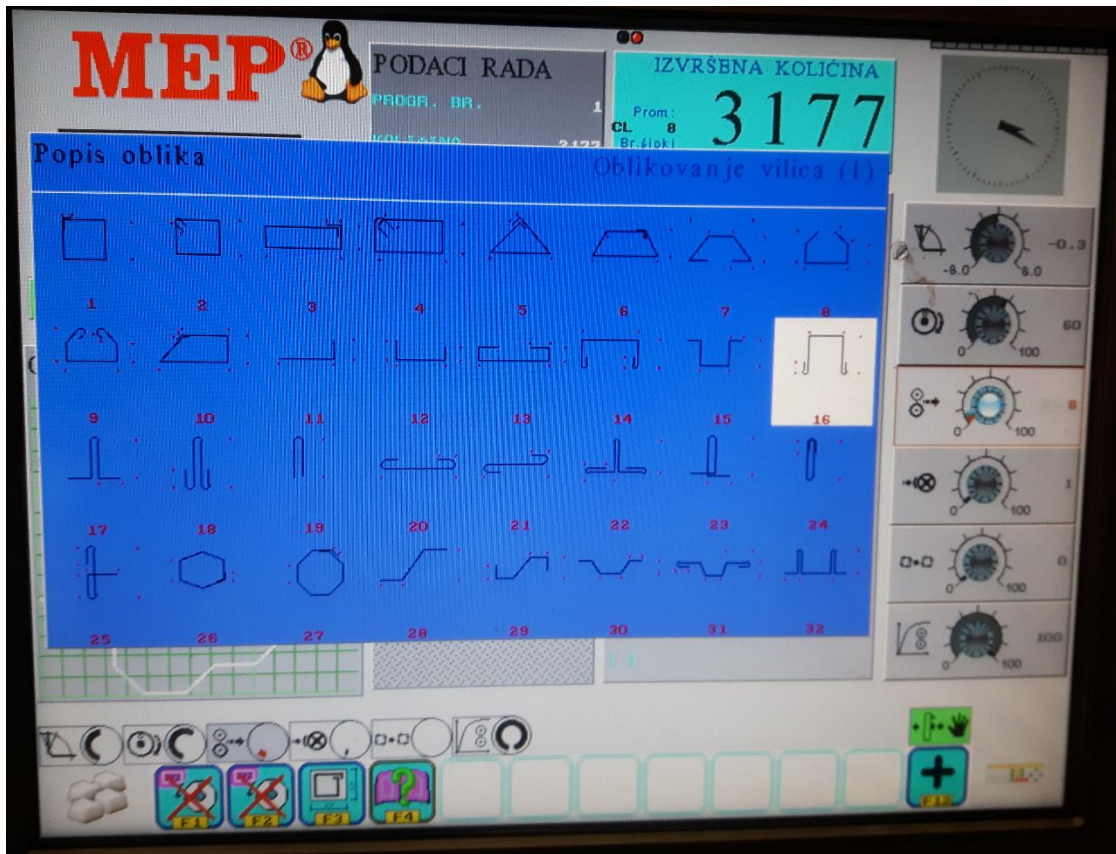
- LED zaslon osjetljiv na dodir za jednostavnu grafičku vizualizaciju svih podataka
- Mikroprocesor s malom potrošnjom energije
- Linux operativni sustav
- Automatski sustav spremanja sigurnosnih kopija u slučaju slučajnog prekida napajanja za zaštitu datoteka [12]



*Slika 4.13. Upravljačka ploča [14]*

Prilagođeni softver koji je MEP razvio omogućuje:

- Unos podataka s grafičkom vizualizacijom programiranih i unaprijed zapamćenih oblika (slika 4.14.)
- Programiranje omogućuje pohranu svih parametara brzine i kompenzacije na temelju dimenzija šipke i promjera žice
- Kontrola svih parametara brzine u obavljanju operacije savijanja putem potenciometra (slika 4.15.)
- Spremanje i arhiviranje podataka koji se odnose na radne cikluse i stvaranje dnevne statistike proizvodnje (položaji, promjeri, vremena, itd.)
- Automatsko aktiviranje zakazanog programa održavanja
- Kompatibilno sučelje s optičkim čitačem 2D koda preko priključka RS 232
- Moguće povezivanje s mrežom tvrtke putem RJ45 Ethernet priključka (LAN port) ili RS 232 priključka
- VPN veza – pomoć putem interneta kroz mrežu tvrtke [12]



Slika 4.14. Programirani i unaprijed zapamćeni oblici



Slika 4.15. Kontrola svih parametara putem potenciometra

### 4.3. Kalkulacija cijene i otplate stroja

Ovisno o tome koji profil betonskog rebrastog željeza se obrađuje, savija i reže, ovisi nam i vrijeme otplate stroja na temelju obavljenoga posla. U tablici 4.1. prikazat ćemo cjenik armature.

Tablica 4.1. Cjenik armature

VRSTA ARMATURE	Jedinica mjere	Jedinična cijena kn/kg (bez PDV-a)	Jedinična cijena kn/kg (s PDV-om)
RA, GA – ravne šipke 12m, $\phi 6 \leq$	kg	5,10	6,98
RA, GA – ravne šipke 6m, $\phi 6 \leq$	kg	5,40	6,75
RA, GA – sječenje ravnih šipki (raznih dužina), $\phi 6 \leq$	kg	5,80	7,25
RA, GA – ravnanje, sječenje i savijanje (miješana armatura)	kg	6,00	7,50
RA, GA – ravnanje, savijanje i vezanje	kg	6,50	8,13
MA – mreža raznih tipova	kg	5,70	7,13
RA – tranzit – ravne šipke 12m, $\phi 6 \leq$	kg	5,00	6,25

Budući da je cijena novog stroja za savijanje betonskog rebrastog željeza MEP Format 14 HS 40.800,00 kn, vrijeme koje je potrebno kako bi se stroj otplatio prikazat ćemo na sljedeći način:

Za primjer uzimamo rad koji je izrađen za ovaj diplomski rad (str. 19., slika 2.6. i str. 20., slika 2.7.)

Radnik u jednoj smjeni od 8h rada, na priručnim alatima, ručno izradi 1 komad za cca 20 min.

Što daljnjim izračunom izađe:  $\frac{8h}{20min} = 24 kom/smjena$

Cijena rada radnika iznosi: 4.200,00 kn/mjesec

Rad stroja, za primjer vezan uz ovaj diplomski rad (str. 21., slika 2.8.) iznosi: 4 kom/5 s.

Daljnjim izračunom slijedi: 720 kom/h, u idealnom slučaju bez zastoja rada stroja, uvijanja žice oko svoje osi, bez škarta i zamjene paketa žice.

Sa navedenim odstupanjima to bi iznosilo: 710 kom/h, odnosno: 5.680 kom/smjena.

Usporedba stroj –radnik za 8h rada (smjena):

$$\frac{5.680}{24} = 236,67 \cong 237$$

Iz čega proizlazi da je stroj efikasniji od radnika za 237 puta.

Kalkulacija otplate stroja (za primjer uzimamo da mjesec ima 20 radnih dana):

$$\frac{\text{Cijena rada radnika}}{\text{Radni dani}} = \frac{4.200,00 \text{ kn}}{20 \text{ dan}} = 210 \text{ kn/dan}$$

$$\frac{\text{Cijena stroja}}{\text{Cijena rada radnika po danu}} = \frac{40.800,00 \text{ kn}}{210,00 \text{ kn/dan}} = 194,28 \text{ dana} \cong 194 \text{ dana}$$

**Zaključak:**

Usporedbom ručnog rada radnika i rada stroja za isti radni komad u jednoj smjeni od 8h, stroj se otplati za 194 dana.

## 5. ZAHTJEVI PRI ODABIRU STROJA I TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI ODABRANIH STROJEVA

Prvenstveno, stroj nam omogućuje zamjenu ljudskog rada prilikom uporabe alata. Pojavom strojeva povećava se točnost, produktivnost, ekonomičnost i dr. značajke. Strojna obrada savijanjem, obavlja se na alatnom stroju s unaprijed određenim alatima, kako bi u što kraćem vremenu se dobio gotovi proizvod zadovoljavajuće kvalitete.

Ručna obrada i korištenje ručnih alata je skupo i presporo, te je u serijskoj ili masovnoj proizvodnji nemoguće proizvoditi bez pomoći alatnih strojeva. Prednosti alatnih strojeva su: zamjena fizičkog rada radnika, smanjenje broja radnika, bolja iskoristivost alatnog stroja, smanjenje vremena rada, povećanje produktivnosti, smanjenje troškova izrade, povećana ekonomičnost. [3]

Sam alatni stroj sastoji se od nekoliko cjelina bez kojih ne može raditi:

- Pogonski dio
- Prijenos snage, momenta i sile
- Izvršni ili radni dio
- Upravljački dio
- Postolje, kućište, stupovi, grede, konzole

**Pogonski dio** se mijenjao s napretkom tehnike kroz stoljeća. Počevši od pogona snagom životinja, vode, vjetrova, zatim u industrijskoj revoluciji uporabom parnog stroja, te do Nikole Tesle koji nam je dao trofazni elektromotor koji je i danas osnovni pokretač svih alatnih strojeva. Elektromotor je električni stroj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad.

**Prijenos snage, momenta i sile** se mijenjao s promjenama pogonskih strojeva i povećanjem snage motora, ovisno o potrebnoj pretvorbi mehaničkog rada napretkom tehnike kroz stoljeća. **Prigoni** su prijenosnici momenta i snage, a mogu biti **reduktori** (smanjuju broj okretaja, ali povećavaju snagu) ili **multiplikatori**. Dije se prema načinu gibanja pogonjenog elementa na rotacijske i translacijske (pravolinijske) prigone. Mogu se podijeliti prema načinu rada na električne, mehaničke i hidrauličke. Prema prijenosnom omjeru dijele se na prigone sa stalnim i promjenjivim prijenosnim omjerom.

**Izvršni ili radni dio** su različiti alati i naprave. Alati su sredstva u direktnom dodiru s predmetom koji se obrađuje, koji ga preoblikuju ili mijenjaju dimenzije ili svojstva. Naprave su pomoćna sredstva koja se koriste u tijeku proizvodnje, ali direktno ne obrađuju predmet, već sudjeluju kao samostalni uređaji ili dijelovi alatnog stroja.

**Upravljački dio** alatnog stroja služi za upravljanje gibanjima alata i obratka, te odabiranje parametara obrade. [15]

Ono što je važno kod stroja na kojem se izrađivao ovaj rad, osim pogonskog dijela je:

**Vitlo** za uvlačenje žice u stroj koje mora imati dovoljnu snagu.

**Savijač** (biger) je bitan za radnju savijanja. Njegove dimenzije određuju koja se žica može savijati, jer inače dolazi do prevelikog uvijanja žice oko svoje osi i nastanka škarta. Ako nam dimenzije ne odgovaraju, savijač se mijenja s drugim, odgovarajućih dimenzija za profil žice.

**Valjci** su također bitni - oni ravnaju i izvlače žicu. Ako nisu redovito održavani i pohabani su te im fali koji zubac, može se dogoditi da dobijemo određena odstupanja u samim dimenzijama obratka.



Od ostalih pomoćnih sredstava bitni su alati i materijali za podmazivanje samog stroja, ali i savijača kako bi se i na taj način izbjeglo uvijanje žice oko svoje osi. To se najčešće događa prilikom izrade manjih vilica čiji je razmak nešto malo veći od promjera savijača.

Postoji nekoliko značajnih mogućnosti stroja MEP Format 14 HS (str. 51., slika 4.1.) koje su prikazane u Tablici 5.1. [12].

Tablica 5.1. Tehnološke mogućnosti stroja [12]

	<b>Promjer jedne žice za obradu</b>	
	Hladno vučena, vruće valjana, glatka ili rebrasta žica	od $\phi 6$ do $\phi 14$ mm
	$f_y = 600$ MPa – $f_t = 700$ MPa	
	<b>Promjer duple žice za obradu</b>	
	Hladno vučena, vruće valjana, glatka ili rebrasta žica	od $\phi 6$ do $\phi 12$ mm
	$f_y = 600$ MPa – $f_t = 700$ MPa	
	<b>Dimenzije vilica</b>	
	Minimum sa žicom $\phi 6$ mm	50 mm $\times$ 50 mm
	Maksimum u smjeru kazaljke na satu	1500 mm $\times$ 1500 mm
	Maksimum u smjeru suprotnom kazaljki na satu	2000 mm $\times$ 2000 mm
	<b>Duljina razvijene žice</b>	
	Minimum	5 mm
	Maksimum (ako je opremljen s dodatnim vodilicama, ostale dimenzije na zahtjev)	12000 mm
	<b>Promjer savijača</b>	
	Minimum	12 mm
	Maksimum	70 mm
	<b>Maksimalna udaljenost između savijača i tla</b>	
	Standard	2000 mm
	Prema ostalim zahtjevima	> 2000 mm



	<b>Radna temperatura</b>	
	Standard	-5° C / +40° C
	Prema ostalim zahtjevima	-15° C/ +55° C
	<b>Snaga stroja</b>	
	Maksimalna	25 kW

Gdje je:

- $f_y$  – maksimalna granica tečenja
- $f_t$  – maksimalna vlačna čvrstoća

## **6. METODIČKI DIO**

### **6.1. Analiza nastavnog programa srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada**

Tema diplomskog rada je Proizvodnja armaturnog profila prema crtežu 007. Sadržaje vezane uz tu temu obrađuju prvenstveno učenici koji pohađaju tehničku školu za strojarstvo i brodogradnju, ali i učenici u elektrotehničkim školama, kao sastavni dio predmeta Tehnička mehanika. U daljnjem tijeku rada, analizirati će se ustroj strukovnih škola u Republici Hrvatskoj, program zanimanja računalni tehničar za strojarstvo te Nastavni plan i program za smjer računalni tehničar za strojarstvo.

### **6.2. Ustroj strukovnog obrazovanja u Republici Hrvatskoj**

Odgojno – obrazovni sustav u Republici Hrvatskoj je ustrojen prema Hrvatskom klasifikacijskom okviru (HKO) i podijeljen je na osam odgojno – obrazovnih razina. Prva razina je obvezna osmogodišnja škola, a potom slijede neobvezna dodatna osposobljavanja općeg ili stručnog karaktera.

Strukovne škole prema HKO-u su na četvrtoj razini, gdje se dijele na dvije razine: trogodišnje i četverogodišnje strukovne škole. U trogodišnjim srednjim strukovnim školama učenici se obrazuju za neko zanimanje, a po završetku svog obrazovanja polažu završni ispit. U četverogodišnjim srednjim strukovnim školama učenici se obrazuju za neko zanimanje, a po završetku svog obrazovanja polažu državnu maturu i imaju mogućnost nastavka obrazovanja na višim razinama upisivanjem dalje na studij, sveučilišni ili stručni.

Kako bi učenici trogodišnjih srednjih strukovnih škola mogli nastaviti svoje obrazovanje na višim razinama, moraju upisati još jednu školsku godinu, godinu dokvalifikacije, nakon čega moraju položiti državnu maturu i upisati neki studij.

Najviša razina obrazovanja je poslijediplomski doktorski studij, kojim se stječu najviše kompetencije određenog područja. [16]

### 6.3. Opis programa zanimanja računalni tehničar za strojarstvo

Računalni tehničar za strojarstvo usvaja teorijska i praktična znanja kao strojarski tehničar, dodatna znanja se odnose na poznavanje i primjenu računala i na poznavanje i primjenu strojeva vođenih računalom, s naglaskom na računalom upravljanim numeričkim strojevima (NUAS).

Od praktičnih vještina računalni tehničar u strojarstvu se osposobljava za osnove ručne i strojne obrade metala i jednostavnije operacije na klasičnim alatnim strojevima.

Zbog stalnih promjena i napretka znanosti i tehnologije, računalnog tehničara u strojarstvu mora se i nakon završetka školovanja stručno usavršavati. Stečeno opće i strukovno znanje omogućava učeniku upis na sve fakultete, a posebno na fakultete tehničkih znanosti. [17]

Ciljevi obrazovnog programa:

- Stjecanje i razvoj znanja, vještina i stavova za osobni razvoj i daljnje učenje
- Stjecanje teorijskih i praktičnih vještina i znanja za obavljanje poslova računalnog tehničara za strojarstvo:
  - Stjecanje znanja i vještina za pravilno rukovanje strojevima, uređajima i alatima tijekom rada te njihovo pravilno održavanje
  - Stjecanje znanja o zaštiti na radu (ZNR)
  - Razvoj ekološke svijesti i osobne odgovornosti

Opće kompetencije koje učenik stječe:

- Sposobnost sudjelovanja u jednostavnoj pismenoj i usmenoj komunikaciji
- Sposobnost sudjelovanja u grupnoj raspravi
- Sposobnost čitanja podataka iz dokumenata o istoj temi
- Usvojena osnovna matematička znanja potrebna za razumijevanja zakonitosti u prirodi i društvu te osposobljenost za primjenu znanja u životu i struci
- Razvoj vještine samostalnog računanja, crtanja i mjerenja prema zadanim uputama, kao i preciznost u radu
- Primjena stečenih znanja stranog jezika u svim oblicima komunikacije
- Primjena usvojenih metoda učenja i usavršavanje novih metoda
- Posjedovanje znanja potrebnog za korištenje aplikacija za tablični prikaz i izračun
- Posjedovanje znanja potrebnog za izradu prezentacije
- Preuzimanje odgovornosti za svoj zadatak korištenjem vlastitog plana za ostvarivanje zadanih ciljeva

Stručne kompetencije koje učenik stječe:

- Sposobnost čitanja tehničkih crteža i tehničko-tehnološke dokumentacije
- Protumačiti osnovna svojstva elemenata strojeva koja se odnose na funkciju, materijal, postupak izrade, opterećenje i naprezanje
- Racionalno korištenje sredstava za rad, energije, materijala i vremena
- Sposobnost planiranja, pripremanja, izvođenja rada i izvršavanja provjere kvalitete obavljenog posla
- Ovladati vještinama posluživanja i programiranja strojeva upravljanih računalom

- Informatička pismenost
- Sposobnost proračuna, dizajniranja i konstruiranja strojnih elemenata i sklopova strojarskih konstrukcija primjenom računalnih programa
- Sposobnost rješavanja tehničkih problema iz područja strojarstva
- Razlikovati vrste opterećenja
- Objasniti svojstva tehničkih materijala
- Sposobnost pripreme elemenata kalkulacije
- Pravilno rukovanje alatima, priborima i uređajima
- Koristiti standardne oznake materijala, ponašati se u skladu s normama
- Komunikacija sa suradnicima
- Primjena propisa ZNR i zaštite okoliša

Nastava je koncipirana tako da ima opće-obrazovni dio, stručno-teorijski dio i praktičnu nastavu. Predmeti koje obuhvaća obrazovni program na temelju kojih se stječu navedene kompetencije su: Hrvatski jezik, Strani jezik, Povijest, Etika/Vjeronauk, Geografija, Politika i gospodarstvo, Tjelesna i zdravstvena kultura, Matematika, Fizika, Kemija, Računalstvo, Tehničko crtanje, Elementi strojeva, Tehnička mehanika, Tehnički materijali, Strojarske tehnologije, Kontrola i osiguranje kvalitete, Strojarske konstrukcije, Alati i naprave, Pneumatika i hidraulika, Elektrotehnika, Termodinamika, CNC tehnologije, Industrijska automatizacija, Dizajniranje proizvoda pomoću računala, Glodanje CAD/CAM tehnologijom, Roboti i manipulatori i Obnovljivi izvori energije. [17]

## 6.4. Nastavni plan predmeta Tehnička mehanika

Nastavu predmeta tehnička mehanika učenici pohađaju u prvom i drugom razredu. U prvom razredu je za predmet predviđen fond sati od 2 sata tjedno, odnosno 70 sati godišnje. U drugom razredu je za predmet predviđen fond sati od 2 sata tjedno, odnosno 70 sati godišnje.

U Tablici 6.1. prikazana je podjela sadržaja na nastavne cjeline za prvi razred, a u Tablici 6.2. za drugi razred, prema kojima će se ostvarivati predviđeni zadatci. Navedene su i nastavne cjelina i sadržaji kroz koje će se cjeline obrađivati.

Tablica 6.1. Prikaz nastavnog plana za prvi razred

Naziv predmeta:	<i>Tehnička mehanika</i>
<b>Prvi razred</b>	
<i>Nastavne cjeline</i>	<i>Nastavni sadržaji</i>
Temeljni pojmovi i načela statike	Zadaća mehanike Sila, određenost i vrste sila Prikaz sile grafički i analitički Načela statike
Konkurentno-komplanarni sustav sila	Kolinearni sustav sila – grafičko i analitičko određivanje rezultante i ravnoteža Dvije sile istog i različitog hvatišta – grafičko i analitičko određivanje rezultante Ravnoteža triju sila Rastavljanje sila na komponente – grafički i analitički postupak Sustav konkurentnih sila – grafičko i analitičko određivanje rezultante i ravnoteža
Nekonkurentno-komplanarni sustav sila	Statički moment sile Moment pravilo – Varignonov poučak Par ili spreg sila Sustav paralelnih sila istog i suprotnog smjera Određivanje rezultante i njenog položaja grafički i analitički Rastavljanje sile na dvije paralelne komponente istog i suprotnog smjera grafički i analitički Grafički i analitički uvjeti ravnoteže
Težište	Težište sastavljenih dužina Težište jednostavnih, sastavljenih i oslabljenih ploha Pappus-Guldinovo pravilo Vrste ravnoteže Statička stabilnost
Puni ravni nosači	Prosta greda s koncentriranim, kontinuiranim i kombiniranim opterećenjem Nosač s jednim prepustom Ukliješteni nosač koncentrirano i kombinirano opterećen

Rešetkasti nosači	Određivanje sile u štapovima – grafička metoda (Cremona) Određivanje sila u štapovima – analitička metoda (Ritter)
Uvod u kinematiku	Osnovni kinematički pojmovi (kruto tijelo, materijalna točka, vrste gibanja, usporedni pregled veličina pravocrtnog i kružnog gibanja)
Kinematika složenog gibanja	Apsolutno, prijenosno i relativno gibanje – apsolutna brzina složenog gibanja Apsolutno ubrzanje složenog gibanja
Kinematika krutog tijela	Komplanarno gibanje tijela Kinematika motornog mehanizma – s, v, a
Napomena	Nastavni proces se 50% vremena izvodi kao teorijska nastava, a 50% služi za rješavanje računskih zadataka i vježbe koje se izvode računski i uz podršku računalnih programa u računalnoj učionici s pola razrednog odjela

Tablica 6.2. Tehnička mehanika za drugi razred

Naziv predmeta:	<b><i>Tehnička mehanika</i></b>
<b>Drugi razred</b>	
<i>Nastavne cjeline</i>	<i>Nastavni sadržaji</i>
Uvod i temeljni pojmovi o čvrstoći materijala	Pojam i vrste opterećenja i vrste naprezanja Dopušteno naprezanje i koeficijent sigurnosti Utjecaj utora i zamor materijala
Aksijalna naprezanja	Hookov zakon Naprezanje na vlak i tlak Površinski tlak Naprezanje uslijed promjene temperature
Naprezanje na odrez ili smik	Jednadžba naprezanja na odrez ili smik Dimenzioniranje elemenata izloženih na odrez ili smik
Momenti inercije i otpori ploha	Pojam i vrste inercije i otpora Momenti inercije i otpora jednostavnih ploha Steinerov poučak Momenti inercije složenih i oslabljenih ploha Momenti inercije i otpora standardnih sastavljenih ploha
Naprezanje pri savijanju ili fleksiji	Temeljni pojmovi i vrste savijanja Elastična crta i jednadžba savijanja Dimenzioniranje elemenata izloženih savijanju
Naprezanje pri uvijanju ili torziji	Temeljni pojmovi i jednadžbe naprezanja pri uvijanju Dimenzioniranje lakih vratila pri: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dopuštenom naprezanju</li> <li>▪ Dopuštenoj deformaciji</li> </ul>
Naprezanje pri izvijanju	Temeljni pojmovi izvijanja i Eulerove jednadžbe Vitkost štapa i granice primjene Eulerovih jednadžbi Dimenzioniranje elemenata izloženih izvijanju
Složena naprezanja	Ekscentrični vlak i tlak Savijanje i vlak i tlak Dimenzioniranje teških vratila

Uvod u dinamiku	Temeljni pojmovi i zadaci dinamike Newtonovi zakoni
Dinamika čestice	Sila kao uzrok pravocrtnog gibanja – jednačba gibanja trenjem Inercijalne sile i D'Alambertovo načelo Impuls sile i veličina gibanja Mehanički rad i energija Snaga i koeficijent korisnog djelovanja
Dinamika krutog tijela	Dinamički moment inercije Steinerov poučak za određivanje momenta tromosti Radijus inercije i reducirana masa Glavna dinamička jednačba rotirajućeg tijela Mehanički rad i energija rotirajućeg tijela Snaga pri rotacijskom gibanju Trenje klizanja na horizontalnoj podlozi i kosini – klin Trenje kotrljanja i vožnje Trenje užeta – pojasne kočnice
Napomena	Nastavni proces se 50% vremena izvodi kao teorijska nastava, a 50% služi za rješavanje računskih zadataka i vježbe koje se izvode računski i uz podršku računalnih programa u računalnoj učionici s pola razrednog odjela

## 6.5. Priprema za izvođenje nastave za pripadnu razinu kvalifikacije u skladu s HKO

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA POLITEHNIKU

Ime i prezime: Anđelko Gajić

### PRIPREMA ZA IZVOĐENJE NASTAVE

Škola: Tehnička škola za strojarstvo i brodogradnju

Mjesto: Rijeka

Razred: 2 BR

Zanimanje: Računalni tehničar za strojarstvo

Nastavni predmet: Tehnička mehanika

Kompleks: Naprezanje pri savijanju ili fleksiji

Metodička (nastavna) jedinica: Temeljni pojmovi i vrste savijanja

Datum izvođenja: 09.2017.

### SADRŽAJNI PLAN

#### Podjela kompleksa na teme

Redni Broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		Teorija	Vježbe
<b>5.1.</b>	<b><u>Temeljni pojmovi i vrste savijanja</u></b>	2	
5.2.	Jednadžba savijanja	1	
5.3.	Dimenzioniranje elemenata izloženih savijanju	1	1
5.4.	Elementi jednake čvrstoće na savijanje	1	1
5.5.	Pojačavanje profilnih elemenata lamelema	1	1
5.6.	Elastična crta (polumjer zakrivljenosti, kut nagiba i progib)		2



**Karakter teme – metodičke jedinice:**

Tema je informativnog karaktera – obrađuje se kako bi se učenici upoznali sa vrstama savijanja i temeljnim pojmovima savijanja te kako bi stečena znanja mogli primijeniti u praktičnoj nastavi i poslu zanimanja

**Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:**

Cilj obrade metodičke jedinice je da učenici prepoznaju vrste savijanja i djelovanje momenta savijanja te koje vrste naprezanja postoje pri određenoj vrsti savijanja.

**ISHODI UČENJA:****ZNANJE I RAZUMIJEVANJE (*obrazovna postignuća*):**

- Definirati pojam savijanje
- Nabrojati vrste savijanja i naprezanja
- Prepoznati vrstu savijanja
- Objasniti djelovanje momenta savijanja

**VJEŠTINE I UMIJEĆA (*funkcionalna postignuća*):**

- Usporediti različite vrste savijanja
- Konstruirati vrstu nosača u ovisnosti djelovanja momenta savijanja
- Argumentirati odabranu konstrukciju

**SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST (*odgojna postignuća*):**

- Aktivno sudjelovati u nastavi
- Razviti komunikacijske vještine
- Razviti solidarnost i tolerantnost prema ostalim kolegama u razredu

**ORGANIZACIJA NASTAVNOG RADA – ARTIKULACIJA METODIČKE JEDINICE:**

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
Uvodni dio	- Priprema za rad: priprema računala, projektora i prezentacije - Najava teme koja će se danas obrađivati - Motivacija za rad primjerom iz svakodnevnog života	Usmeno izlaganje (frontalni rad) Razgovor (dijalog)	5
Središnji dio	- Definiranje pojma savijanje - Vrste savijanja u ovisnosti na vanjsko opterećenje - Vrste savijanja u ovisnosti opterećenja nosača - Utjecaj momenta savijanja na savijanje - Podjela naprezanja	Usmeno izlaganje (frontalni rad) Razgovor (diskusija)	75
Završni dio	- Sistematizacija i ponavljanje obrađenog gradiva - Najava idućeg sata	Razgovor sa učenicima uz ponavljanje ključnih pojmova	10

**POSEBNA NASTAVNA SREDSTVA, POMAGALA I OSTALI MATERIJALNI UVJETI RADA:**

**Nastavna pomagala:**

- Računalo
- Projektor
- Ploča

**KORELATIVNE VEZE METODIČKE JEDINICE S OSTALIM PREDMETIMA I PODRUČJIMA:**

**METODIČKI OBLICI KOJI ĆE SE PRIMJENJIVATI TIJEKOM RADA:**

*Uvodni dio*

- Najavljujemo temu koja će se danas obrađivati frontalnim oblikom rada
- Popularnim predavanjem u razgovoru s učenicima uvodi se u temu navodeći primjere iz svakodnevnog života gdje smo sve mogli vidjeti primjere vezane uz savijanje.

### *Središnji dio*

- Predavanje o povezanosti naprezanja i savijanja
- Dijaloški, kroz diskusiju, ističu se vrste savijanja u ovisnosti na vanjsko opterećenje
- Navode se vrste savijanja u ovisnosti opterećenja nosača
- Usmenim izlaganjem, objašnjava se utjecaj momenta savijanja na savijanje
- Kroz razgovor sa učenicima i primjere, obavlja se podjela naprezanja

### *Završni dio*

- Letimično provjeravanje utvrđenosti pojmova obrađenog gradiva kroz razgovor sa učenicima
- Najava idućeg sata

### **IZVORI ZA PRIPREMANJE NASTAVNIKA:**

B. Kulišić, *Tehnička mehanika – Nauka o čvrstoći s vježbama*, Element, Zagreb, 2005.

B. Kraut, *Strojarski priručnik*

V. Špiranec, *Tehnička mehanika, Školska knjiga, Zagreb*

### **IZVORI ZA PRIPREMANJE UČENIKA:**

B. Maković, B. Pasanović, V. Šutalo: *Tehnička mehanika 2 – Nauka o čvrstoći*, Neodidacta d.o.o., Zagreb 2014., udžbenik s DVD-om

## TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD

### Uvodni dio

#### - **Priprema za rad: priprema računala, projektora i prezentacije**

Pozdraviti će se učenike, provjeriti nedostaje li tko na današnjem satu. Zapisati odsutne, ako ih ima te upisati sat u Dnevnik.

#### - **Najava teme koja će se danas obrađivati**

Učenicima će se najaviti tema koja će se danas obrađivati, na ploču će se napisati naslov *Temeljni pojmovi i vrste savijanja* i današnji datum. Napomenuti učenike da prepisu sve što će se zapisivati na ploči u svoje bilježnice.

#### - **Motivacija za rad primjerom iz svakodnevnog života**

Kako bi učenici bili zainteresirani za rad, pokazati će im se na prezentaciji par slika savijenih i uvinutih greda koje vidamo prilikom obnove školske fasade te potaknuti na razmišljanje zbog čega je do toga došlo.

### Središnji dio

#### - **Definiranje pojma savijanje**

Nakon nabrojanih primjera iz svakodnevnog života i diskusije o tome, definirati ćemo pojam savijanja. Savijanje je opterećenje koje djeluje okomito na uzdužnu os nosača. Naprezanje pri savijanju je karakteristično po tome što se uzdužna os štapa uslijed vanjskog opterećenja zakrivljuje.

#### - **Vrste savijanja u ovisnosti na vanjsko opterećenje**

Spomenuti ćemo učenicima kako su u praksi različite konstrukcije ili njezini pojedini dijelovi izloženi naprezanju pri savijanju. Za to naprezanje karakteristični su nosači, a iz statike je poznato da su upravo nosači elementi koji primaju i prenose neko opterećenje. Uslijed toga, pored ostalog trpe i deformaciju savijanja.

U ovisnosti kako djeluje vanjsko opterećenje, savijanje može biti:

- Ravno ili obično savijanje
- Koso savijanje

Ravno ili obično savijanje je ono savijanje gdje moment savijanja  $M_S$  djeluje oko glavne osi inercije  $x$  ili  $y$  poprečnog presjeka.

Koso savijanje je ono gdje moment savijanja  $M_S$  ne djeluje ni oko jedne glavne osi inercije.

#### - **Vrste savijanja u ovisnosti opterećenja nosača**

Nakon što smo spomenuli vrste savijanja u ovisnosti na vanjsko opterećenje, osvrnuti ćemo se na opterećenja nosača. Vrste savijanja u ovisnosti opterećenja nosača dijele nam se u dvije skupine:

- Čisto savijanje ili svijanje spregovima
- Poprečno savijanje ili savijanje silama

Čisto savijanje se javlja ako se u svakom poprečnom presjeku nosača vanjsko opterećenje reducira na spreg sila. U tom slučaju je nosač duž cijele svoje osi opterećen istim momentom savijanja  $M_S = \text{const}$ .

Poprečno savijanje je ono gdje se pored naprezanja na savijanje u poprečnom presjeku javljaju i poprečne sile.

Iz dijagrama koji ćemo nacrtati na ploči, vidjet ćemo da su te sile različite za svaki poprečni presjek nosača, tj.  $M_S \neq \text{const}$ .

To znači da je u gornjem dijelu nosača naprezanje na tlak, a u donjem dijelu naprezanje na vlak. Iz dijagrama se vidi da je deformacija vlakana to veća što se nalaze dalje od neutralne osi, čija duljina ostaje nepromijenjena. Najveće skraćenje, odnosno produljenje, imaju površinska vlakna, pa je i naprezanje najveće na gornjoj i donjoj plohi nosača.

#### - **Utjecaj momenta savijanja na savijanje**

Iz prethodno spomenutog, možemo zaključiti da ovisno o tome kakav nam je moment savijanja  $M_S$ , (const. ili  $\neq \text{const}$ ) automatski saznajemo o kojoj se vrsti savijanja radi.

#### - **Podjela naprezanja**

Poprečno savijanje ili savijanje silama je složeno naprezanje koje se sastoji od:

- Normalnog naprezanja
- Tangencijalnog naprezanja

Normalno naprezanje pri savijanju nastaje djelovanjem momenata savijanja.

Tangencijalno naprezanje ili smično naprezanje nastaje djelovanjem poprečnih sila.

### Završni dio

#### - **Sistematizacija i ponavljanje obrađenog gradiva**

Nakon završenog gradiva, ponovimo što smo danas obrađivali kroz kratka pitanja i diskusiju a učenicima. Neka od pitanja na temelju kojih ćemo ponoviti današnje gradivo su:

- O čemu smo danas govorili?
- Što je to savijanje?
- Koje vrste savijanja smo spomenuli? U ovisnosti na koja opterećenja?
- Kakvo je to ravno, a kakvo koso savijanje?
- Po čemu se razlikuju čisto i poprečno savijanje?
- Kakav je utjecaj momenta savijanja na savijanje?
- Koje vrste naprezanja smo spomenuli?

#### - **Najava idućeg sata**

Zahvalim se učenicima na pažnji i najavim kako ćemo idući sat obrađivati *Jednadžbe savijanja*.

## IZGLED PLOČE

09.2017.

### TEMELJNI POJMOVI I VRSTE SAVIJANJA

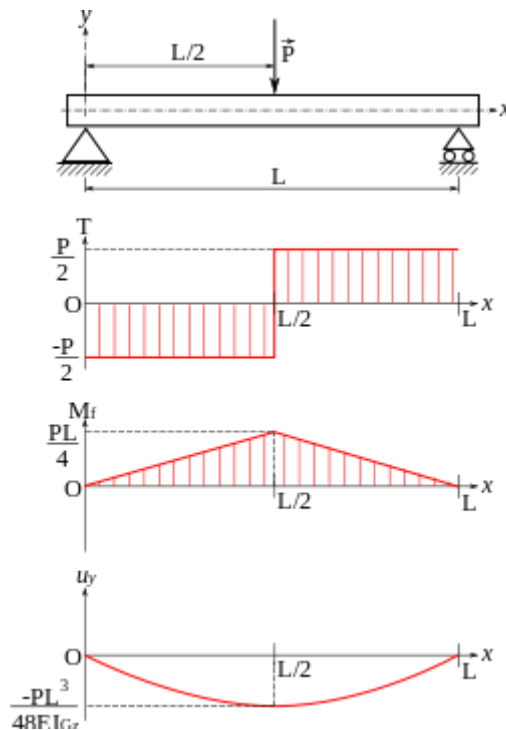
Savijanje je opterećenje koje djeluje okomito na uzdužnu os nosača. Naprezanje pri savijanju je karakteristično po tome što se uzdužna os štapa uslijed vanjskog opterećenja zakrivljuje.

Vrste savijanja u ovisnosti na vanjsko opterećenje:

- Ravno ili obično savijanje
- Koso savijanje

Vrste savijanja u ovisnosti opterećenja nosača:

- Čisto savijanje ili savijanje spregovima
- Poprečno savijanje ili savijanje silama



Podjela naprezanja:

- Normalno naprezanje
- Tangencijalno naprezanje

(potpis studenta)

Pregledao: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

**Osvrt na izvođenje:**

## 7. ZAKLJUČAK

Proizvodnja armaturnih profila procesom obrade metala deformacijom, danas je veoma zastupljena kao grana tehnologije u metalnoj industriji. Pojavom alatnih strojeva, uvelike je olakšana, ubrzana i poboljšana sama proizvodnja zadanih zadataka obrade. Strojevi su uvelike zamijenili broj ljudi koji su potrebni kako bi se operacija izvela, ali i smanjili vrijeme obavljanja operacije. Kao primjer tome uzima se u obzir izrađeni obradak za ovaj diplomski rad, koji se obradom na stroju u četiri primjera izradi za samo 5 sekundi, dok bi to ručnom obradom trajalo za samo jedan komad cca 20 min, a i dimenzijski bi bilo upitno što se tiče točnosti.

Posebna pažnja treba se obratiti na određene dijelove stroja, kao što su savijač, valjci i vitlo. Savijač je bitan kako ne bi došlo do uvijanja žice oko vlastite osi, a i same izrade, pogotovo vilica, ako se radi o manjim dimenzijama. Što se valjaka tiče bitno je njihovo održavanje, jer ako su pohabani može doći do odstupanja u dimenzijama, iako kod ovakvog načina proizvodnje dozvoljeno je i odstupanje od  $\pm 10-20$  mm.

Cijeli proces proizvodnje je automatiziran, od dovođenja paketa koji su pakirani u kolotovima dizalicom, do izrade proizvoda. Prednost ovakve obrade je ta što se sve obavlja samo na jednome stroju te i na taj način nema gubljenja vremena.

Nakon izrade proizvoda obavlja se izlazna kontrola robe na temelju kartice paketa, a zatim se putem viljuškara i prioriteta distribucije, koji je naznačen na kartici paketa, roba otprema dalje.

Prilikom slaganja paketa, treba se pridavati važnosti i vrste žice. U ovome radu spomenute su dvije vrste žice, a to su: žica austrijskog proizvođača i žica proizvođača iz BiH. Žica proizvođača iz Austrije ima takav raspored rebara da prilikom slaganja paketa se ponaša kao da ima „čičak“, dok kod žice proizvedene u BiH, koja je rađena s manje primjesa, treba paziti na slaganje. Žica je jako glatka i ima malu visinu rebara te može doći do urušavanja paketa, ako se ne pazi na slaganje.

Cjenovno, savijanje se najviše naplaćuje za manje profile poput  $\phi 6$  i  $\phi 8$  gdje se osim dužine, zaračunava i broj savijanja i rezanja. Ovisno o dogovoru s kupcem, rješavaju se određena odstupanja u izradi.

Prilikom nastajanja škart robe, firma koja se bavi proizvodnjom armaturnih profila, u ovom slučaju Hermes d.o.o. ima dogovor s firmom Metis d.d., oko otkupa škart robe.



## LITERATURA

- [1] Grizelj B.: *Oblikovanje metala deformiranjem*, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod 2002.
- [2] Slade I.: „Alatni strojevi I“, [www.cnt.tesla.hr](http://www.cnt.tesla.hr), 2012.
- [3] Slade I.: „Obrada materijala II“, [www.cnt.tesla.hr](http://www.cnt.tesla.hr), 2012.
- [4] Internet stranica:  
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Ger%C3%A4umte-Kerbverzahnung2.JPG> , preuzeto 27. srpnja 2017.
- [5] Internet stranica: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Valjanje> , preuzeto 29. srpnja 2017.
- [6] Musafija B.: *Obrada metala plastičnom deformacijom*, IGKRO „Svjetlost“ OOUR zavod za udžbenike, Sarajevo 1979.
- [7] Internet stranica:  
[http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija\\_za\\_deformisanje/Masinogradnja/Savijanje.pdf](http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija_za_deformisanje/Masinogradnja/Savijanje.pdf) , preuzeto 29. srpnja 2017.
- [8] Internet stranica:  
[http://www.zemris.fer.hr/predmeti/ra/Magisterij/11\\_Vadlja/Web%20Stranica/plasticnost.html](http://www.zemris.fer.hr/predmeti/ra/Magisterij/11_Vadlja/Web%20Stranica/plasticnost.html), preuzeto 03. kolovoza 2017.
- [9] „Hrvatska enciklopedija“, Leksikografski zavod Miroslav Krleža,  
[www.enciklopedija.hr](http://www.enciklopedija.hr), 2015.
- [10] Internet stranica:  
[https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwift6\\_8oKTUAhWGEiwKHelNCHkQFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fstatic.elitesecurity.org%2Fuploads%2F2%2F8%2F2814997%2FSavijanje.pdf&usq=AFQjCNEeQV81SiTPwoponr6nIPN8Vqa23Q](https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwift6_8oKTUAhWGEiwKHelNCHkQFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fstatic.elitesecurity.org%2Fuploads%2F2%2F8%2F2814997%2FSavijanje.pdf&usq=AFQjCNEeQV81SiTPwoponr6nIPN8Vqa23Q) , preuzeto: 03. kolovoza 2017
- [11] Internet stranica: <http://www.fe-mis.com/tehnicka.pdf> , preuzeto: 06. kolovoza 2017.
- [12] Internet stranica: <http://www.mepgroup.com/> , preuzeto 15. kolovoza 2017.
- [13] Internet stranica: [http://www.prakt.ro/wp-content/uploads/2014/03/Format\\_14\\_HS-02.jpg](http://www.prakt.ro/wp-content/uploads/2014/03/Format_14_HS-02.jpg), preuzeto 15. kolovoza 2017.
- [14] Internet stranica:  
[http://w.mtwebcenters.com.tw/static/ecommerce/176/176625/media/catalog/product/cache/1/image/5e06319eda06f020e43594a9c230972d/f/o/format\\_3\\_1.jpg](http://w.mtwebcenters.com.tw/static/ecommerce/176/176625/media/catalog/product/cache/1/image/5e06319eda06f020e43594a9c230972d/f/o/format_3_1.jpg), preuzeto 15. kolovoza 2017.
- [15] Internet stranica: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Alatni\\_stroj](https://hr.wikipedia.org/wiki/Alatni_stroj) , preuzeto 18. kolovoza 2017.
- [16] Internet stranica:  
<http://www.asoo.hr/UserDocsImages/dokumenti/Polazne%20osnove%20HKO-hr.pdf> , preuzeto 20. kolovoza 2017.
- [17] Internet stranica: [http://ss-tehnicka-strojarstvoibrodogradnja-ri.skole.hr/nastava/nastavni\\_programi/ra\\_unalni](http://ss-tehnicka-strojarstvoibrodogradnja-ri.skole.hr/nastava/nastavni_programi/ra_unalni) , preuzeto 20. kolovoza 2017.