



Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo

# **ZASNOVA IN IZDELAVA STROJA ZA PROIZVODNJO EMBALAŽE IZ STIROPORA**

Diplomsko delo

Študent(ka): Jernej ŠARH  
Študijski program: univerzitetni študijski program Strojništvo  
Smer: Inženirsko oblikovanje  
Mentor: red. prof. dr. Miran Brezočnik

Maribor, oktober 2015



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

Smetanova ulica 17  
2000 Maribor, Slovenija

Številka: S-1700

Datum in kraj: 03.06.2015, Maribor

Na osnovi 330. člena Statuta Univerze v Mariboru (Ur. l. RS, št. 46/2012)  
izdajam

#### SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

**JERNEJU ŠARHU**, študentu **univerzitetnega** študijskega programa **STROJNIŠTVO**, smer **INŽENIRSKO OBLIKOVANJE**, se dovoljuje izdelati diplomsko delo pri predmetu **Izdelovalni postopki**.

Mentor: **red. prof. dr. Miran Brezočnik**

Somentor: /

Naslov diplomskega dela: **Zasnova in izdelava stroja za proizvodnjo embalaže iz stiropora**

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: **Design and manufacture of a machine for the production of styrofoam packaging**

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z »Navodili za izdelavo diplomskega dela« in ga oddati v treh izvodih do **02.06.2016** v referatu za študentske zadeve članice.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na senat članice v roku 3 delovnih dni.

Dekan:

izr. prof. dr. Bojan Dolšak

Obvestiti:

- kandidata,
- mentorja,
- somentorja,
- odložiti v arhiv



## **I Z J A V A**

Podpisani Jernej ŠARH izjavljam, da:

- je bilo predloženo diplomsko delo opravljeno samostojno pod mentorstvom red. prof. dr. Mirana BREZOČNIKA;
- predloženo diplomsko delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v Knjižnici tehniških fakultet Univerze v Mariboru.

Maribor, 29. 10. 2015

Podpis: \_\_\_\_\_

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju red. prof. dr. Miranu BREZOČNIKU za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela. Predvsem se zahvaljujem puncu Jasmini za vztrajnost in podporo.

Posebna zahvala velja staršem, ki so mi omogočili študij.

# ZASNOVA IN IZDELAVA STROJA ZA PROIZVODNJO EMBALAŽE IZ STIROPORA

**Ključne besede:** embalaža, zaščita izdelka, specifična proizvodnja, namensko orodje, stiropor, rezkar

**UDK:** 621.937+621.914.02(043.2)

## POVZETEK

*Diplomsko delo opisuje postopek izdelave namenske embalaže iz stiropora. V podjetju, kjer izdelujejo stekleničke za vodo, so potrebovali namensko embalažo za zaščito svojih izdelkov med transportom. Zahteva stranke je bila ustrezna embalaža za maloserijsko proizvodnjo, kjer izdelava orodja za stiroporno embalažo ne pride v poštev. V našem podjetju smo izdelali stroj za rezkanje in namensko orodje za izdelavo cilindričnih odprtin v kvadre iz stiropora. Stroj se lahko z menjavo orodja uporabi za izdelavo embalaže za druge izdelke. S tem diplomskim delom je podjetje pridobilo nov postopek izdelave maloserijskih izdelkov in razširilo ponudbo na področju izdelave embalaže iz stiropora.*

# DESIGN AND MANUFACTURE OF A MACHINE FOR THE PRODUCTION OF STYROFOAM PACKAGING

**Key words:** packaging, protection of product, specific production, dedicated tool, styrofoam, miller [8]

**UDK:** 621.937+621.914.02(043.2)

## ABSTRACT

*Dissertation is describing procedure of making dedicated packaging from Styrofoam. In the company where are making bottles for water, they were needing dedicated packaging for the protection of their products between transport. Customer requirement was suitable packaging for small series production, where making a tool for shape moulded Styrofoam packaging is not an option. In our company we had made a machine for milling and dedicated tool [7] for making a cylindrical openings in blocks from Styrofoam. If we change a tool in the machine it can be used for making a packaging for other customers. With this dissertation the company has gained new procedure for making a small series products and has expanded a selection on field of making a packaging from Styrofoam.*

# KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	OPIS SPLOŠNEGA PODROČJA DIPLOMSKEGA DELA .....	1
1.2	OPREDELITEV DELA .....	1
1.3	STRUKTURA DIPLOMSKEGA DELA .....	2
<b>2</b>	<b>OSNOVE IZDELAVE STIROPORA.....</b>	<b>3</b>
2.1	SPLOŠNO O STIROPORU .....	3
2.2	POSTOPEK PROIZVODNJE STIROPORA .....	4
<b>3</b>	<b>TEORETIČNA IZHODIŠČA OBDELOVALNIH POSTOPKOV .....</b>	<b>8</b>
3.1	OSNOVE OBDELOVALNIH POSTOPKOV, KI SMO JIH UPORABILI ZA IZDELAVO STROJA.....	8
3.1.1	Struženje .....	8
3.1.2	Frezanje .....	14
3.1.3	Vrtanje .....	25
3.1.4	Elektroerozija.....	27
3.1.5	Rezanje navojev.....	34
3.1.6	Brušenje .....	36
3.2	OSNOVE ORODIJ ZA ODREZAVANJE .....	40
<b>4</b>	<b>ZASNOVA IN IZDELAVA STROJA .....</b>	<b>43</b>
4.1	ZASNOVA IN OBLIKA STROJA.....	43
4.2	IZDELAVA POGONKEGA DELA STROJA .....	43
4.3	IZDELAVA PODAJALNE NAPRAVE .....	45
4.4	IZDELAVA DRŽALA OBDELOVANCA.....	46
4.5	IZDELAVA FREZALA .....	47
4.5.1	Struženje .....	49
4.5.2	Frezanje .....	49
4.5.3	Vrtanje .....	50

4.5.4	Rezanje navojev.....	51
4.5.5	Elektroerozija.....	51
4.5.6	Brušenje.....	52
<b>5</b>	<b>REZULTATI IN DISKUSIJA.....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>SKLEP.....</b>	<b>58</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>59</b>



## KAZALO SLIK

Slika 2.1 Kontejner iz kartona .....	5
Slika 2.2 Predekspandor s sušilcem.....	5
Slika 2.3 Primerjava kroglic pred in po ekspanziji.....	6
Slika 2.4 Silosi za stabilizacijo materiala .....	6
Slika 2.5 Ekspanzijska komora.....	6
Slika 2.6 Bloki zloženi v skladišču.....	6
Slika 2.7 Struktura stiropora na površini bloka .....	7
Slika 2.8 Struktura stiropora v prerezu bloka .....	7
Slika 3.1 Vzдолžno struženje [1] .....	9
Slika 3.2 Prečno struženje [1].....	9
Slika 3.3 Stožčasto struženje [1].....	9
Slika 3.4 Oblikovno struženje [1].....	9
Slika 3.5 Univerzalna stružnica [1] .....	11
Slika 3.6 Držaji za stružne nože [1].....	12
Slika 3.7 Standardne izvedbe stružnih nožev s prilotanimi ploščicami iz karbidne trdine [1].	14
Slika 3.8 Nastajanje odrezkov pri frezanju [1] .....	15
Slika 3.9 Valjasto frezanje [1] .....	16
Slika 3.10 Čelno frezanje [1].....	16
Slika 3.11 Valjasto (obodno) frezanje [1] .....	16
Slika 3.12 Vrste valjastega (obodnega) frezanja [1].....	17
Slika 3.13 Čelno frezalo [1].....	17
Slika 3.14 Vrste čelnega frezanja [1] .....	18
Slika 3.15 Konzolni frezalni stroj [1] .....	19
Slika 3.16 Konzolni frezalni stroj - presek [1] .....	19

Slika 3.17 Naprava za indirektno deljenje [1] .....	20
Slika 3.18 Oblika zob pri frezalih [1] .....	22
Slika 3.19 Standardne oblike frezal [9] .....	23
Slika 3.20 Osnovne vrste vrtanja [1] .....	26
Slika 3.21 Hitrost na rezalnem robu pri svedru [1] .....	26
Slika 3.22 Navadni vijačni sveder [9] .....	27
Slika 3.23 Elektroerozijska obdelava [2].....	29
Slika 3.24 Razelektritev pri elektroerozijski obdelavi [2].....	30
Slika 3.25 Stroj za elektroerozijsko obdelavo [2] .....	33
Slika 3.26 Razdelitev rezov med tri svedre (I, II, III) [1].....	35
Slika 3.27 Ročni navojni sveder (za končno rezanje) [1].....	35
Slika 3.28 Usmeritev odrezkov pri strojnem rezanju navojev [1].....	36
Slika 3.29 Tvorba odrezkov pri obodnem brušenju [1].....	37
Slika 3.30 Obodno brušenje ravnih ploskev [1] .....	38
Slika 3.31 Zunanje in notranje zarezno okroglo brušenje [1].....	39
Slika 4.1 Skica sestave stroja.....	43
Slika 4.2 Elektromotor z jermenico .....	44
Slika 4.3 Jermenski prenos .....	44
Slika 4.4 Ohišje z ležaji .....	45
Slika 4.5 Drsne puše v ohišju .....	46
Slika 4.6 Držalo obdelovanca.....	47
Slika 4.7 Zgornji del embalaže .....	48
Slika 4.8 Spodnji del embalaže.....	48
Slika 4.9 Stružnica.....	49
Slika 4.10 Frezalni stroj.....	50

Slika 4.11 Ploščica.....	51
Slika 4.12 Priprava na brusilnem stroju.....	52
Slika 4.13 Brusilni stroj za okroglo brušenje .....	53
Slika 4.14 Frezalo za izdelavo zgornjih delov embalaže.....	53
Slika 4.15 Frezalo za izdelavo spodnjih delov embalaže .....	54
Slika 5.1 Stroj pripravljen za proizvodnjo.....	56
Slika 5.2 Embalaža v kartonski škatli.....	57

## **KAZALO TABEL**

Tabela 3.1 Smernice za izbiro rezalnih kotov pri frezalih [9] .....	24
Tabela 3.2 Polariteta elektrod za različne materiale orodja in obdelovanca [2].....	32
Tabela 3.3 Pregled postopkov odrezavanja [9] .....	41

## UPORABLJENI SIMBOLI

- $n$  – število vrtljajev ročice za eno delitev na obdelovancu
- $K$  – konstanta delilnika (prestavno razmerje polžnega prenosa)
- $\times_i$  – število delitev na obdelovancu
- $\alpha$  – prosti kot
- $\gamma$  – cepilni kot
- $\lambda$  – kot vijačnice
- $\lambda_a$  – aksialni cepilni kot
- $U_{ref}$  – referenčna vrednost napetosti
- $U$  – Napetost

## UPORABLJENE KRATICE

EPS	–	Ekspandirani polistiren
PS	–	Polistiren
CFC	–	Klorofluoroogljikovodiki (tudi feroni)
CNC	–	Computer numerical control
EDM	–	Electrical discharge Machining ali potopna elektroerozija
REDM	–	Ram Electrical Discharge Machining
PET	–	Polietilenterefta
PF	–	Fenolne smole
UF	–	Sečninske smole
PVC	–	Polivinilklorid
PUR	–	Poliuretanska smola
PE	–	Polietilen

# 1 UVOD

## 1.1 Opis splošnega področja diplomskega dela

V našem podjetju se med drugimi dejavnostmi ukvarjamo tudi z izdelavo embalaže iz stiropora za zaščito izdelkov med transportom od proizvodnega obrata do končnega uporabnika. V podjetju, s katerim sodeluje tudi naše podjetje, so dodali k ponudbi plastenk še dve dizajnerski kolekciji ročno pihanih stekleničk. Potrebovali so embalažo za dostavo steklenic do kupca.

V našem podjetju proizvodimo embalažo iz stiropora na dva načina. Najpogosteje uporabljena tehnologija je formiranje stiropornih kroglic v kalupu, ki ga je treba izdelati za vsako obliko izdelka posebej. Kalup izdelava orodjar po naročilu glede na omejitve stroja in velikost embalaže. Zaradi malih serij omenjenih steklenic je takšna embalaža odločno predraga glede na vrednost izdelka. Druga možnost izdelave embalaže je, da v naprej pripravljen surovec iz stiropora izdelamo ustrezno vdolbino s postopkom odrezavanja materiala. Predstavnikom podjetja smo predstavili obe možnosti. Ker je bila naša ponudba konkurenčna, smo dobili nalogo zasnovati in izdelati stroj za proizvodnjo namenske embalaže iz stiropora.

## 1.2 Opredelitev dela

Namen diplomskega dela je zasnovati in izdelati stroj s pripadajočim orodjem za izdelavo embalaže iz stiropora po naročnikovih željah. Stroj bo zasnovan tako, da bo možno z zamenjavo prijemala in namestitvijo drugega namenskega rezila orodja izdelati tudi druge podobne oblike embalaže iz stiropora za izdelke valjaste oblike.

Predpostavljamo, da bomo z zasnovo in izdelavo tega stroja omogočili izdelavo stiropornih embalaž tudi za izdelke, ki se izdelujejo v manjših serijah, saj je embalaža iz stiropora predraga glede na končno vrednost izdelka ali polizdelka, ki ga embalaža ščiti.

Najpomembnejša omejitev, ki smo jo postavili pri izdelavi stroja, je finančni vložek.

Embalažo iz stiropora bi bilo mogoče izdelati tudi v višji kakovosti, vendar razmeroma majhne serije izdelkov ne bi opravičevale vloženih sredstev.

Zaradi teh omejitev smo se odločili, da poiščemo optimalno rešitev glede razmerja vloženih sredstev in kakovosti embalaže.

### **1.3 Struktura diplomskega dela**

Diplomsko delo bo vsebovalo teoretični opis izdelave stiropora in pripravo surovcev iz stiropora za nadaljnjo obdelavo, osnove obdelav uporabljenih pri izdelavi rezilnega orodja in celoten postopek izdelave stroja. Ker se stiropor izdeluje v podjetju, ki je na isti lokaciji, bomo podrobneje opisali postopek proizvodnje in prednosti lastne proizvodnje, ki povečuje končno kakovost izdelka.

Osnove obdelovalnih postopkov, ki jih bomo podrobneje opisali v teoretičnem delu, so: struženje, frezanje, vrtanje, elektroerozija, brušenje in rezanje navojev. Naštete obdelovalne postopke smo namreč uporabili za izdelavo stroja za proizvodnjo embalaže iz stiropora.

V praktičnem delu diplomske naloge bomo podrobneje opisali, kako je potekala zasnova in izdelava stroja ter prikazali končni izdelek.

## 2 OSNOVE IZDELAVE STIROPORA

### 2.1 Splošno o stiroporu

Stiropor uvrščamo med penjene polimerne materiale. Penjene polimerne materiale pridobivamo s posebnimi tehnološkimi postopki, ki omogočajo penjenje v žilavo tekočem stanju. Za penjene polimere sta značilni zelo nizka gostota, ki znaša od 5–400 kg/m<sup>3</sup> in celična struktura. Celična struktura je lahko z odprtimi celicami, ki omogočajo neposreden prehod plinov in tekočin, ali z zaprtimi celicami, pri katerih je prehod plinov in tekočin mogoč samo z difuzijo [7].

Penjeni polimerni material je lahko krhek in trd ter se lomi, lahko je žilav in trd ter se pod pritiskom deloma trajno deformira, lahko pa je tudi mehko elastičen [7].

Krhko in trdo                      fenolne smole – PF, sečninske smole – UF,

Žilavo in trdo                      polistiren – PS

Mehko in elastično              polivinilklorid – PVC, poliuretanska smola – PUR, polietilen – PE [7]

STIROPOR – je sinonim za ekspanzirani polistiren. Ime »Styropor« je zaščitena blagovna znamka prvega proizvajalca ekspandiranega polistirena BASF, ki je proizvodnjo EPS-a patentiral leta 1950 [6].

Ekspanzirani polistiren (EPS) ali stiropor je trda pena z zaprto celično strukturo in predstavlja material z izjemnimi lastnostmi in neomejenimi možnostmi uporabe. Je sintetični produkt izdelan iz polimera polistirena t.j. ogljikovega stirena, ena izmed frakcij predelave nafte, snežno bele barve z zaprto celično strukturo majhnih celic z ovojem v obliki poliedra, polnjenega z zrakom. V stiroporu je kar 98 % plinov. Če ekspanzija poteka v omejenem prostoru (bloku ali kalupu), se kroglice medsebojno sprimejo, kar predstavlja veliko ekološko, tehnično in ekonomično prednost – v procesu izdelave niso potrebna nikakršna veziva ali lepila. Gostota penjenega stiropora znaša od 10–35 kg/m<sup>3</sup> in od nje so odvisne mnoge fizikalne, predvsem mehanske lastnosti, medtem ko sta kemijska odpornost in temperaturna obstojnost praktično neodvisni od gostote [5].



Celična struktura nudi stiroporu veliko mehansko trdnost kljub izredno majhni volumenski teži. Stiropor, neodvisno od lastne gostote, sam ne sprejema vlage iz okolice – z drugimi besedami, ni hidroskopičen [5]. EPS odlično duši udarni zvok v plavajočih podih, deloma pa tudi zvok, ki se širi po zraku in prehaja skozi stene [6]. Ne predstavlja hrane za organizme, ne podpira ali pospešuje rasti mikroorganizmov, ne gnije, ne propada in ne plesni. Postopek izdelave surovine, kot tudi predelava v končni izdelek, ni škodljiva okolju ali ozonski plasti in ne vsebuje plinov, kot so klorfluorogljikovodiki, CFC [3]. Ker je sestavljen le iz polimera polistirena, brez dodanih veziv, ga je možno v celoti reciklirati. Zaradi omenjenih lastnosti ima stiropor najpomembnejša področja uporabe v gradbeništvu in tudi pri embalaranju izdelkov (zrak je stisljiv in ima efekt kompenziranja udarcev) [5].

Izdelek je odporen na vodo in vlago – ob navzočnosti vode ali vlage ne popusti, torej se ne topi, kot je primer raztapljanja veziva pri mnogih drugih izolacijskih materialih. V primeru zmrzali ne spreminja svojih mehanskih lastnosti, je hidrofoben oziroma vodoodbojen.

Ne povzroča nobene nevarnosti zdravju (se ne drobi, ne vsebuje vlaken in ne škoduje dihalom), ne pika in ne bode, je dimenzijsko stabilen – ohranja stabilno obliko in ima izredno dolgo življenjsko dobo. V materialu se ne bodo razvile plesni, alge ali kakšne druge bakterije [5].

EPS je zgrajen iz polistirena (PS) in zraka, torej je zelo čist material. Na koncu njegove življenjske dobe ga lahko recikliramo na različne načine: iz njega lahko izdelamo surovino za nove izdelke (toplotne izolacije, ravnila, lončke za jogurt, ohišja televizorjev), uporabimo v gradbeništvu (granulat za pripravo lahkega betona), z njim rahljamo zemljo (dodatek substratom za gojenje rastlin), čisto na koncu pa ga lahko uporabimo kot gorivo v toplarnah [6].

## 2.2 Postopek proizvodnje stiropora

Stiropor kot osnovna surovina za embalažo v domačem podjetju izdelujemo sami. Potrebna surovina za proizvodnjo stiropora je polistiren z dodanim ekspanzijskim sredstvom (plin pentan). Oblika granulata so kroglice velikosti od 0,5 mm do 1 mm pakirane v kontejnerjih osmerokotne oblike, prikazanih na sliki 2.1 mase 1150 kg. Uporablja se surovina proizvajalca Sunpor iz Avstrije.

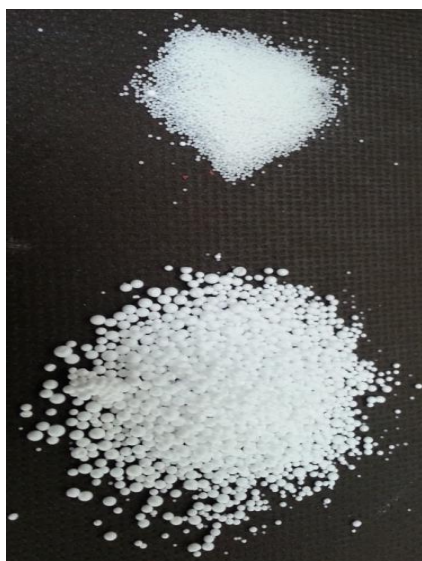


**Slika 2.1** Kontejner iz kartona



**Slika 2.2** Predekspandor s sušilcem

Prva faza proizvodnje je predekspanzija granulata v ekspanzijski posodi z mešalom. V predekspandor (slika 2.2) se material nadzorovano dozira preko vijačnega podajalnika. Skozi dno posode se vpihuje vodna para temperature 120 °C in minimalne vlažnosti. Zaradi povišane temperature se polistirenske kroglice zmehčajo in zaradi vmešanega plina ekspandirajo na premer 3-5 mm. Zaradi ekspanzije materiala se gladina kroglic v posodi dviga. Primerjavo kroglic pred in po ekspanziji lahko vidimo na sliki 2.3. Mešalo, ki se vrti, preprečuje sprijemanje mehkih kroglic med seboj in jih izvrže preko roba, ko se gladina dovolj dvigne. Kroglice nato potujejo po sušilnem kanalu do silosa (slika 2.4), kjer se v določenem časovnem intervalu stabilizirajo, in so primerne za naslednjo fazo proizvodnje.



**Slika 2.3** Primerjava kroglic pred in po ekspanziji



**Slika 2.4** Silosi za stabilizacijo materiala

Po stabilizaciji se kroglice s pomočjo vakuuma transportirajo do ekspanzijske komore, kjer se vrši druga faza ekspanziranja granulata. Ekspanzijska komora (slika 2.5) je v primerjavi s predekspanzorjem zaprta, kar volumensko omejuje razširitev kroglic. Ko so kroglice zaprte v komori, se le ta prepriha z vodno paro do določenega tlaka, ki povzroči ponovno ekspanzijo. Kroglice se zaradi zaprtega prostora ne morejo razširiti na večji premer, ampak se zlepijo med seboj. Komoro je potrebno ohladiti z vodo, da stabiliziramo formo zlepjenih kroglic v stiroporni blok. Po stabilizaciji se komora odpre in iz nje se izvrže stiroporni blok (slika 2.6).



**Slika 2.5** Ekspanzijska komora



**Slika 2.6** Bloki zloženi v skladišču

Bloke je treba pred naslednjo fazo obdelave pustiti starati v skladišču, da se dimenzijsko stabilizirajo in da iz njih izhlapi vlaga. Po določenem časovnem intervalu je dosežena dovolj nizka vlažnost materiala, da ga je možno razrezati na plošče različnih debelin. Na slikah 2.7 in 2.8 je prikazana primerjava sprijetih kroglic na površini in v prerezu bloka. Stiropor se reže z uporovno žico na pripravi za razrez blokov. Stiroporne plošče se pakirajo v PVC folijo ali se transportirajo v drug proizvodni obrat v končni razrez za stiroporno embalažo.



**Slika 2.7** Struktura stiropora na površini bloka



**Slika 2.8** Struktura stiropora v prerezu bloka

### **3 TEORETIČNA IZHODIŠČA OBDELOVALNIH POSTOPKOV**

#### **3.1 Osnove obdelovalnih postopkov, ki smo jih uporabili za izdelavo stroja**

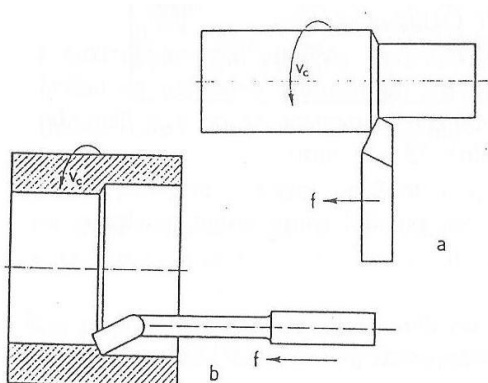
Pri izdelavi stroja oziroma končnega izdelka si lahko pomagamo s številnimi obdelovalnimi postopki. Za izdelavo stroja za proizvodnjo embalaže iz stiropora bomo uporabili naslednje postopke: struženje, frezanje, vrtanje, elektroerozijo, brušenje in rezanje navojev. Ker so ti postopki za izdelavo našega stroja ključnega pomena, bomo vsakega posebej opisali.

##### 3.1.1 Struženje

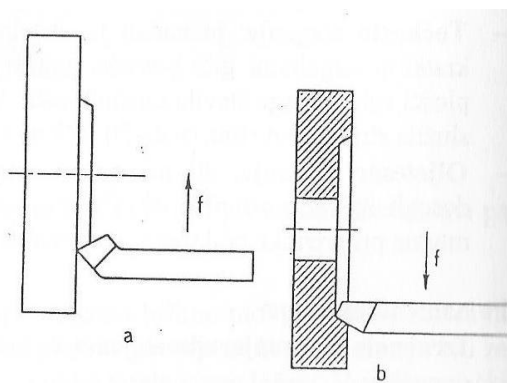
Struženje je postopek obdelave z odrezavanjem, ki se uporablja v glavnem za izdelavo valjastih predmetov, čeprav je mogoče obdelovati tudi ravne površine. Novejši postopki omogočajo tudi izdelavo predmetov z drugačnimi oblikami, ki pa morajo biti vsaj v osnovi rotacijska telesa. Od vseh postopkov odrezavanja se v sodobni proizvodnji struženje največ uporablja, zato je postopek teoretično in praktično tudi najbolj dognan [1].

Pri struženju opravlja obdelovanec glavno krožno gibanje, podajanje in druga pomožna gibanja, kot sta nastavljanje globine rezanja in nastavljanje noža za izdelavo posebnih oblik, pa opravlja orodje [1].

Struženje lahko delimo glede na to, v kateri smeri pretežno poteka podajalno gibanje na vzdolžno (slika 3.1) in prečno (slika 3.2). Pri vzdolžnem struženju se giblje nož vzporedno z osjo obdelovalca, pri prečnem struženju pa pravokotno na njegovo os [1].



Slika 3.1 Vzдолžno struženje [1]

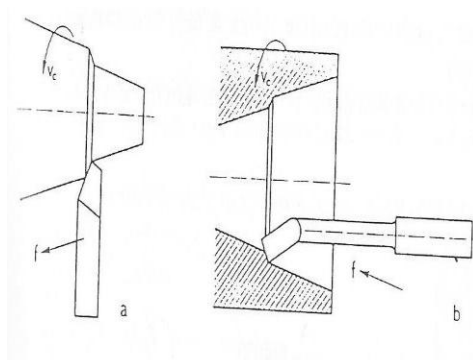


Slika 3.2 Prečno struženje [1]

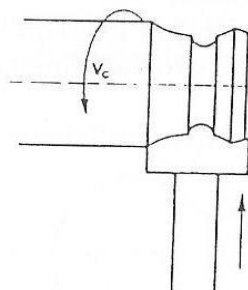
Prečno podajalno gibanje je lahko usmerjeno od večjega premera proti osi (slika 3.2 a) ali tudi od manjšega premera navzven (slika 3.2 b). Če v sredini obdelovanca ni luknje, mora biti v prvem primeru prečno gibanje tako usmerjeno, da na koncu pride vrh orodja natančno v sredino obdelovanca [1].

Večina običajnih stružnic ima poseben križni suport, ki ga je mogoče zasukati pod poljubnim kotom proti osi stroja, in tako dobiti gibanje orodja v poševni smeri. Ta način je zato primeren za struženje stožcev (slika 3.3) [1].

Poljubno rotacijsko obliko je mogoče dobiti pri krajših obdelovancih tudi s posebno obliko prečnega struženja, pri kateri ima orodje rezalni rob ustrezne oblike (slika 3.4). Takšno delo imenujemo oblikovno ali profilno struženje [1].



Slika 3.3 Stožčasto struženje [1]



Slika 3.4 Oblikovno struženje [1]

## VRSTE STRUŽNIC

Stružnice so najstarejši obdelovalni stroji, ki jih še danes največ uporabljajo, tako da skoraj ni delavnice brez tega obdelovalnega stroja. Glede na namen in uporabnost je stružnic več vrst [1].

Glede na glavne dele in njihovo razmestitev razlikujemo predvsem naslednje osnovne vrste stružnic [1]:

1. univerzalne,
2. čelne,
3. karuselne,
4. revolverске.

Iz navedenih osnovnih oblik pa so se razvile še različne posebne stružnice, kot na primer [1]:

5. kopirne in podstružilne stružnice in
6. avtomatske stružnice.

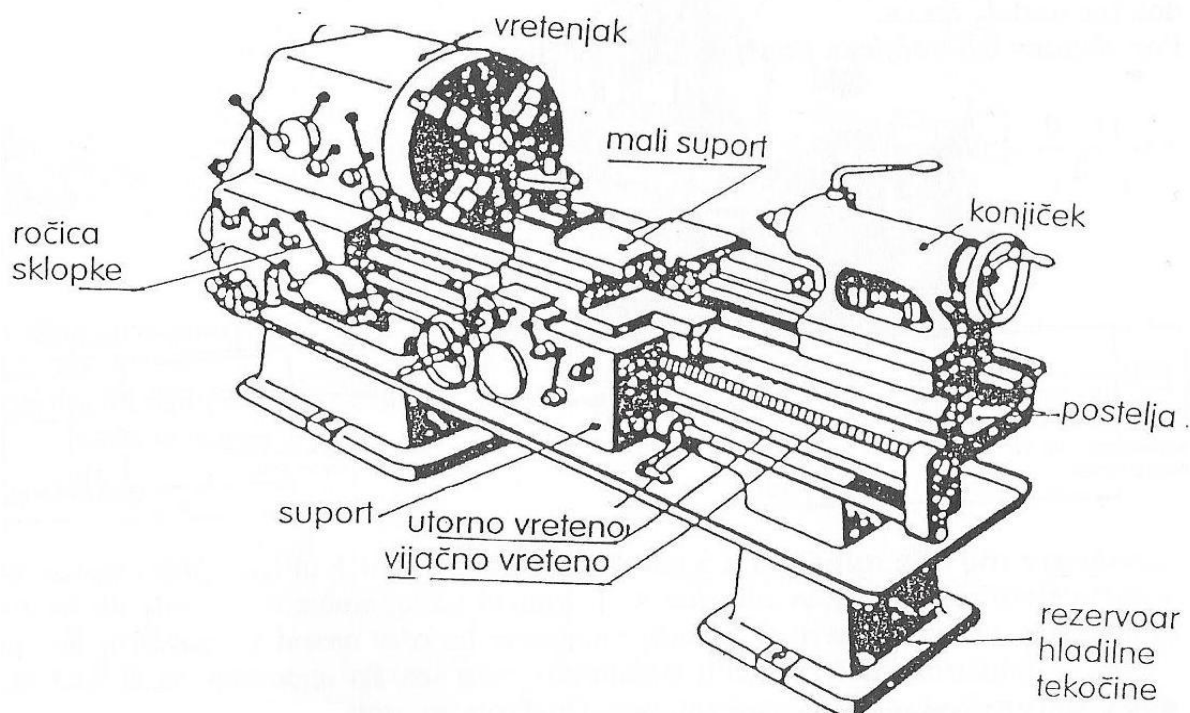
Za izdelek v diplomski nalogi bomo uporabili univerzalno stružnico, zato jo bomo podrobno opisali.

## UNIVERZALNE STRUŽNICE

Po razvoju je to najstarejši obdelovalni stroj – najdemo ga najpogosteje zastopanega po delavnicah. Univerzalne stružnice (slika 3.5) uporabljamo praviloma za posamično obdelavo, kakor tudi za obdelavo majhnih serij. Primerne so za vzdrževalne in podobne manjše delavnice, pa tudi povsod tam, kjer potrebujemo stroje, ki naj bodo kolikor je mogoče vsestranski. Na univerzalni stružnici lahko stružimo vzdolžno, prečno, stružimo lahko tudi vzdolžne in stožčaste navoje. Arhimedove spirale, nadalje lahko vrtamo, grezimo, povrtavamo, režemo navoje z navojnimi svedri in čeljustmi, ročno poliramo in pilimo. Dodatni pripomočki omogočajo še struženje krogle, kopiranje in brušenje [1].

Glavni deli univerzalne stružnice so [1]:

1. postelja,
2. vretenjak,
3. podajalni menjalnik,
4. sani s suporti,
5. konjiček,
6. lineta.



**Slika 3.5 Univerzalna stružnica [1]**

Od drugih vrst stružnic se univerzalne stružnice razlikujejo po tem, da imajo ločen poseben mehanizem za vzdolžno in prečno podajanje s pomočjo utornega vretena in poseben mehanizem za rezanje navoja s profilnimi orodji, pri katerem sta najvažnejša vodilno vreteno in dvodelna matica. Pogosto zato to stružnico imenujemo tudi stružnica z vodilnim in utornim vretenom [1].



## STANDARDNA ORODJA ZA STRUŽENJE

Vsa orodja za struženje – navadno jim rečemo stružni noži – so enorezilna. Sestavljena so iz [1]:

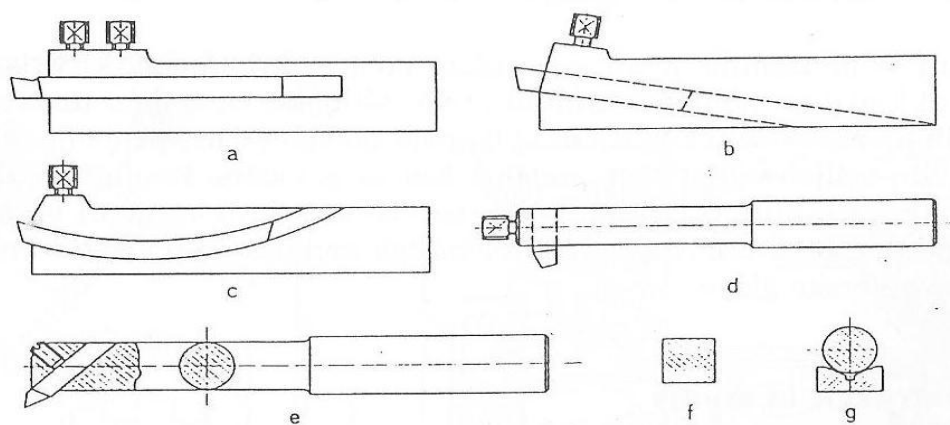
- rezila, na katerem poteka proces odrezavanja, in
- držaja, s katerim so pritrjena na stroj.

Rezilo in držaj sta lahko v celem, neločljivo povezana, ali sestavljena, pri neločljivo povezanih orodjih sta oba, rezilo in držaj, izdelana iz rezalnega materiala, ali pa je rezilo na držaj prilotano ali privarjeno. Pri sestavljenih izvedbah je rezilo mehanično pritrjeno na držaj in ga je mogoče zamenjati.

Rezilo mora biti iz rezalnega materiala.

Dokler je bilo še v rabi orodno jeklo, so bila orodja za struženje izdelana v celem iz tega materiala; primerno obliko rezila so dobili s kovanjem.

Slika 3.6 kaže držaje za struženje. Vpenjalni del ima kvadraten ali pravokoten prerez [1].



**Slika 3.6 Držaji za stružne nože [1]**

Stružni noži, ki imajo rezilo iz hitroreznega jekla, ki je na držaj iz kakovostnega konstrukcijskega jekla privarjeno ali prilotano, komaj še prihajajo v poštev [1].

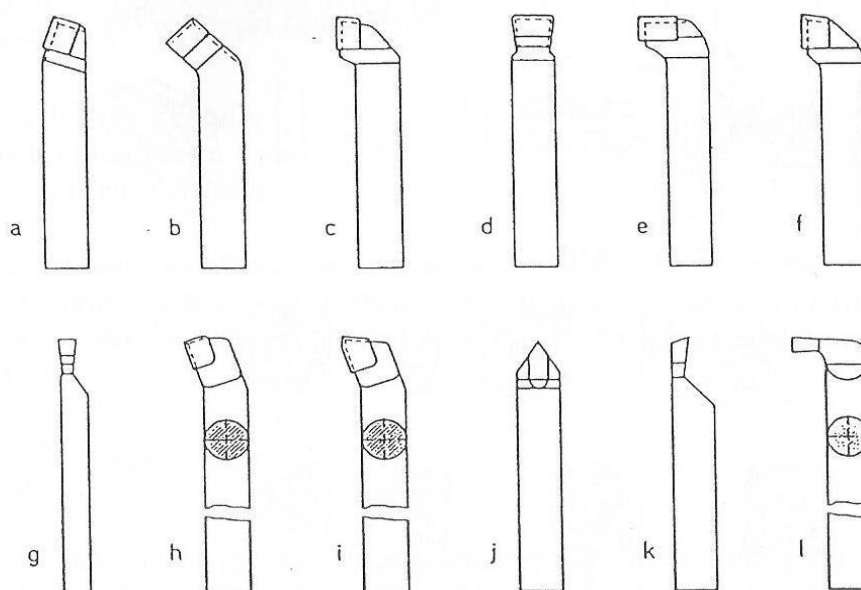
Osnovne oblike stružnih nožev s hitroreznim rezilom so standardizirane. Oblike so podobne onim pri stružnih nožih s prilotanimi ploščicami iz karbidnih trdin [1].

Še vedno so v rabi stružni noži z rezilom iz karbidne trdine, ki je trdo prilotano na držaj, vendar pa so jih že zelo izpodrinila orodja z mehanično pritrjenimi, izmenljivimi rezili [1].

Standardne izvedbe stružnih nožev s prilotanimi ploščicami iz karbidnih trdin kaže slika 3.7. S temi oblikami je mogoče opraviti večino del, ki prihajajo v poštev pri struženju; le v nekaj izjemnih primerih so potrebne druge oblike, ki jih je treba izdelati posebej [1].

Pri stružnih nožih razlikujemo med desnimi in levimi noži. Desni nož je tisti, ki pri vzdolžnem struženju in normalni smeri vrtenja na stružnici pusti na obdelovancu sled v obliki desne vijačnice (ali če pogledamo od konice proti držaju, je rezilo na desni strani) [1].

Običajno potrebujemo samo desne nože, levi prihajajo v poštev le pri nekaterih posebnih delih in pri strojih z obrnjeno smerjo vrtenja [1].



**Slika 3.7 Standardne izvedbe stružnih nožev s prilotanimi ploščicami iz karbidne trdine [1]**

a – ravni nož za grobo obdelavo, b - zakrivljeni nož za grobo obdelavo, c – zakrivljeni nož za končno obdelavo, d – ravni nož za končno obdelavo, e- čelni nož za končno obdelavo, f – nož za bočno obdelavo, g – nož za zarezovanje in odrezovanje, h – nož za struženje prehodnih izvrtin, i – nož za struženje slepih izvrtin, j – ravni koničasti nož, k – nož za odrezovanje na avtomatih, l – nož za notranje zarezovanje.

### 3.1.2 Frezanje

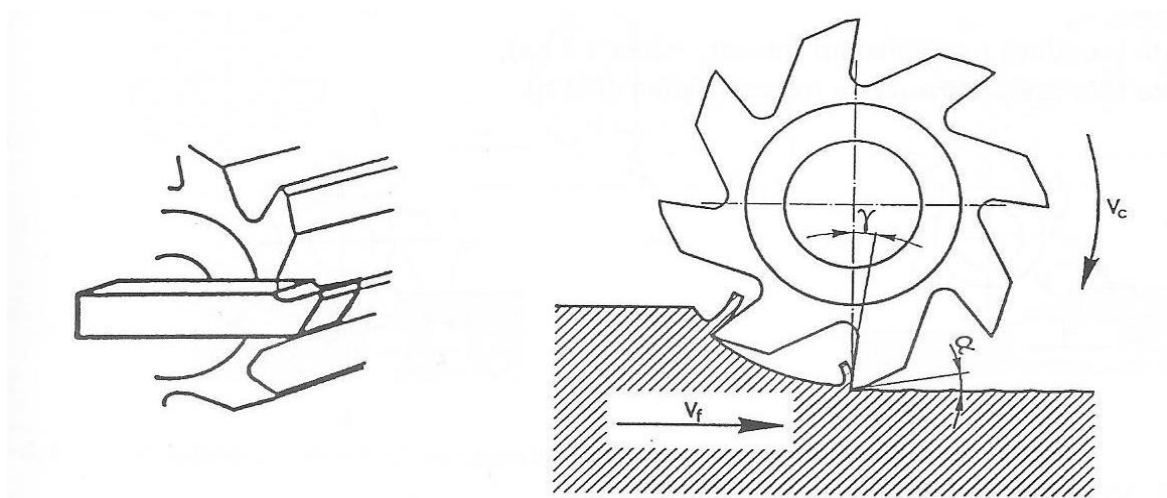
#### SPLOŠNO O FREZANJU

- Frezanje (včasih imenujemo tudi »rezkanje«) spada med nekontinuirane večrezilne postopke; pri tem reže samo del rezil frezala in še na teh rezilih je prerez odrezka različen; vsak začetek (ali izstop) rezanja posameznega rezila na frezalu je udarec, kar povzroča dinamične obremenitve in vibracije.
- Prekinjeni rez je značilnost frezanja.
- Frezanje je postopek odrezavanja, pri katerem opravlja orodje (frezalo) glavno gibanje (vrtilno); podajalna gibanja pa so izvedena zelo različno (večinoma izvajajo podajalno gibanje obdelovanec).

- Po pomembnosti je freziranje na drugem mestu (več kot 25 % vseh obdelav) med postopki odrezavanja, takoj za struženjem [1].

## NAČINI FREZANJA

Rezalna kota ( $\alpha, \gamma$ ) na ostrini zoba frezala sta enaka kot pri stružnem nožu, vendar je tvorba odrezkov pri frezanju nekoliko drugačna kot pri struženju – slika 3.8. Pri frezanju opravlja glavno gibanje, ki je vrtilno, vedno samo orodje [1].



**Slika 3.8 Nastajanje odrezkov pri frezanju [1]**

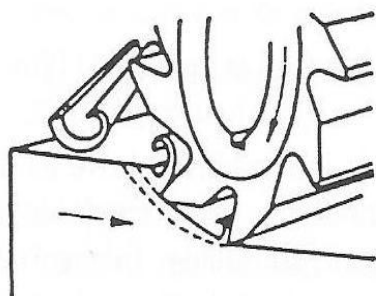
Orodje za freziranje (frezalo) ima po obodu večje število rezil, od katerih se med delom samo manjše število dotika obdelovanca na prijemni (rezilni) poti. Večji del enega vrtljaja orodja posameznega rezila (ali zobje) ne režejo [1].

Debelina odrezka se na prijemni (rezalni) poti spreminja. S tem se spreminjajo tudi sile na posameznih rezilih [1].

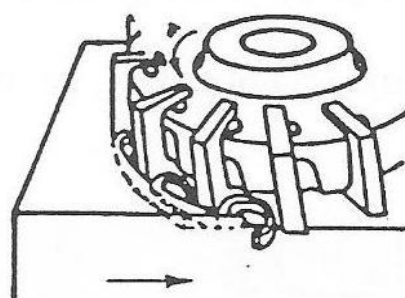
Pri frezanju sta medsebojno povezani dve gibanji [1]:

- vrtilno gibanje frezala, ki ga smatramo kot glavno gibanje – rezalna hitrost,
- premočrtno gibanje obdelovanca kot podajalno gibanje – včasih je povezanih več premočrtnih gibanj obdelovanca v dveh ali treh oseh, ki tvorijo krivuljo in omogočajo tro dimenzionalno obdelavo.

V osnovi poznamo dva načina freziranja: *valjasto* (slika 3.9) in *čelno* freziranje (slika 3.10) [1].

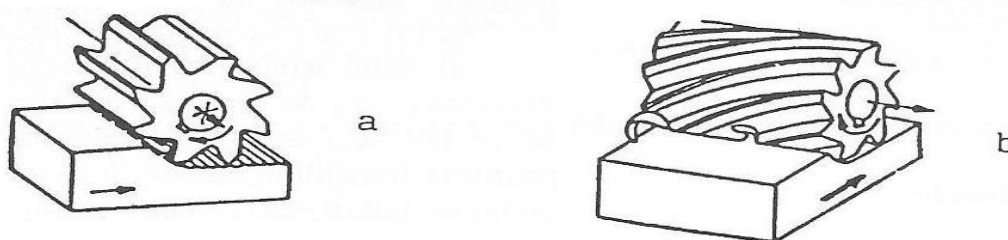


Slika 3.9 Valjasto freziranje [1]



Slika 3.10 Čelno freziranje [1]

*Valjasto* (obodno) je tisto freziranje, ki ima frezalo rezila (zobe) na obodu [1]:

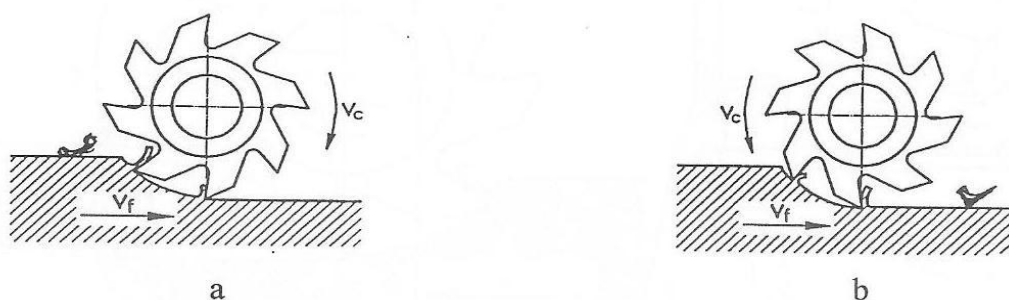


Slika 3.11 Valjasto (obodno) freziranje [1]

- Na valjasto (obodno) frezalo z ravnimi rezili na obodu ne delujejo aksialne sile (Slika 3.11.a)
- Na valjasto frezalo s poševnimi zobmi (kar zmanjšuje oz. preprečuje nastanek udarcev pri vstopu oz. izstopu rezila v odrezovalni postopek) pa deluje tudi aksialna sila (slika 3.11.b)

Razlikujemo:

- valjasto (obodno) *protismerno* freziranje (slika 3.12.a),
- valjasto (obodno) *istosmerno* freziranje (slika 3.12.b).

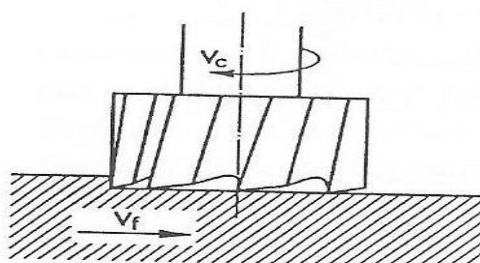


**Slika 3.12 Vrste valjastega (obodnega) frezanja [1]**

*Protismerno* frezanje je starejši postopek, kvaliteta obdelave je slabša in vzdržljivost frezala manjša. Frezalo začne rez na tanjšem koncu odrezka (strga) in ga končuje na debelejšem koncu. Odrezki se nabirajo pred frezalom. Frezalni trn je manj obremenjen in frezalo odriva obdelovanec proti smeri podajanja. Stroj je lahko manj togo grajen in tudi zračnost med vodili in v navojni matici ni tako škodljiva. Protismerno frezanje se uporablja pri frezanju debelejših materialov in obdelovancev s trdo površino (npr. odkovki in ulitki) [1].

*Istosmerno* frezanje je boljši postopek, daje bolj gladko površino in vzdržljivost frezala je boljša, ker frezalo vrezuje na polno (vendar tanjše) in se odrezek proti koncu reza tanjša. Odrezki ostajajo za frezalom. Frezalni trn je zelo obremenjen in frezalo skuša potegniti obdelovanec pod sebe, kar lahko povzroči poškodbe stroja, orodja in obdelovanca. Zato mora biti stroj zelo togo grajen in miza vodena brez zračnosti v vodilih in v navojni matici. Uporabljamo ga pri frezanju tankih obdelovancev pri končni obdelavi [1].

*Čelno* frezanje imamo takrat, ko je os frezala pravokotna na obdelovalno površino (slika 3.13) [1].

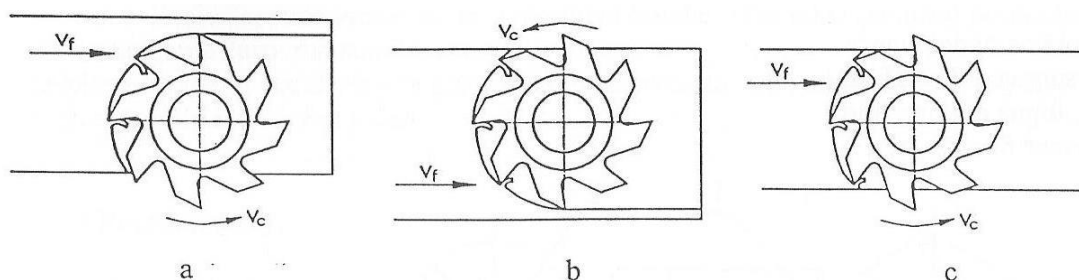


**Slika 3.13 Čelno frezalo [1]**

Čelno frezalo ima rezalne robove na obodu in tudi na čelni strani. Kljub rezalnim robovom na čelni strani pri čelnem (planem) frezanju režejo samo rezalni robovi na obodu. Rezalni robovi na čelni strani lahko kvečjemu zglajujejo obdelano površino, če je zaradi lepljenja odrezkov na cepilno ploskev celo ne kvarijo. Pri tem razumemo kot rezalne robove na čelni strani samo robove, ki ležijo v ravnini, pravokotni na os frezala. Rezalni robovi, ki ležijo na stožčastih ploskvah, na primer pri profilnih frezalih in nekaterih frezalnih glavah, po tej definiciji niso na čelni strani [1].

Čelno frezanje je lahko [1]:

- protismerno ali pretežno protismerno (slika 3.14.a),
- istosmerno ali pretežno istosmerno (slika 3.14.b),
- simetrično (slika 3.14.c).



**Slika 3.14 Vrste čelnega frezanja [1]**

## VRSTE FREZALNIH STROJEV

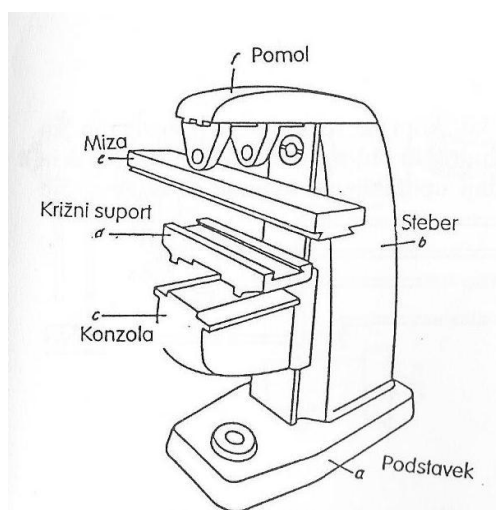
- Glede na način gradnje in uporabe poznamo [1]:
  - konzolne frezalne stroje,
  - posteljne frezalne stroje,
  - kopirne frezalne stroje.
- Glede na lego glavnega vretena pa so:
  - vodoravni frezalni stroji,
  - navpični frezalni stroji.

Frezalni stroji so uporabni predvsem za frezanje, lahko pa na njih izvajamo tudi na primer vrtanje, grezenje, povrtavanje. Glavno gibanje (vrtenje) izvaja običajno orodje (frezalo, sveder), podajalna in premična gibanja pa izvaja miza, na kateri je vpet obdelovanec. Največ dodatnih naprav (npr. vpenjalne priprave, delilne naprave, ...) se uporablja na frezalnih strojih [1].

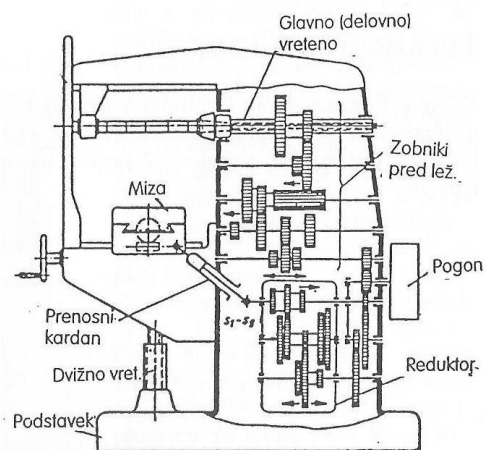
Za izdelavo stroja za proizvodnjo embalaže iz stiropora bomo uporabili konzolni frezalni stroj, zato ga bomo podrobneje opisali.

### KONZOLNI FREZALNI STROJI

Ime je dobil po konzoli »c« (Slika 3.15). Ti frezalni stroji so zelo univerzalni in prilagodljivi za najrazličnejše zahteve frezanja. Strega je lahko popolnoma ročna, polavtomatizirana ali čisto avtomatizirana, t.j. programirana [1]. Presek konzolnega frezalnega stroja, lahko vidimo na sliki 3.16.



**Slika 3.15 Konzolni frezalni stroj [1]**



**Slika 3.16 Konzolni frezalni stroj - presek [1]**

### DELILNE NAPRAVE



Pri frezanju žlebov, utorov in medzobij na žlebastih gredeh, delilnih ploščah, frezalnih glavah, zobnikih ipd. moramo obdelovanec vpeti v delilne naprave na mizah frezalnih strojev [1].

Poznamo direktno, indirektno in diferencialno deljenje. Za izdelavo stroja smo uporabili napravo za indirektno deljenje, zato jo bomo podrobneje opisali.

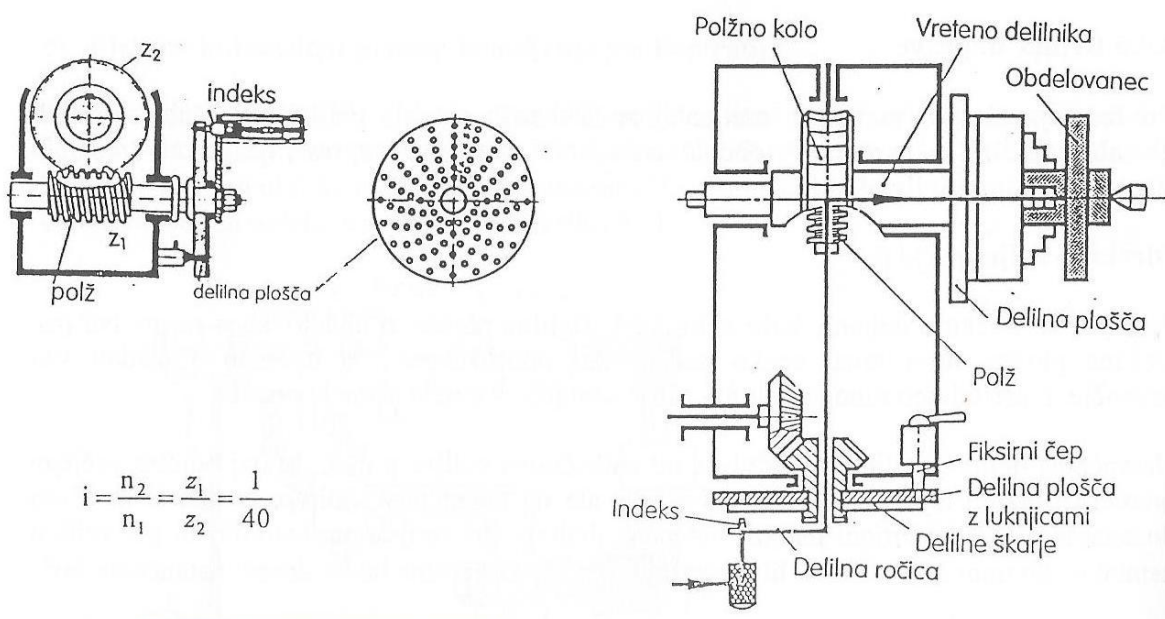
## INDIREKTNO DELJENJE

Delilna naprava za indirektno deljenje je nekoliko dražja in zahtevnejša kot delilna naprava za direktno deljenje, vendar se izognemo velikemu številu delilnih plošč. To deljenje je mnogo bolj univerzalno. Slika 3.17 shematično kaže tako napravo in delilno ploščo [1].

Običajno uporabljamo tri delilne plošče. Vsaka plošča ima po 6 krogov delilnih izvrtin (z enako kotno delitvijo na posameznem krogu) [1]:

1. plošča: 15, 16, 17, 18, 19, 20,
2. plošča: 21, 23, 27, 29, 31, 33,
3. plošča: 37, 39, 41, 43, 47, 49.

V te izvrtine vprijetima poseben indeks, ki je na ročici, ki ji lahko spreminjamo polmer. Škarje rabijo samo temu, da ni treba vedno šteti luknjic [1].



Slika 3.17 Naprava za indirektno deljenje [1]

Med delilno ročico in glavnim vretenom delilne naprave je še polžni prenos  $i = 1 : 40$  (redkeje  $1 : 60$  ali  $1 : 80$ ), zato je  $K = 40$  (redkeje  $60,80$ );

S pomočjo te delilne naprave lahko opravljamo vse delitve od 2 do 50, nad 50 pa le tiste, ki so mnogokotniki števil 2 do 50 [1].

Osnovna enačba za nastavljanje delilnika je [1]:

$$n = \frac{K}{\times i} \quad [3.1]$$

$n$  – število vrtljajev ročice za eno delitev na obdelovancu,

$K$  – konstantna delilnika – prestavno razmerje polžnega prenosa,

$\times i$  – število delitev na obdelancu.

## ORODJA ZA FREZANJE

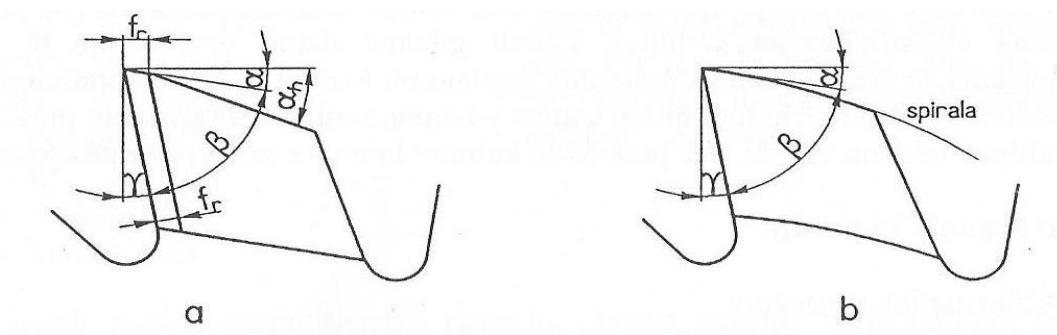
Frezala so lahko iz orodnega ali iz hitroreznega jekla. Pri frezalnih glavah prav tako pogosto uporabljamo karbidne trdine. Tu so namreč rezalne hitrosti lahko že dovolj velike. Izdelava frezal je zelo zahtevno delo. Poznamo frezana in podstružena frezala. Pri kaljenju se frezalo zelo rado izkrivi, ker je že oblika sama taka, da k temu nagiba. Če frezalo ne teče centrično, so ene ostrine bolj obremenjene kot druge, obraba je neenakomerna, kvaliteta površine je slabša in stroj med obdelavo trese [1].

Večinoma uporabljamo za frezanje standardna frezala; posebne izvedbe prihajajo v poštev praktično samo pri profilnih frezalih z individualno izbranimi profili. Kot standardna frezala lahko smatramo tudi izvedbe, ki jih serijsko izdelujejo specializirane tovarne, in jih imajo stalno na zalogi, niso pa zajete v uradnih standardih [1].

Rezila frezal so lahko [1]:

- frezana na vseh ploskvah in brušena na ploskvah, ki tvorijo rezalne robove (slika 3.18.a),
- podstružena ali podbrušena na prosti ploskvi in brušena na cepilni ploskvi (slika 3.18.b),

- vstavljena neposredno kot obračalne ploščice ali kot noži s prilotanimi ploščicami.



**Slika 3.18 Oblika zob pri frezalih [1]**

Frezano rezilo na prosti ploskvi je prikazano na sliki 3.18. a.

Slika 3.18. b kaže podstružen zob. Celotna prosta ploskev je zavita v obliki spirale. Prosti kot je potem kot med tangento na obod frezala in tangento na spiralo. Teoretično idealna bi bila logaritmična spirala. Če bi pri ostrenju obrusili del cepilne ploskve, bi se prosti kot ne spremenil.

Zaradi lažje izdelave ima vseeno večina frezal proste ploskve rezil podstružene v obliki Arhimedove spirale. Sprememba prostega kota  $\alpha$ , do katere pride pri ostrenju te oblike, pa je zanemarljivo majhna [1].

Če je potrebna velika natančnost profila po ostrenju na cepilni ploskvi, mora biti prosta ploskev podbrušena [1].

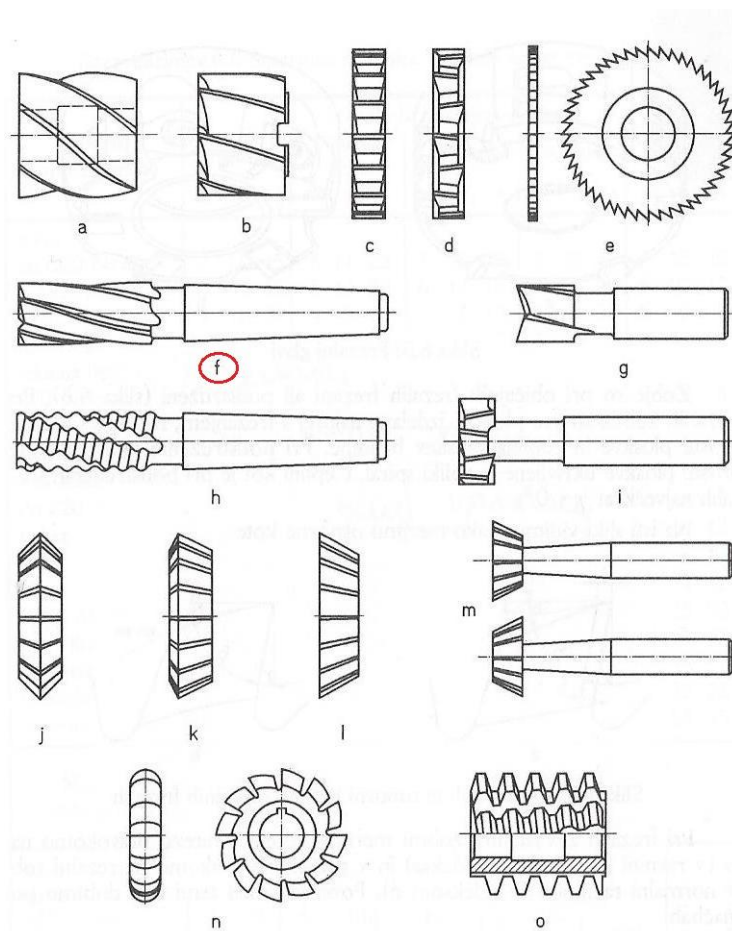
Pri izdelavi orodja za rezkanje smo uporabili steblasto frezalo.

Kot smo že omenili, za frezanje uporabljamo večinoma standardna frezala. Glavne izvedbe so prikazane na sliki 3.19 [9].

Valjasto čelno frezalo b in steblasto frezalo f uporabljamo za obodno ali čelno frezanje, frezalo g za frezanje utorov, vsa druga frezala pa samo za obodno frezanje [9].

Rezila (zobje) standardnih frezal so lahko [9]:

- ravna (slika 3.19 c, e, j, k, l, m),
- vijačna (slika 3.19 a, b, f, g, h), ali
- križna (slika 3.19 d, i).



**Slika 3.19 Standardne oblike frezal [9]**

a – valjasto frezalo, b – valjasto čelno frezalo, c – kolutno frezalo, d – kolutno frezalo s križnimi zobmi, e – krožna žaga, f – steblasto frezalo, g – dvorezilno frezalo za utorje, h – steblasto frezalo za grobo obodno frezanje, i – frezalo za utorje v obliki črke T, j – simetrično, k – nesimetrično, l – enostransko kotno frezalo, m – steblasto frezalo za utorje v obliki lastovičjega repa in prizmatičnih utorov, n – profilno konveksno frezalo, o – kotalno frezalo

Kote pri frezalnih glavah merimo v ravnini klina, v radialni ravnini (pravokotno na os orodja – označeni so z indeksom  $r$ ) in v aksialni ravnini (v prerezu, vzporedno z osjo – označeni so z indeksom  $a$ ) [9].

Ker so skoraj vsa orodja za frezanje standardizirana, podatke o rezalnih kotih le redko potrebujemo. Nekaj izkustvenih vrednosti je zbranih v tabeli številka 3.1.

**Tabela 3.1 Smernice za izbiro rezalnih kotov pri frezalih [9]** $\alpha$  – prosti kot,  $\gamma$  – cepilni kot,  $\lambda$  – kot vijačnice,  $\lambda_a$  – aksialni cepilni kot

Material obdelovanca	Frezalo iz hitroreznega jekla														
	Valjasto			valjasto čelno			kolutno			steblasto			frezalna glava		
	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$
Jeklo															
do 600 N/mm <sup>2</sup>	7	17	45	6	14	22	7	15	20	8	15	35	7	15	15
600 – 850	6	13	42	5	11	20	6	12	15	7	10	25	6	10	12
850 - 1100	5	11	37	4	9	18	5	8	10	6	6	20	5	6	7
nad 1100	3	8	32	3	6	18	3	6	10	3	6	15	3	6	8
jeklena litina															
450 N/mm <sup>2</sup>	4	12	40	5	10	20	5	10	20	6	10	30	5	10	8
temprana litina	4	15	42	5	12	20	5	12	20	6	12	30	5	12	12
trda litina	4	8	30	3	6	10	3	6	10	4	8	15	3	5	5
siva litina															
do 220 N/mm <sup>2</sup>	6	12	40	6	12	20	6	12	15	7	12	30	6	12	12
Baker	6	20	40	6	15	25	6	15	20	6	12	45	6	20	12
Med	6	15	40	6	12	20	6	15	20	6	12	35	6	8	12
Bron	5	12	40	5	12	20	6	12	15	6	10	30	6	14	12
Al in Al zlitine	8	25	50	8	25	35	8	25	35	9	25	40	8	25	20
Mg zlitine	8	25	50	8	25	40	8	25	30	9	25	40	8	30	25
pertinaks in	8	25	45	8	25	35	8	22	35	9	20	40	8	22	20
tekstolit															
Umetne snovi	8	15	35	8	20	25	8	15	30	8	15	30	8	15	15
Material obdelovanca	Frezalo iz karbidne trdine														
	valjasto, valjasto čelno						Kolutno								
	$\alpha$	$\gamma$	$\lambda, \gamma_a$				A	$\gamma$	$\lambda$						
Jeklo															
do 600 N/mm <sup>2</sup>	14 - 16	0 - 5	-5				18 - 20	0 - 5	0 - 5						
600 – 850	12 - 14	(-5) - (-10)	-10				18 - 20	-5	0 - 5						
850 – 1100	10 - 12	-10	(-15) - (-20)				18 - 20	-10	0 - 5						
siva litina	16 - 18	3 - 7	7 - 8				18 - 20	0 - 5	0 - 5						
Med	12 - 15	5	3 - 15				18 - 20	5 - 10	0 - 5						
Bron	12 - 15	3	3 - 15				18 - 20	5 - 10	0 - 5						
A in Al zlitine	12 - 15	7 - 15	10 - 20				18 - 20	5 - 10	0 - 5						

### 3.1.3 Vrtanje

#### SPLOŠNO O POSTOPKIH ZA OBDELAVO IZVRTIN

Velika večina za izdelavo in nadaljnjo obdelavo izvrtin so večrezilni postopki (sveder ima 2 rezili), pri čemer so vsa rezila na orodju enaka in se na vseh sočasno tvori enak odrezek.

Le izjemoma so nekateri od teh postopkov tudi enorezilni (nekateri svedri za vrtanje) [1]:

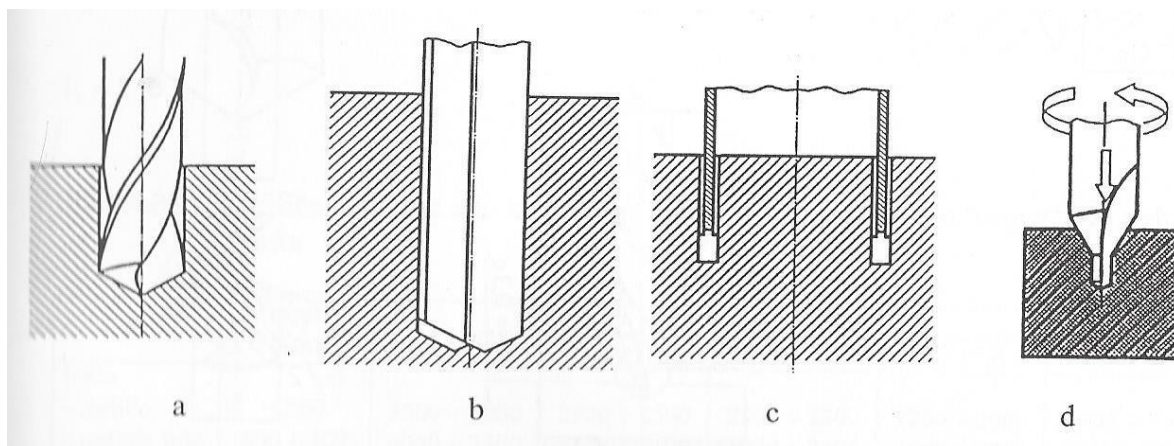
- **Vrtanje** je postopek, s katerim izdelamo izvrtino, in sicer v polni material.
- **Grezenje** je širjenje že obstoječe izvrtine (ki je bila tako dobljena z litjem, kovanjem, ...).
- **Povrtavanje** je zelo fino grezenje, ki po natančnosti oblike in po kakovosti površine že spada med fine obdelave.

#### VRTANJE

Glavni element pri vrtanju je orodje in delovanje svedra lahko ponazorimo kot sestavljanje dveh stružnih nožev, ki izvajata vrtilno gibanje [1].

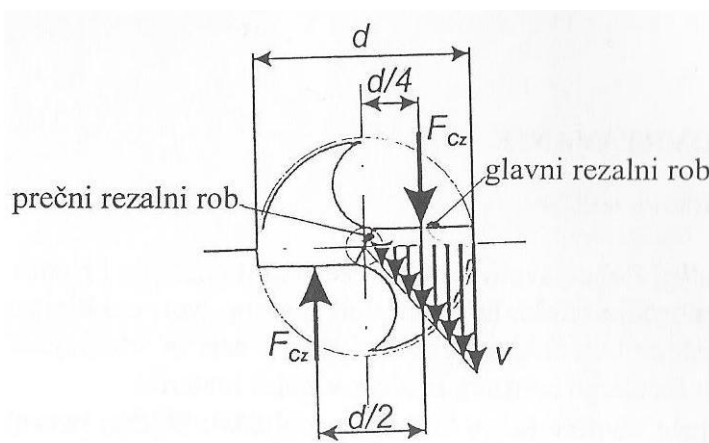
Med postopki vrtanja ločimo (Slika 3.20) [1]:

- a) navadno vrtanje (vrtanje v polno) – sveder ima dve simetrični glavni rezili,
- b) globoko vrtanje (za zelo dolge izvrtine – votla vretena, topovske cevi, ...),
- c) vrtanje z jedrom – režemo na ozkem zunanjem pasu izvrtine,
- d) profilno vrtanje v polno (zasredilni sveder).



**Slika 3.20 Osnovne vrste vrtnja [1]**

Vso efektivno vrtnje opravita glavna rezalna roba b – prečni rezalni rob pa premosti notranji del svedra med glavnima rezalnima robovoma in ima zelo neugodne rezalne pogoje. Rezalna hitrost na sredini svedra je 0, na celotnem prečnem rezalnem robu pa je nizka, zato je v področju rezalnega roba več tlačjenja kot rezanja (slika 3.21) [1].



**Slika 3.21 Hitrost na rezalnem robu pri svedru [1]**

## VRTALNI STROJI

Za hitro in gospodarno izdelavo izvrtine se uporabljajo [1]:

- **ročni** vrtalni stroji (so prenosni):
  - za manjše izvrtine in pri montažnih delih,

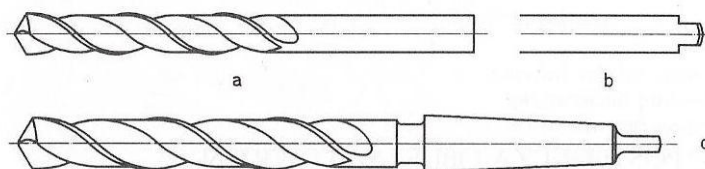
– če so ti stroji vpeti v posebna stojala, lahko dosežemo nekoliko boljše kvaliteto obdelave in boljše vodenje (usmerjenost).

• **nepomični** vrtalni stroji:

- glavni pogon je običajno izveden preko brezstopenjskega menjalnika, na katerega je vezano tudi podajanje,
- najpomembnejši predstavniki teh strojev so:
  - namizni vrtalni stroji,
  - steborni vrtalni stroji in vrtalni stroji s stojalom,
  - pomolni (radialni) vrtalni stroji,
  - koordinatni vrtalni stroji,
  - vodoravni vrtalni stroji,
  - vodoravni vrtalni in frezalni stroji.

Naštete vrtalne stroje pri našem delu nismo uporabili, saj se je vrtnanje vršilo na frezalnem stroju z montiranim delilnikom.

Za vrtnanje največ uporabljamo navadni sveder, ki ima – predvsem odvisno od premera – tri različne oblike držaja (slika 3.22) [9].



**Slika 3.22 Navadni vijačni sveder [9]**

### 3.1.4 Elektroerozija

Obdelava z elektroerozijo oziroma elektroerozijska obdelava (angl. Electrical Discharge Machining – EDM) je postopek, pri katerem se material odnaša zaradi kombiniranega delovanja električne in toplotne energije. Postopek sta izumila B. R. Lazarenko in N. I. Lazarenko leta 1943. Od tedaj se je elektroerozija trdno zasidrala v orodjarnah za izdelavo orodij za brizganje plastike, preoblikovanje pločevine, za izdelavo matric za vlečenje itd.



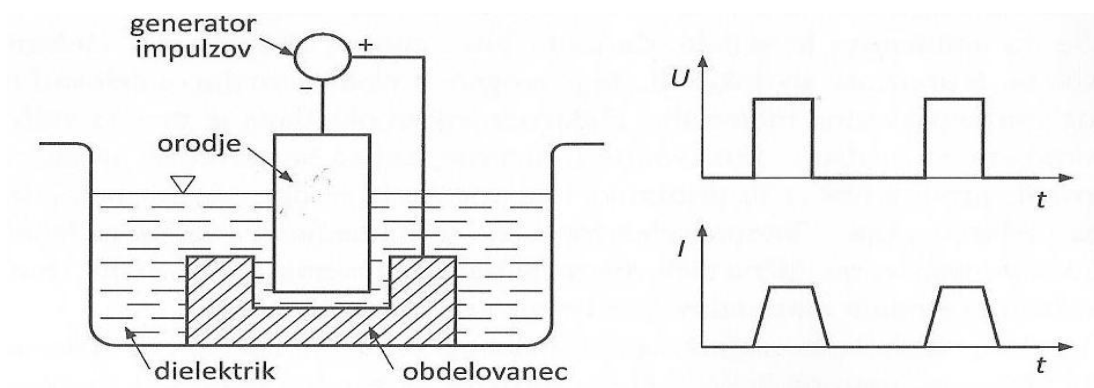
V zadnjem času se je hitrost obdelave povečala za dvajsetkrat, kar je znižalo stroške obdelave za vsaj 30 %. Prednosti pred drugimi postopki so predvsem velika natančnost, kakovostna površina in nepomembnost trdote in žilavosti obdelovanca na možnost obdelave [2].

Še do nedavnega je veljalo, da mora biti material obdelovanca električno prevoden. S preizkusi so dokazali, da je mogoče z elektroerozijo obdelovati tudi električno neprevodne materiale. Elektroerozijska obdelava je močno vplivala na orodjarstvo in druge proizvodne industrije, saj so se povečali natančnost, kakovost, produktivnost in prihranki. Najpogosteje se uporablja potopna in žična elektroerozija. Potopna elektroerozija je namenjena predvsem za izdelavo kalupov v orodjarstvu, žična elektroerozija pa natančnemu konturnemu rezanju električno prevodnih materialov (predvsem v orodjarstvu) [2].

## FIZIKALNO OZADJE

Elektroerozijska obdelava je zelo kompleksen pojav. Dogaja se v dielektrični (neprevodni) tekočini med dvema elektrodama, od katerih je ena orodje, druga pa obdelovanec, slika 3.23. Elektrodi sta priključeni na vir enosmerne napetosti, ki ni stalen, ampak se dovaja v impulzih, za kar skrbi generator impulzov. Obe elektrodi morata biti iz električno prevodnega materiala. Dielektrik je največkrat organsko olje ali deionizirana voda. Med orodjem in obdelovancem je majhna reža. Razlika potencialov na elektrodah vzpostavi električno polje, ki je odvisno od velikosti reže med elektrodama. Praviloma je orodje priključeno na negativni priključek generatorja impulzov, obdelovanec pa na pozitivnega [2].

Ker se med orodjem in obdelovancem vzpostavi električno polje, so prosti elektroni orodja izpostavljeni elektrostatičnim silam. Zaradi tega začno elektroni potovati od orodja proti obdelovancu skozi dielektrično tekočino. Na tej poti pospešujejo in pridobivajo potencialno energijo ter trkajo v molekule dielektrične tekočine. Če je energija elektronov dovolj velika, trki povzročijo ionizacijo dielektrične tekočine. Na ta način nastane še več pozitivnih ionov in elektronov, ki v električnem polju znova pridobijo kinetično energijo. Ta ciklični proces povečuje koncentracijo elektronov in ionov v dielektrični tekočini med orodjem in obdelovancem. S povečanjem koncentracije se začne graditi prevodni kanal, ki mu pravimo tudi kanal plazme. Plazma je plin, zato nastane plinski mehurček, v katerem tlak narašča, mehurček pa raste [2].



**Slika 3.23 Elektroerozijska obdelava [2]**

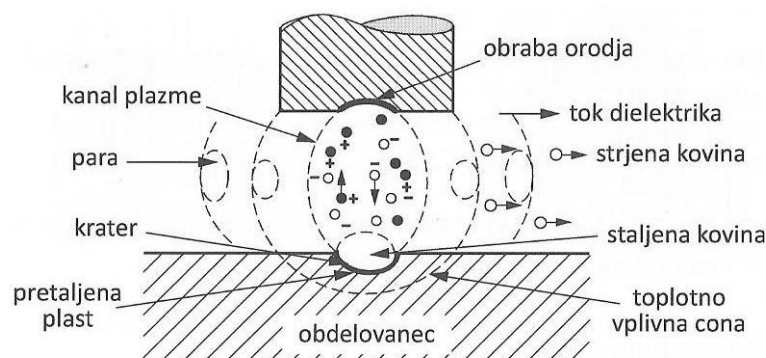
Električna upornost kanala plazme je zelo majhna. Zaradi majhne upornosti se izjemno veliko število elektronov (plaz elektronov) v zelo kratkem časovnem intervalu usmeri proti obdelovancu, ioni pa proti orodju. Elektroni z veliko hitrostjo zadenejo obdelovanec, pozitivni ioni pa orodje. Kinetična energija elektronov oziroma ionov se na obdelovancu oziroma orodju spremeni v toplotno energijo oziroma toplotni tok. Nastane razelektritev, ki povzroči taljenje in uparjanje materiala obeh elektrod, slika 3.24. Ker je segrevanje materiala lokalno zelo intenzivno, temperature dosežejo vrednosti 8000-12000 °C, toplotni tokovi pa do  $10^{14}$  W/m<sup>2</sup>. Staljen material se ne odstrani v celoti, ampak samo delno. Po prekinitvi tokovnega impulza temperatura v kanalu plazme upade, kanal se zoži in pojavi se implozija mehurčka. Hidrodinamične sile, ki pri tem nastanejo, povzročijo udarne valove, ti odstranijo raztaljen material iz kraterja, ki je nastal v kanalu plazme [2].

Odvzeti material se zaradi hladilnega učinka dielektrične tekočine strdi in se skupaj z njo odstrani v obliki majhnih kroglic. Okolica kanala plazme deionizira. Če je čas pavze med dvema impulzoma prekratek, se deionizacija ne konča povsem, odvzeti material pa se ne razporedi homogeno po vrzeli med elektrodama. To povzroči, da se naslednja razelektritev zgodi na istem mestu, kar lahko vodi do nestabilnega procesa in poškodb površine obdelovanca [2].

Pri elektroerozijski obdelavi je v večini primerov obdelovanec pozitivna elektroda, orodje pa negativna. Zaradi tega elektroni udarjajo ob obdelovanec, ga segrevajo in

povzročijo taljenje materiala in ustvarjanje kraterja. Na podoben način tudi pozitivni ioni potujejo k orodju, ga segrevajo in povzročajo njegovo obrabo.

Velikost kraterjev na elektrodah je odvisna od materiala elektrod in od obdelovalnih parametrov. Zaželena je čim večja razlika v velikosti kraterjev na obeh elektrodah, saj krater na eni elektrodi pomeni zaželen odvzem, medtem ko krater na drugi elektrodi pomeni nezaželeno obrabo [2].



**Slika 3.24 Razelektritev pri elektroerozijski obdelavi [2]**

Pri elektroerozijski obdelavi moramo zagotoviti električno napetost v obliki impulzov s pomočjo generatorja impulzov. Impulzi omogočajo, da se razelektritve enakomerno razporedijo po površini obdelovanca, kar omogoča tudi enakomerno odstranjevanje materiala. Pri vsaki razelektritvi nastane krater, zato obdelano površino tvori veliko število kraterjev. Material se torej odstranjuje z naključnim nalaganjem kraterjev na površino obdelovanca. Hrapavost površine je neposredno odvisna od energije razelektritev, frekvenca razelektritev pa ne vpliva na hrapavost. Večja ko je energija razelektritev, večji in globlji bodo kraterji na površini obdelovanca. Orodje med obdelavo vibrira, saj se je izkazalo, da se s tem dosežejo lažje izmenjavanje dielektrične tekočine, odvajanje materiala in boljše hlajenje, kar zagotavlja večjo natančnost površine [2].

## MATERIAL ELEKTROD

Da je material primeren za elektrodno orodje, mora imeti naslednje lastnosti [2]:

- biti mora dobro električno prevoden, da je oddajanje elektronov čim večje,
- biti mora dobro toplotno prevoden, da bo dvig temperature elektrode čim manjši,
- imeti mora visoko gostoto, saj bo pri dveh materialih z enako masno obrabo, material z višjo gostoto imel manjšo volumensko obrabo,
- imeti mora visoko temperaturo tališča, da bo obraba elektrode zaradi taljenja čim manjša,
- biti mora dobro obdelovalen,
- biti mora poceni.

Tem zahtevam ustrezajo predvsem materiali: grafit, baker, baker-grafit (grafitna elektroda, ki vključuje drobne delčke bakra), med, jeklo in sintrani materiali baker-volfram, srebrovolfram, baker-telur. Najpogosteje se za elektrode uporablja grafit, saj je poceni, se dobro obdeluje in je odporen proti obrabi, prav tako pa tudi baker, ker ima dobro prevodnost in majhno obrabo. Grafit ima višje tališče kot baker, vendar ima baker boljšo toplotno prevodnost. To pomeni, da je grafit v primerjavi z bakrom toplotno lokalno bolj obremenjen, vendar prenese večje toplotne obremenitve. V praksi obstaja pravilo, da za večje elektrode uporabljamo grafit zaradi manjše teže. Večina bakrenih in grafitnih elektrod je izdelanih s CNC- frezanjem. S tem postopkom lahko namreč dosežemo natančno izdelavo 3D-oblik. Medenina zagotavlja stabilne vžigalne pogoje in se običajno uporablja za specializirane aplikacije, kot je na primer vrtanje majhnih lukenj. Pomanjkljivost medenine je predvsem v veliki obrabi [2].

Od vrste materiala elektrode (orodja) in vrste materiala obdelovanca je odvisna tudi polariteta elektrode. Polariteta elektrode vpliva na obrabo oziroma hitrost obdelave.

Za grobe in vmesne obdelave jekla je elektroda pozitivna, za zelo fino obdelavo pa negativna. Pri obdelavi barvnih kovin je elektroda vedno negativna. Tabela 3.2 prikazuje izbiro polaritete elektrod za različne materiale orodja in obdelovanca [2].

**Tabela 3.2 Polariteta elektrod za različne materiale orodja in obdelovanca [2]**

Material elektrode	Material obdelovanca				
	Jeklo	Volframov karbid	Baker	Aluminij	Ni-zlitine
Grafit	+, -	-	-	+	+, -
Baker	+	+, -	-	+	+
Cu-W	+	+, -	-	+	+
Jeklo	+, -	+	-	-	-
Medenina	-	-	-	+	-

## POTOPNA ELEKTROEROZIJA

Potopna elektroerozija (angl. Sinking EDM ali tudi Die-Sinking EDM, Conventional EDM, Ram Electrical Discharge Machining – REDM) je bila prvi postopek elektroerozijske obdelave, pojavila se je namreč že v štiridesetih letih prejšnjega stoletja. Vsi drugi postopki elektroerozijske obdelave so se razvili nekoliko pozneje [2].

Bistvo potopne elektroerozije je, da preslikamo obliko elektrode v obdelovanec. Tako je postopek primeren za izdelavo zapletenih 3D-oblik v trde materiale. Zato se potopna elektroerozija uporablja predvsem v orodjarnah za izdelavo orodij za preoblikovanje, tlačno litje, brizganje plastike in tako dalje. S potopno elektroerozijo obdelujemo material do 10  $\mu\text{m}$  natančno, izjemoma tudi do 2,5  $\mu\text{m}$ . Stopnja odvzema materiala je razmeroma nizka, in sicer okoli 0,3  $\text{cm}^3/\text{min}$  [2].

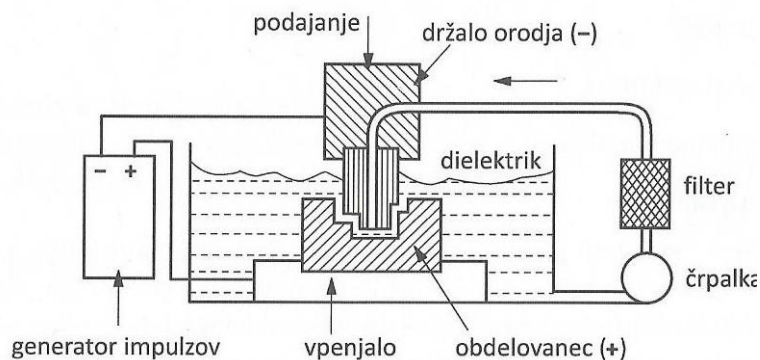
## OBDELOVALNI SISTEM

Elektroerozijski stroj je sestavljen iz dveh delov, in sicer električnega dela ter mehanskega dela. Električni del sestavljajo generator za proizvodnjo električnih impulzov in CNC-krmilnik. Mehanski del pa sestavljajo podajalno-regulacijska naprava, ohišje, črpalka, filter ter dielektrična tekočina. Na sliki 3.25 je prikazan stroj s sestavnimi deli. Klasični oziroma

manualni elektroerozijski stroji omogočajo podajalni pomik elektrode proti obdelovancu samo v navpični smeri. Boljši stroji omogočajo podajalno gibanje elektrode in obdelovanca v vseh treh kartezičnih smereh ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) in še rotacijo elektrode okoli svoje osi. Na takšnih strojih je mogoče izdelovati tudi navoje [2].

CNC-krmilni sistem skrbi za podajalno gibanje, saj moramo med obdelavo premikati elektrodo k obdelovancu. Podajalni sistem je bil včasih hidravličen, zadnje čase pa uporabljamo električne servomotorje. Primikanje in odmikanje elektrode je izvedeno s primerjanjem nastavljene referenčne vrednosti napetosti  $U_{ref}$  na stroju z izmerjeno povprečno napetostjo  $U$  [2].

Impulzni generator zagotavlja zaporedne enosmerne električne impulze in omogoča razelektritve v reži. V grobem ločimo izofrekvenčne generatorje, ki zagotavljajo konstantno frekvenco razelektritev posredno prek konstantnega časa impulza, in izoenergijske, ki zagotavljajo konstantno energijo razelektritev posredno prek konstantnega časa razelektritve. Izoenergijski dosegajo boljše rezultate, zato so tudi več v uporabi. Za doseg ugodnih razmer v reži moramo režo prisilno izpirati. Črpalka omogoča pretok dielektrika skozi elektrodo ali obdelovanec. Da vzdržujemo v reži čist dielektrik, ga moramo filtrirati [2].



**Slika 3.25 Stroj za elektroerozijsko obdelavo [2]**

## PREDNOSTI IN SLABOSTI

Med glavne prednosti elektroerozijske obdelave lahko uvrstimo [2]:

- izdelavo kompleksnih 3D-oblik, ki bi jih sicer težko izdelali z običajnimi rezalnimi orodji,
- dobro obdelavo trdih materialov,

- površina obdelovanca je sestavljena iz kraterjev, kar ugodno vpliva na tribološke lastnosti površine,
- ni neposrednega stika med orodjem in obdelovancem.

Slabosti elektroerozijske obdelave so [2]:

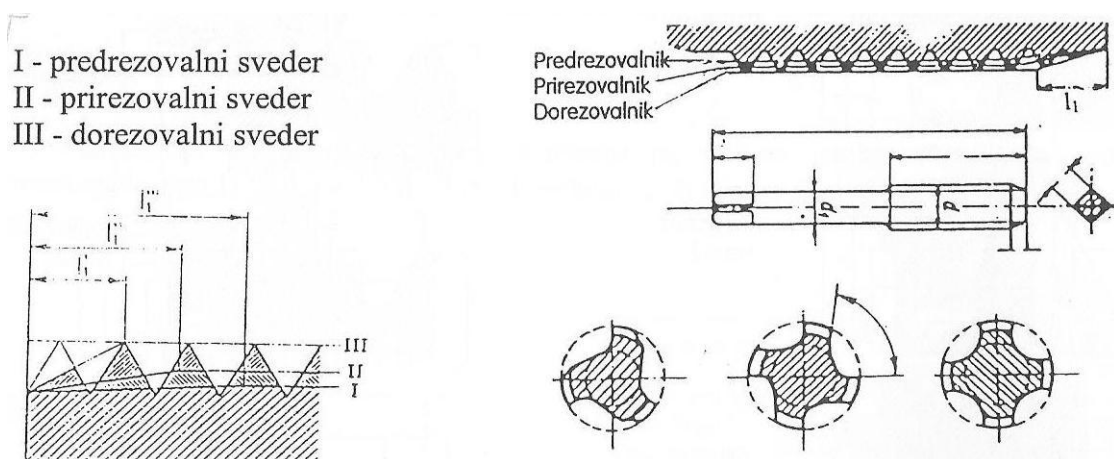
- počasna obdelava,
- posledica obdelave je toplotno prizadeta cona,
- velika poraba energije na odvzeto enoto volumna,
- draga orodja.

Zaradi teh lastnosti se elektroerozija uporablja predvsem tam, kjer je obdelava z drugimi izdelovalnimi postopki nemogoča ali pa predraga. Z razvojem novih rezalnih materialov in računalniško podprte izdelave se visokohitrostno freziranje vse pogosteje uporablja in nadomešča potopno elektroerozijo tam, kjer je mogoče [2].

### 3.1.5 Rezanje navojev

#### ROČNO REZANJE NAVOJEV

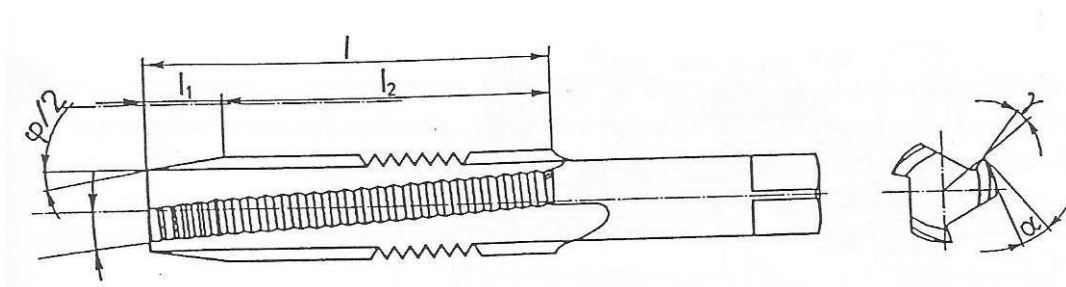
Za notranje ročno rezanje (matice) navojev so v rabi ročni navojni svedri. Vrtilni moment (s tem pa potrebna sila) pri polnem odrezu v globino z enim svedrom bi bil za človekove sposobnosti prevelik (potrebna prevelika sila) in tudi odrezki bi bili preveliki – zato se vedno razdeli odrez na dva, večinoma pa na tri orodja v setu (slika 3.26), in sicer kot [1]:



**Slika 3.26 Razdelitev rezov med tri svedre (I, II, III) [1]**

Z roko lahko zadenemo z II. svedrom sled I. svedra in nato s III. svedrom sled predhodnega II. svedra.  $l_1$  – dolžina vstopnega dela

Na sliki 3.27 so vidne nekatere oznake na III. ročnemu svedru [1].



**Slika 3.27 Ročni navojni sveder (za končno rezanje) [1]**

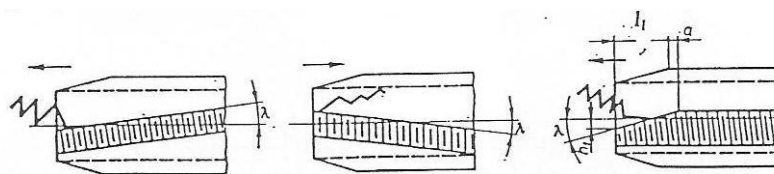
Podajanje pri ročnem vrezovanju je določeno s korakom navojnice (vijačnice) na svedru in se navojni sveder ob vrtenju pomika v smeri osi zaradi vijačnega profila (le na začetku ga moramo potiskati v izvrtino) [1].

## STROJNO REZANJE NAVOJEV

Za notranje strojno rezanje navojev so v rabi strojni navojni svedri – en sveder mora vrezati celotno globino navoja, zato so v rabi zelo različni navojni svedri.



Še posebno pomembno je, ali režemo navoj v prehodno ali v neprehodno izvrtino (ustrezno so usmerjeni vijačni žlebi za usmeritev odrezka na svedrjih, slika 3.28) [1].



**Slika 3.28 Usmeritev odrezkov pri strojnem rezanju navojev [1]**

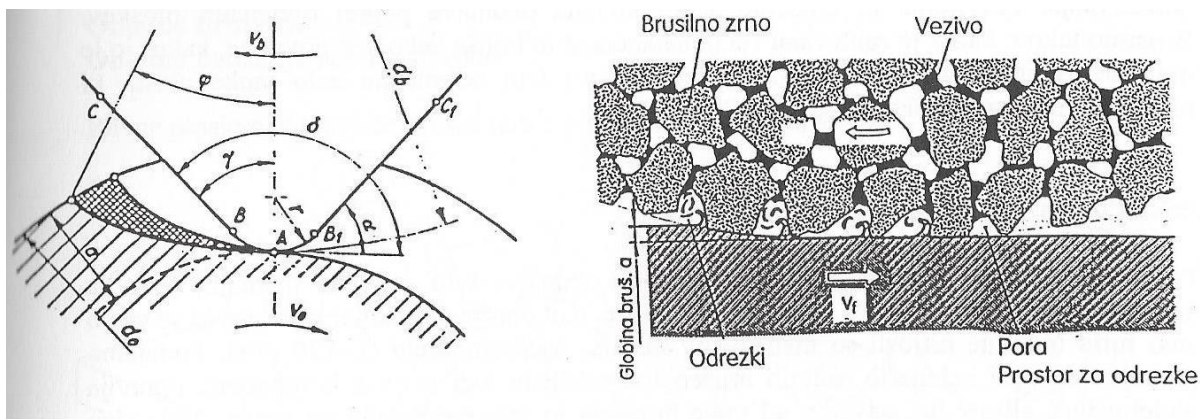
### 3.1.6 Brušenje

Brušenje spada med mnogorezilne postopke s trdno vezanimi rezili. Ker je brušenje počasen proces obdelave in ker je odjem zelo majhen, so tudi dodatki za brušenje samo 0,1 mm do 1 mm na steno [1].

Pri postopkih te skupine uporabljamo kot orodje bruse, ki so izdelani v celem ali pa orodja, ki so sestavljena iz brusnih segmentov. Brusni so podobni frezalom, le da imajo neprimerno večje število rezil, in to povsem nepravilne oblike, ker so kot rezila uporabljena zrna zelo trdih materialov. Tako ima na primer brus s premerom 200 mm in širino 40 mm, ki je sestavljen iz brusnih zrn z zrnatostjo 50, na svojem obodu prek 200.000 rezil [1].

Zrna, ki sestavljajo brus, so iz zelo trdih nekovinskih rezalnih materialov, ki prenesejo izredno visoke temperature in zmorejo zaradi svoje trdote obdelovati vse materiale brez izjeme. Posebnost pa je povsem nepravilna oblika zrn. Vsako zrno je drugačno in drugače usmerjeno. Zrna imajo sicer ostre robove, ki delujejo kot rezalni robovi, ploskve, ki tvorijo te robove in delujejo kot cepilne in proste ploskve, pa imajo rezalne kote, ki niso ugodni za tvorbo odrezkov [1].

Način tvorbe odrezkov je shematično prikazan na sliki 3.29, na kateri je močno povečan del strukture brusa. Slika lepo kaže podobnost s frezanjem, dobro pa se vidi tudi naključna, nepravilna oblika rezil [1].



**Slika 3.29 Tvorba odrezkov pri obodnem brušenju [1]**

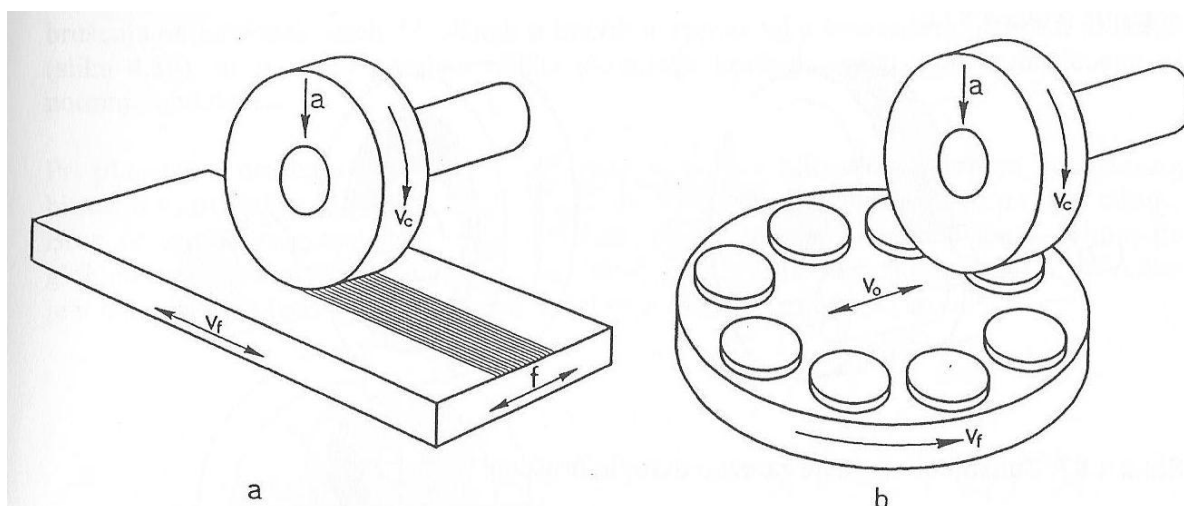
Brusno zrno naj bi rezalo tako dolgo, dokler je ostro. Ko otopi, naj izpade in s tem omogoči rezanje globlje ležečemu zrnu. Neostro zrno namreč ne more več rezati, ampak povzroča le trenje, žge material in povečuje silo brušenja. Da pa bi zrno lahko pravočasno izpadlo, mora imeti vezava pravilno trdoto. Če brusimo trdi material, zrno hitro otopi in mora biti vezivo mehko, da bi lahko zrno hitro izpadlo. Kadar pa brusimo mehak material, pa je vse ravno nasprotno [1].

Vendar ne moremo poljubno dolgo dopuščati, da bi se brus sam ostril med obdelavo na račun izpadanja zrn. To izpadanje namreč ni tako idealno, ker ne moremo doseči idealnih pogojev brušenja. Površina brusa bi postala neenakomerna in pore bi se prej ali slej zamašile z odrezki. Zato moramo brus od časa do časa odtegniti (posneti) – ostriti [1].

V glavnem brusimo takrat, če hočemo imeti gladko površino, natančno mero in če imamo obdelovanec iz zelo trdega materiala. Veliko natančnost dosežemo predvsem zato, ker je sloj, ki ga pri brušenju odvezamo, zelo tanek. Sile pri brušenju so zelo majhne in so zato tudi deformacije majhne. Rezalne hitrosti za brušenje so zelo velike [1].

## OBODNO BRUŠENJE RAVNIH PLOSKEV

Ravne ploskve je mogoče brusiti tudi z obodom brusa (slika 3.30) [1].



**Slika 3.30 Obodno brušenje ravnih ploskev [1]**

Na sliki 3.30. a je prikazan najbolj pogost način brušenja ravnih ploskev. Obdelovanec opravlja premočrtno podajalno gibanje s hitrostjo  $v_f$  naprej in nazaj, na koncu vsakega giba ali samo na enem koncu pa se pomakne za prečno podajanje  $f$ , vzporedno z osjo brusa. Prečno podajanje ni enakomerno, ampak samo enkratno, sunkovito. Ko je tako prebrušena celotna ploskev obdelovanca, se brus pomakne navzdol [1].

Tudi pri obodnem brušenju ravnih ploskev je lahko podajalno gibanje s hitrostjo  $v_f$  vrtilno. Obdelovanci so pri tem načinu položeni na vrtljivo mizo (slika 3.30.b). Podajalna hitrost se proti sredini zmanjšuje in torej ni enaka v vseh točkah obdelovancev. Če je brus ožji od obdelovancev, je potrebno tudi podajalno gibanje vzporedno z osjo brusa. To gibanje je lahko enakomerno, s hitrostjo  $v_o$ . Prednost tega načina je samo v tem, da je stroj bolj proste izvedbe, kakor pri načinu s premočrtnim podajanjem [1].

## OBODNO BRUŠENJE OKROGLIH PLOSKEV

Brušenje okroglih obdelovancev je vedno samo z obodom brusa. Možnih je več načinov okroglega brušenja. Najprej je lahko [1]:

- zunanje ali
- notranje.

Odvisno od tega, ali je brus daljši ali krajši od obdelovanca, je brušenje lahko tudi [1]:

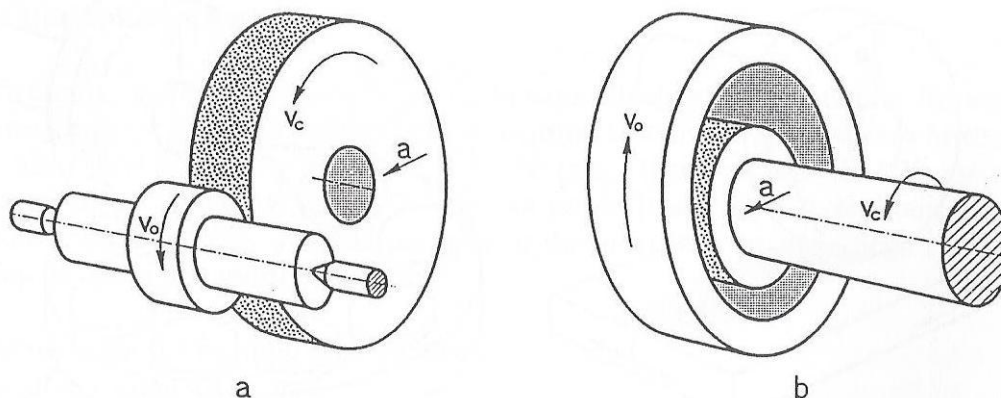
- zarezno ali
- vzdolžno.

Obdelovanec je lahko med obdelavo [1]:

- vpet ali
- samo podprt.

V prvem primeru govorimo navadno o »brušenju med konicami«, kar pa velja samo za večino primerov zunanjega brušenja. Pri notranjem brušenju je navadno obdelovanec sicer vpet, ni ga pa mogoče vpeti med konicami [1].

Najbolj preprost način je okroglo zarezno brušenje, ki je lahko zunanje (slika 3.31.a) ali notranje (slika 3.31.b) [1].



**Slika 3.31 Zunanje in notranje zarezno okroglo brušenje [1]**

Pri tem načinu brušenja opravlja obdelovanec vrtilno podajalno gibanje s hitrostjo  $v_o$ . Orodje se počasi premika proti osi obdelovanca in to toliko časa, da dobi obdelovanec zahtevani premer (premično gibanje  $a$ ). Brus mora biti širši od obdelovanca, ker ga brusi naenkrat po celi dolžini. Zarezni način brušenja je zelo hiter, ker hkrati brusi veliko število zrn. Na vsak način pa mora imeti brus zelo natančno obliko, ker se njegova oblika kopira na obdelovanec [1].

## 3.2 Osnove orodij za odrezavanje

Odrezavanje je način obdelave, pri katerem od začetka kosa materiala odrežemo posamezne delce – odrezke, da tako dobimo zaželeno obliko. V ta namen uporabimo orodje, ki deluje na principu klina, znanega iz fizike [9].

Značilno za postopke odrezavanja je, da je masa izdelka manjša od mase uporabljenega kosa materiala. Odrezani delci so največkrat neuporabni ali komaj gospodarno uporabni za nadaljnjo predelavo in zato pomenijo izgubo dragocenega materiala. Če teh delcev ni mogoče uporabiti, njihovo shranjevanje tudi obremenjuje okolje. Obdelave z odrezavanjem bi se zato morali po možnosti izogibati in jo nadomestiti s preoblikovanjem žal to vedno ni mogoče, največkrat zato, ker je z odrezavanjem mogoče doseči večjo natančnost in boljšo kakovost površine [9].

Največjo možno natančnost in najboljšo kakovost površine med vsemi postopki obdelave omogočajo prav nekateri postopki odrezavanja. Najpomembnejši postopki odrezavanja so razvidni iz tabele 3.3 [9].

**Tabela 3.3 Pregled postopkov odrezavanja [9]**

		Obdelava z orodjem v obliki klina	
Orodje z določeno geometrijsko obliko	orodje z enim rezilom	delo neprekinjeno	struženje
		delo s prekinitvami	strganje skobljanje pehanje
	orodje z več rezili	delo neprekinjeno, konstanten prerez odrezka	vrtanje grezenje povrtavanje luščenje
		delo s prekinitvami, prerez odrezka spremenljiv	piljenje frezanje žaganje posnemanje
Orodje z nedoločeno geometrijsko obliko	trdno orodje	s točkovno omejeno plastifikacijo odrezka	brušenje
		brez plastifikacije odrezka	honanje superfinaš roliranje
	nevezano orodje	rezila (zrna) vodena	lepanje ultrazvočna obdelava poliranje
		rezila (zrna) nevodena	peskanje lepanje s peščenim curkom obdelava v bobnih

## TEORETIČNE OSNOVE ODREZAVANJA

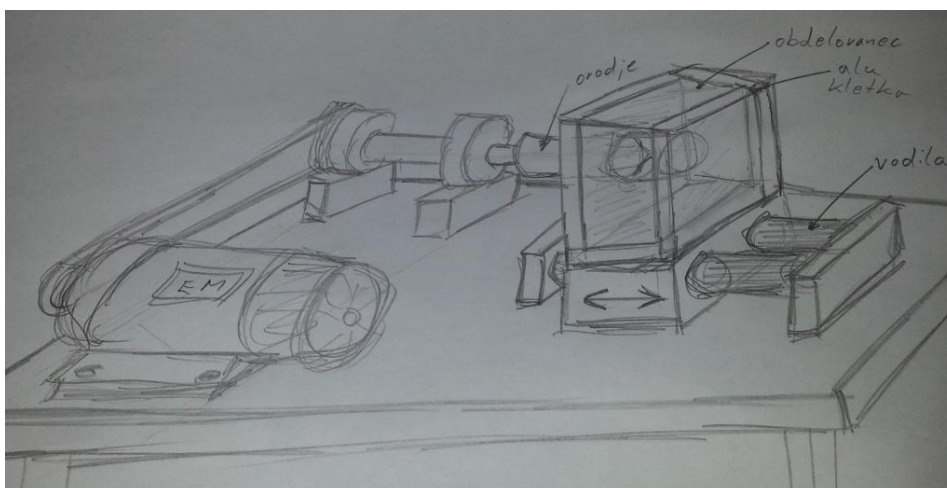
Nastanek odrezka skuša bolj ali manj ustrezno pojasniti vrsta teorij, ki se naslanjajo na dogajanje fizike, in iz nje izpeljanih tehničnih ved, na primer nauka o trdnosti, deloma tudi kemije. Najbolj znane so teorije, ki so jih postavili Merchant, Piispanen, Lee in Schäffer, Hitomi, Okušima, Oxley in drugi [9].

Za praktično delo pri načrtovanju izdelave vsa dosedanja teoretična dognanja ne prinašajo skoraj ničesar uporabnega, ker samo pojasnjujejo dogajanja, teoretično dobljeni številski podatki pa se ne ujemajo najbolje z eksperimentalno dobljenimi vrednostmi [9].

## 4 ZASNOVA IN IZDELAVA STROJA

### 4.1 Zasnova in oblika stroja

Stroj za proizvodnjo embalaže iz stiropora smo oblikovali glede na dimenzije surovca za končni izdelek in pri tem upoštevali, da ga je kasneje možno prilagajati za izdelavo podobne embalaže. Stroj je sestavljen iz pogonskega dela, ki ga sestavljajo elektromotor, jermenski prenos in dvojno vležajena osovina z nastavkom za pritrditev frezala. Drugi del stroja predstavlja podajalna naprava, na katero je pritrjeno držalo surovca. Osnovna ideja postopka obdelave surovca temelji na nepremičnem delu pogonskega agregata s frezalom in premičnem držalu z vstavljenim surovcem, ki ga linearno primikamo proti frezalu, in s tem izdelamo izvrtino cilindrične oblike določene globine. Skica stroja je na sliki 4.1.



Slika 4.1 Skica sestave stroja

### 4.2 Izdelava pogonskega dela stroja

Ker bomo na stroju obdelovali stiropor, ki velja za enega najmehkejših materialov, so sile pri odrezovanju majhne. Za pogonski agregat smo glede na izkušnje izbrali elektromotor znamke ELEKTROKOVINA (slika 4.2), tipa T71B2, moči 0,55 kW z  $2780 \text{ min}^{-1}$  pri frekvenci omrežja 50 Hz, ki bo zadovoljil naše potrebe.





**Slika 4.2 Elektromotor z jermenico**

Ker je za obdelovanje stiropora potrebna podobna vrtilna hitrost kot pri obdelovanju lesa, smo vrtilno frekvenco povečali. To smo dosegli z izdelavo jermenskega prenosa (slika 4.3) v razmerju 1 : 1,5, kar omogoča želenih  $4170 \text{ min}^{-1}$ .



**Slika 4.3 Jermenski prenos**

Pri izdelavi stroja smo zelo omejeni s finančnimi sredstvi, zato smo za nadomestilo nove vležajene osi uporabili staro ohišje brusilnega stroja (slika 4.4), ki ima popolnoma enako funkcijo, saj smo na eno stran osi pritrdili jermenico, na drugo stran pa frezalo.



**Slika 4.4** Ohišje z ležaji

Motor smo postavili na spodnjo stran obdelovalne mize, s čimer smo prihranili na prostoru in obenem zaradi lastne teže motorja zagotovili zadostno natezanje jermena na jermenicah med motorjem in osjo.

### **4.3 Izdelava podajalne naprave**

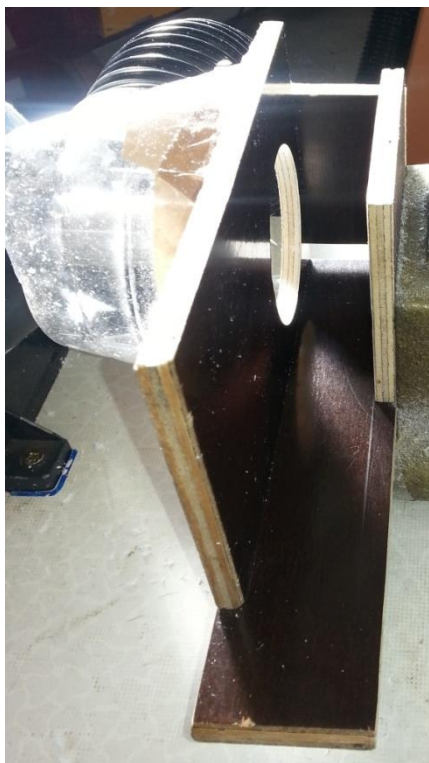
Za podajanje obdelovanca proti frezalu je potreben linearni pomik držala naprej in nazaj. Pomik mora biti karseda enakomeren, da zagotovimo enako strukturo frezane stene v obdelovancu. Ker se bo pomik izvajal ročno, je zelo pomembno, da je trenje na vodilih čim manjše. Navadne drsne puše v tem primeru na pridejo v poštev, saj bi pri frezanju nastajal prah, ki bi se kopičil na vodilih, in bi lahko prišlo do zatikanja. Izbrali smo drsne puše s krogličnimi elementi (slika 4.5), ki omogočajo natančne pomike tudi pri konzolno vpetem vodilu. V našem primeru smo uporabili skelet orodja za štancanje, ki že ima vgrajene ustrezne drsne elemente in na njih nameščeno ploščo z luknjami, na katere lahko pritrdimo držalo obdelovanca. Podajalna naprava je na mizo pritrjena pravokotno prek iverne plošče, ki smo jo naravnali glede na središče osi frezala.



**Slika 4.5** Drsne puše v ohišju

#### **4.4 Izdelava držala obdelovanca**

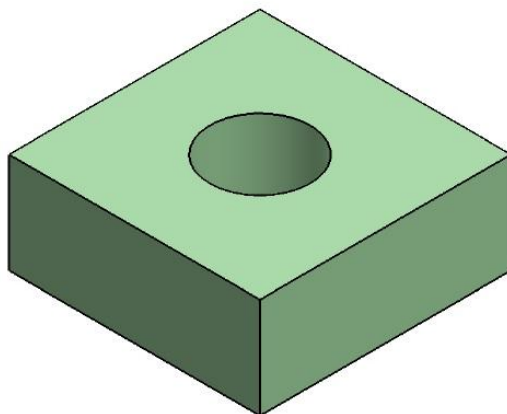
Zasnova držala temelji na enostavnem vstavljanju in odstranjevanju obdelovanca iz priprave, istočasno pa mora biti obdelovanec točno pozicioniran glede na os frezala. Obdelovanec ima obliko kvadra dimenzij  $100 \times 100 \times 40$  mm s toleranco  $\pm 0,5$  mm. Držalo smo sprva želeli izdelati iz aluminija, vendar se je izkazalo, da je primernejši material lesena vezana plošča, ki zaradi manjše togosti dopušča odstopanje od imenske mere debeline obdelovanca pri vstavljanju le tega v držalo. Držalo smo oblikovali tako, da sta dve stranici kvadra podaljšani za celo dolžino in debelino obdelovanca. Obdelovanec se med vstavljanjem prisloni na podaljšani stranici, po katerih ga delavec drseče porine med tretjo stranico, ki ga omeji po debelini do četrte stranice, ki ga omeji po širini. Obdelovanec, vstavljen v držalo in pozicioniran na končno mesto, je pripravljen na obdelavo, ki jo delavec izvede z enakomernim linearnim podajanjem proti frezalu. Na držalo (slika 4.6) smo namestili še ščit iz prozornega PET materiala, ki služi za usmeritev ostružkov proti napravi za odsesavanje, in hkrati preprečuje poseganje z roko v nevarno območje ob frezalu.



**Slika 4.6 Držalo obdelovanca**

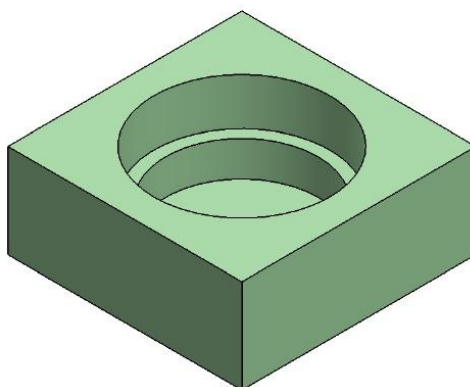
#### **4.5 Izdelava frezala**

Za izdelavo lukenj v surovce je bilo treba izdelati ustrezna orodja za odrezovanje posebnih oblik. Izdelki, ki se bodo pakirali v omenjeno embalažo, so različnih oblik in dimenzij. Gre za dve osnovni velikosti steklenic, ki imata različno dolžino in premer, a enak zamašek. Za izdelavo zgornjega dela embalaže je bilo treba izdelati frezalo, ki bo izrezalo luknjo cilindrične oblike premera 40 mm in globine 30 mm v kvader dimenzij 100×100×40 mm, prikazan na sliki 4.7.



**Slika 4.7 Zgornji del embalaže**

Spodnji del embalaže je predstavljal večji tehnični izziv, saj je stranka zahtevala, da embalaža ustreza za obe velikosti steklenic hkrati. Luknja v kvadru iz stiropora je v prerezu stopničaste oblike prikazana na sliki 4.8.



**Slika 4.8 Spodnji del embalaže**

Luknjo je možno izdelati z dvema namenskima frezaloma, vendar to povzroči dvojno vstavljanje obdelovanca v držalo in s tem posledično dvakrat daljši čas obdelave, kar poveča strošek izdelave. Odločili smo se za izdelavo kombiniranega stopničastega frezala, predstavljenega v naslednjih poglavjih.

#### 4.5.1 Struženje

Za izdelavo prve frezalne glave smo uporabili surovec iz aluminija premera 30 mm in dolžine 100 mm. Na univerzalni stružnici (slika 4.9) smo ga preoblikovali v cilindrično obliko s stožcem na enem koncu in izvrtino premera 15 mm na drugi strani. Stožčasta oblika omogoča lažje odvajanje ostružkov pri uporabi frezala. Za izdelavo druge frezalne glave smo uporabili aluminijast surovec premera 60 mm in dolžine 100 mm. Obdelali smo ga na podoben način kot prvega, le da je stožec lomljen na dva različna kota zaradi dvostopenjske namestitve rezilnih ploščic. Drugo stran frezala smo v dolžini 60 mm posneli na premer 30 mm.



**Slika 4.9 Stružnica**

#### 4.5.2 Frezanje

Po končani obdelavi na stružnici smo surovec vpeli v indirektni delilnik na frezalnem stroju (slika 4.10). Uporabili smo četrtinsko deljenje za obračanje obdelovanca. Prvo fazo frezanja smo izvedli s 3 mm steblastim frezalom, s katerim smo sfrezali kanale za rezilne ploščice.

Drugo fazo frezanja smo izvedli z 10 mm steblastim frezalom in zamikom obdelovanca v delilniku za  $90^\circ$  in  $270^\circ$ , s katero smo dobili ravnine za naleganje glav vijakov. Frezanje prve in druge glave se razlikuje le po številu frezanih utorov in naležnih ploskev.



**Slika 4.10 Frezalni stroj**

### 4.5.3 Vrtanje

Tretja faza na frezalnem stroju je bilo vrtanje lukenj za vijake. Najprej smo izvrtali luknji premera 5 mm (izbran premer izvrtine za navoj M6) [4] v določenem odmiku od centra obdelovanca glede na želen položaj pritrditve rezilne ploščice. Nato smo vse luknje povrtali na premer 6 mm do polovice globine oziroma do naležne površine rezilne ploščice. Na drugi strani, 15 mm od zadnjega roba obdelovanca, smo zvrtili luknji premera 5 mm v obe frezali.

#### 4.5.4 Rezanje navojev

V nepovrtane dele lukenj in luknji na drugi strani obdelovanca smo vrezali navoje s strojnim navojnim svedrom M6. Vstavljeni vijaki imajo funkcijo pritrditve rezilnih ploščic na frezalo. Vijak na drugem koncu je namenjen za pritrditev frezala na os stroja.

#### 4.5.5 Elektroerozija

Rezilne ploščice (slika 4.11) smo izdelali iz rezilnega orodja skobeljnega stroja, ki se uporablja v lesno obdelovalni industriji. Skobeljno rezilo smo s kotnim brusilnikom razrezali na 6 kvadrov velikosti 30×30 mm. En vogal kvadra smo z elektrodo v obliki črke L s pomočjo potopne elektroerozije odrezali in s tem zmanjšali površino stranice rezilne ploščice, ki pri frezanju drsi po obdelovancu. Ko smo ploščice obrezali, smo zamenjali elektrodo v obliki črke L z orodjem cilindrične oblike premera 6 mm. V ploščice smo izžgali luknje premera 6 mm, skozi katere smo vstavili imbus vijake M6, ki držijo ploščice v frezalu.

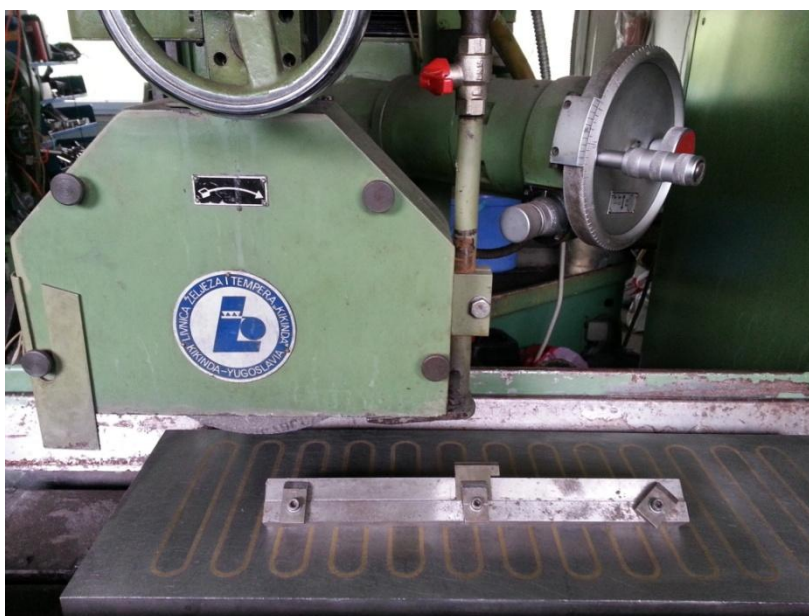


**Slika 4.11 Ploščica**



#### 4.5.6 Brušenje

Preden smo vstavili rezilne ploščice v frezalo, smo jih naostrili na ploskovnem brusilnem stroju. Na brusilnem stroju (slika 4.12) smo na magnetno mizo namestili pripravo za brušenje skobeljnih nožev, ki drži obdelovanec pod kotom  $45^\circ$  glede na mizo stroja.



**Slika 4.12 Priprava na brusilnem stroju**

Ko smo dosegli želeno ostrino, smo ploščice vstavili v frezali in jih pritrdili z imbus vijaki na končno pozicijo. Pritrjene rezilne ploščice zaradi predhodnega ročnega razreza še niso poravnane simetrično glede na os frezala. Naslednja faza obdelave je bilo brušenje robnih stranic ploščic na določen premer na brusilnem stroju za okroglo brušenje (slika 4.13).



**Slika 4.13** Brusilni stroj za okroglo brušenje

Obdelovanec smo vpeli v čeljustno glavo, ki se vrti s hitrostjo  $50 \text{ min}^{-1}$  protismerno glede na smer vrtenja brusa. Brus smo primikali proti centru obdelovanca tako dolgo, da smo dosegli želen premer frezala. Manjše frezalo smo zbrusili na premer 38 mm (slika 4.14).



**Slika 4.14** Frezalo za izdelavo zgornjih delov embalaže

Dvostopenjsko frezalo smo zbrusili na dva različna premera. Prvi par rezil pri vrhu frezala, kot je razvidno iz slike 4.15, smo brusili na premer 65 mm, drugi par na premer 75 mm.



**Slika 4.15 Frezalo za izdelavo spodnjih delov embalaže**

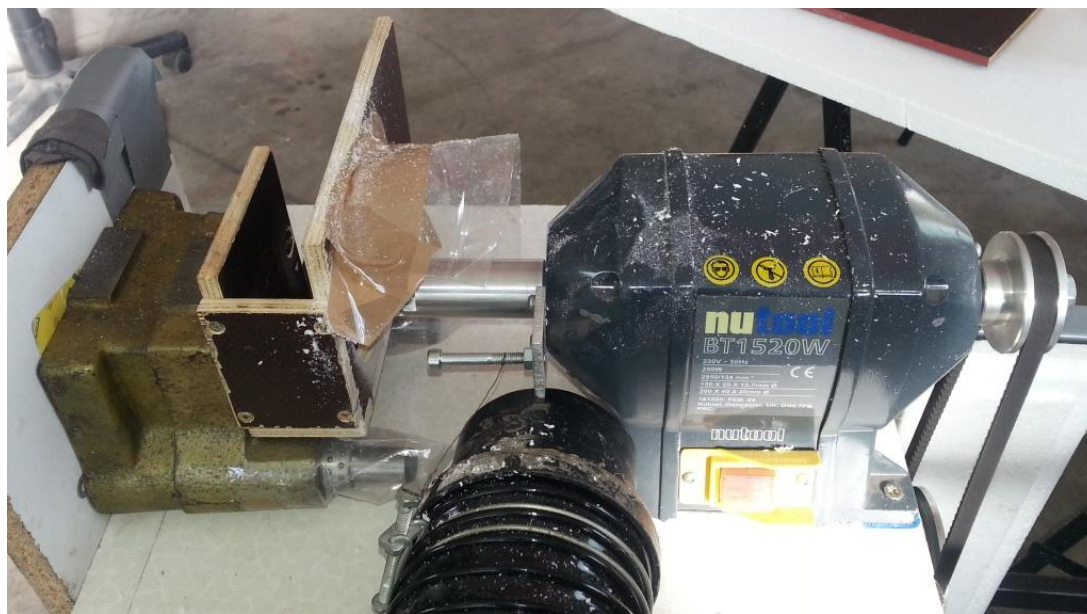
## 5 REZULTATI IN DISKUSIJA

V podjetju izdelujemo različne izdelke, ki so naši primarni izdelki, ali pa jih izdelamo po naročilu naših strank. Eden izmed posebej načrtovanih izdelkov je embalaža iz stiropora za zaščito ročno pihanih stekleničk za podjetje, s katerim sodelujemo.

Za zgoraj omenjeno embalažo je bilo treba izdelati poseben stroj. Podjetju, ki je naročilo embalažo, smo predstavili in ponudili dva načina proizvodnje zahtevane embalaže. Prva in najpogostejša uporabljena proizvodnja embalaže je formiranje stiropornih kroglic v kalup, ki ga je treba izdelati za vsako obliko izdelka posebej. Kalup izdelava orodjar po naročilu glede na omejitve stroja in velikost embalaže. Drugi način izdelave embalaže pa je, da v naprej pripravljen surovec iz stiropora izdelamo ustrezno vdolbino s pomočjo odrezavanja materiala. Drugi način je – zaradi proizvoda, ki se izdeluje v manjših serijah – občutno cenejši glede na vrednost izdelka. Po pretehtanih obeh možnostih izdelave embalaže se je podjetje odločilo za drugo možnost.

Začeli smo z izdelavo stroja za izdelavo embalaže iz stiropora. Za izdelavo stroja smo uporabili različne obdelovalne postopke kot na primer: struženje, frezanje, vrtanje, brušenje in še bi lahko dodali. Postopki so podrobneje opisani v diplomski nalogi.

Kot vemo, je stanje v gospodarstvu že kar nekaj časa kar precej zahtevno. Zahtevnost gospodarskega okolja je različna podjetja že velikokrat postavilo pred težko odločitev ali nadaljevati svojo pot ali prepustiti delo konkurenčnejšim podjetjem. Iz dneva v dan oziroma za vsako povpraševanje strank se podjetja močno borijo, da bi njihova ponudba bila konkurenčna oziroma najboljša, saj bi si na tak način lahko zagotovili obstoj in ne nazadnje tudi razširili spekter svoje ponudbe. Naša ponudba je v tem primeru bila s konkurenčnega vidika gledano najboljša. Da smo ustvarili takšno ponudbo, je bilo treba preiskati vse možnosti, ki se nam ponujajo v domačem skladišču. Za zasnovo in izdelavo stroja smo tako porabili minimalni finančni in materialni vložek, saj smo, kot smo že omenili, uporabili razpoložljive elemente iz domačega skladišča in z nekaj improvizacije sestavili polno funkcionalen stroj (slika 5.1).



**Slika 5.1 Stroj pripravljen za proizvodnjo**

Stroj smo zasnovali tako, da z minimalnim posegi v njegovo sestavo, z menjavo frezalne glave in nadomestitvijo drugega držala, daje možnost izdelave podobnih izdelkov za druge potencialne stranke.

Po uspešni izdelavi stroja in uspelih vzorcih smo na stroju v preteklih nekaj mesecih že izdelali prek 12.000 kvadrov najvišje možne kvalitete obdelave stiropora s postopkom odrezavanja. Končni izdelek pakiramo v kartonsko embalažo dimenzij 100×80×50 cm, kot je prikazano na sliki 5.2.



**Slika 5.2 Embalaža v kartonski škatli**

Namen diplomske naloge, da izdelamo stroj s pripadajočim orodjem za izdelavo embalaže po naročnikovih željah, smo tako uresničili. S pravilno zasnovo stroja pa smo si omogočili izdelavo drugih podobnih oblik embalaže iz stiropora za izdelke valjaste oblike. S tem smo za proizvodnjo maloserijskih embalaž pripravljene na druge naročnike.

Uspelo pa nam je premagati glavno omejitev, ki je bila finančni vložek. Kot smo že omenili, sta bila finančni in materialni vložek minimalna, saj smo imeli na voljo nekatera sredstva. Prav tako smo kasneje uspeli vzpostaviti pravo razmerje med ceno embalaže in končno vrednostjo izdelka ali polizdelka, ki ga embalaža ščiti. Seveda bi to embalažo lahko izdelali tudi v še višji kakovosti, vendar maloserijski izdelki ne bi opravičevali vloženih sredstev.

## 6 SKLEP

Gospodarsko stanje zadnjih nekaj let je bilo vse prej kot dobro. Prav zaradi tega je treba ob vsaki izročitvi izdelka na trg najprej preveriti razpoložljive vire in finančno ozadje. Vsaka stranka želi imeti odlično kakovost izdelka za nizko ceno.

Naše podjetje je sprejelo naročilo embalaže iz stiropora za dizajnersko kolekcijo ročno pihanih stekleničk. Pregledali smo obstoječe možnosti, izračunali stroške in oddali ponudbo. Naročnik je našo ponudbo sprejel, zato smo začeli z izdelavo stroja za embalažo iz stiropora. Za izdelavo smo uporabili različne obdelovalne postopke. Ker je teh kar nekaj, smo v delu opisali vsakega posebej. Pred tem pa smo podrobneje predstavili surovino za izdelavo embalaže, ki je stiropor. Natančneje smo na koncu opisali še zasnovo in izdelavo stroja.

Postavljeno tezo, ki je bila zasnovati in izdelati stroj za izdelavo embalaže iz stiropora po naročnikovih željah ob finančnih omejitvah, smo v celoti izpolnili. Stroj nam je uspelo izdelati tako, da lahko ob minimalnem posegu pri zamenjavi prijemala in namestitvi drugega namenskega rezila izdeluje tudi drug variantni izdelek. S tem smo na hitro in enostavno rešili problem ter zagotovili pričakovano kvaliteto izdelkov in storitev za stranke.

Z vsakim problemom, ki ga uspešno rešimo, povečujemo našo konkurenčnost in z veseljem iščemo nove priložnosti na vedno zahtevnejšem globalnem trgu.

## LITERATURA

- [1] Balič Jože, Pahole Ivo. Proizvodne tehnologije: učbenik. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2008.
- [2] Brezočnik Miran. Proizvodne tehnologije – Osnove posebnih postopkov obdelave: univerzitetni učbenik. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2008.
- [3] [https://sl.wikipedia.org/wiki/Glavna\\_stran](https://sl.wikipedia.org/wiki/Glavna_stran)
- [4] Kraut Bojan. Krautov strojniški priročnik, 4. Ponatis 12. Slovenske izdaje/izdajo pripravil Jože Puhar. Ljubljana : Tehniška založba Slovenije, 2006.
- [5] Kunič Roman. Temeljenje in nasipi iz ekspaniranega polistirena [svetovni splet]. FRAGMAT TIM d.d., Raziskave in razvoj, 2010. Dostopno na WWW: <http://www.drc.si/portals/6/prispevki/viii/1394-1402.pdf> [20.04.2015].
- [6] NASVETI; Najpogostejša vprašanja – toplotne izolacije [svetovni splet]. FRAGMAT TIM d.d.. Dostopno na WWW: <http://www.fragmat.si/slo/nasveti.htm> [20.04.2015].
- [7] Pehan Stanislav. Metodika konstruiranja: učbenik. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2005.
- [8] Požnel Peter. Trojezični strojniški slovar: slovensko-angleško-nemški. Ljubljana : Tehniška založba Slovenije, 2005.
- [9] Strojnotehnološki priročnik, 7. Izdaja. Ljubljana: Tehnična založba Slovenije, 1998.