

dr Žarko Janković, Miljan Cvetković

MATERIJAL ZA PISANI DEO ISPITA IZ PREDMETA ZAŠTITA NA MAŠINAMA I UREĐAJIMA

1. ZAŠTITA PRI OBRADI BRUŠENJEM

UVODNE NAPOMENE

Brušenje predstavlja proces obrade metala rezanjem i primenjuje se, uglavnom, pri završnoj obradi. Međutim, proces brušenja se primenjuje i kod nekih operacija grube obrade kao što je sečenje materijala, ravnanje površina posle livenja, zavarivanja i slično.

Pri obradi brušenjem, glavno kretanje je obrtno i izvodi ga alat - tocilo, dok pomoćno kretanje koje može biti pravolinijsko i obrtno izvodi obradak.

Brušenje, za razliku od ostalih načina obrade metala rezanjem, karakteriše relativno velika obimna brzina rezanja i specifičnost prirode materijala alata - tocila.

Brzina rezanja je jedna od bitnih razlika u odnosu na ostale načine obrade materijala rezanjem. Dok su kod ostalih načina obrade rezanjem brzine u granicama od 20 - 200 m/min, dotle brzina brušenja može biti i do 2000 m/min. Zbog ovako relativno velike vrednosti, obično se brzina brušenja izražava metrima u sekundi, (m/s).

Druga bitna razlika obrade brušenjem je specifičnost materijala alata - tocila. Dok su svi rezni alati, uglavnom, izrađeni od homogenih materijala (brzoreznog čelika), dotle je alat za brušenje - tocilo izrađeno od abrazivnih čestica i vezivnog materijala, koji zajedno čine strukturu tocila u većoj ili manjoj meri poroznom. Zbog ovih specifičnosti; relativno velike brzine rezanja i nehomogene strukture alata za brušenje-tocila, dolazi do mehaničkih i temperaturnih naprezanja u njegovoj unutrašnjosti, tako da je ono podložno raspadanju. Ukoliko se ovome doda i činjenica da je tocilo vrlo krto, tako da i najmanji udari mogu da budu uzrok loma i njegovog razletanja, može se pretpostaviti kakva opasnost preči radniku koji vrši brušenje.

Kinematika procesa rezanja pri brušenju je slična procesu glodanja. Svako abrazivno zrnce u procesu brušenja ima ulogu reznog klina, pa s obzirom na njihov broj, tocilo predstavlja "mnogosečan alat".

U procesu brušenja nastaje relativno visoka temperatura u zoni rezanja (do 1500 °C) te strugotina sagoreva. Zbog ovog procesa, pri brušenju metalnih obradaka, vrši se hlađenje zone rezanja. Zadatak rashladnog sredstva je da vrši hlađenje i odvodi strugotinu iz zone rezanja.

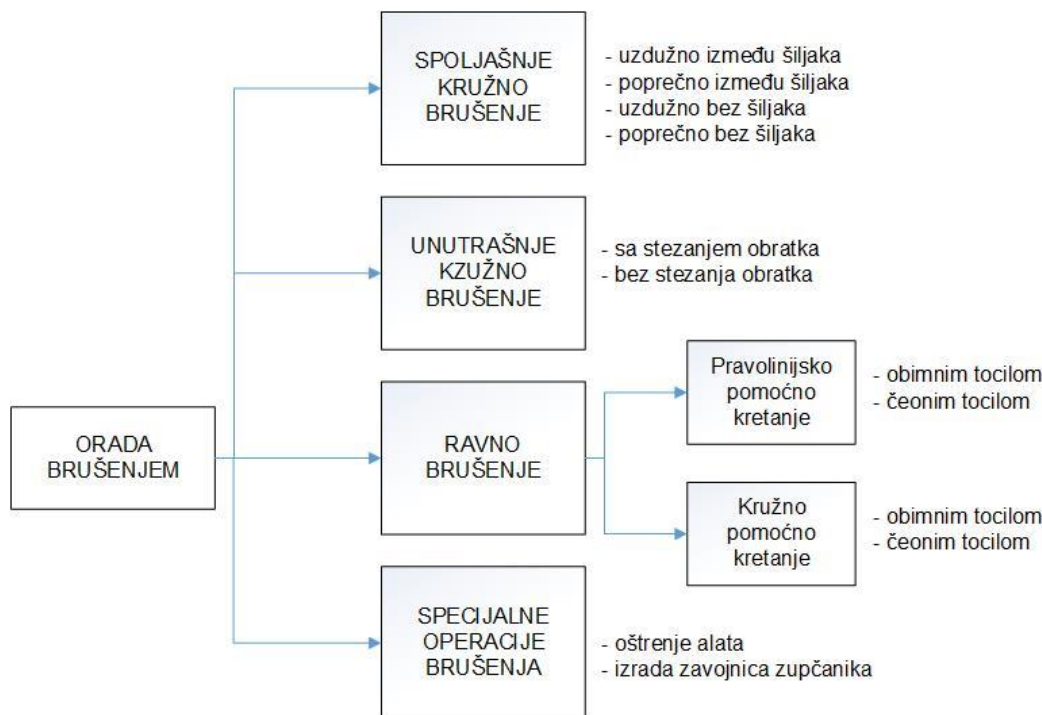
1.1. OSNOVNE OPERACIJE PRI OBRADI BRUŠENJEM

Rezanje materijala pri obradi brušenjem obavljaju veoma sitna abrazivna zrna – sredstva za brušenje, relativno velike tvrdoće, tako da je strugotina malog preseka, a obrađena povi visokog kvaliteta.

Jedna od klasifikacija operacija pri obradi brušenjem prikazana je na slici 1.1.

U zavisnosti od oblika površine koja se brusi, oblika tocila i radnih karakteristika brus razlikuje se:

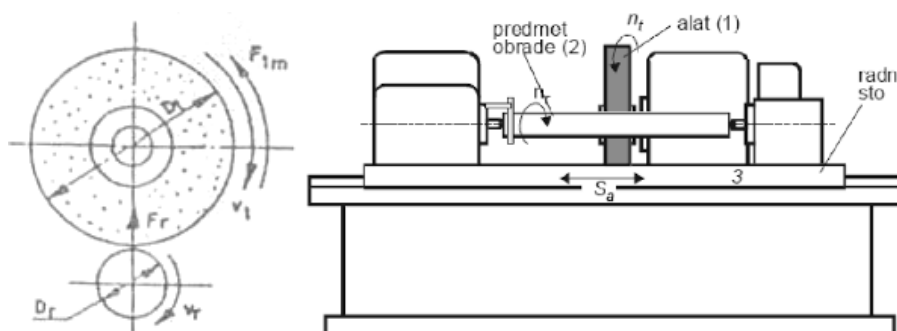
- spoljašnje i unutrašnje kružno brušenje,
- ravno i uzdužno brušenje,
- specijalne operacije brušenja (oštrjenje alata, izrada zavojnica i zupčanika i slično).



Sl. 1.1. Osnovne operacije brušenjem

Spoljašnje kružno brušenje obuhvata nekoliko specijalnih oblika brušenja, kao što su: uzdužno brušenje između šiljaka, poprečno između šiljaka, uzdužno bez šiljaka, poprečno bez šiljaka i brušenje više profilnim ili jedno profilnim tocilima.

Proces spoljašnjeg kružnog brušenja između šiljaka i uzdužnim pomoćnim kretanjem točila prikazan je na slici 1.2.



Sl. 1.2. Spoljašnje kružno brušenje

Kod spoljašnjeg kružnog brušenja, alat - točilo (2) izvodi glavno obrtno kretanje, a obradak (1) izvodi dva pomoćna kretanja: obrtno i uzdužno - pravolinijsko koje je paralelno osi točila. Ovakvom kombinacijom pomoćnog kretanja obezbeđuje se kontakt svih delova cilindrične površine obratka i točila u toku brušenja.

1.2 OSNOVNE KARAKTERISTIKE ALATA ZA BRUŠENJE

Pri obradi brušenjem koriste se točila čiju strukturu čine dve osnovne komponente:

- SREDSTVO ZA BRUŠENJE (abrazivni materijali) i
- VEZIVNI MATERIJAL (vezivo).

1. SREDSTVA ZA BRUŠENJE - (abrazivni materijali) imaju oblik sitnih zrna koja su tvrda i nepravilnog oblika, a prema načinu dobijanja mogu biti prirodna i veštačka. Prvi korišćeni alati za obradu brušenjem imali su abrazivna zrna od prirodnih materijala kao što su: korund, kvarc i prirodni dijamant.

Korund u svom sastavu ima veliki sadržaj aluminijum oksida i nalazi se u prirodi u vidu

blokova a uglavnom se koristi za poliranje stakla.

Kvarc se koristi za brušenje stakla i drveta.

Prirodni dijamant ima znatno veću tvrdoću od korunda i predstavlja najtvrdi materijal koji se nalazi u prirodi. Koristi se za brušenje i rezanje tvrdih metala.

Osim prirodnog dijamanta, druga prirodna sredstva za brušenje se danas praktično i ne koriste za izradu kvalitetnih tocila, jer ova sredstva u prirodnom stanju sadrže razne primese koje štetno utiču na kvalitet ovih alata. Prirodna sredstva za brušenje imaju sve manju primenu, dok je industrijska proizvodnja veštačkih materijala dobila primat.

Najvažnija veštačka sredstva za brušenje su: karborundum - silicijum karbid (SiC), elektrokorund (Al_2O_3), borkarbid (B_4C), kubični nitrid bora, i veštački dijamant.

Karborundum - silicijum karbid (SiC) je prvi veštački abrazivni materijal za brušenje. Silicijum karbid se dobija topljenjem kvarcnog peska i mlevenog koksa, a u zavisnosti od sadržaja razlikuje se cmi i zeleni. Ovo sredstvo ima romboidne kristale velike tvrdoće od 3300 do 3600 daN/mm² i toplotnu izdržljivost od 1300 – 1400 °C.

Elektrokorund je oksid aluminijuma (Al_2O_3) i dobija se topljenjem boksita u elektro pećima. U zavisnosti od sadržaja aluminijum oksida razlikuje se normalni (oznaka A), beli iii plemeniti (oznaka B), monokorund i legirani elektrokorund. Postoje različiti kvaliteti ovog sredstva za brušenje i uglavnom se koristi za brušenje tvrdih materijala.

Borkarbid (B_4C) se dobija sinterovanjem (topljenjem borne kiseline i naftnog koksa). Ovo sredstvo je veoma tvrdo (4000 - 5000 daN/mm²) i primenjuje se za brušenje i glačanje prirodnog rubina i sečiva alata izrađenih od tvrdih metala.

Kubični nitrid bora (sintetički dijamant) dobija se sintezom od grafita, odnosno nitrda bora pri visokim temperaturama i nalazi primenu kod obrade vrlo tvrdih i krtih materijala. Ovo sredstvo po tvrdoći je približno dijamantu i ubraja se u najtvrdja veštačka sredstva za brušenje.

Prirodni i veštački dijamant predstavljaju najtvrdja sredstva za brušenje, čija se tvrdoća uzima kao etalon za najveću tvrdoću. Prema Mosovoj skali dijamant ima tvrdoću 10, a ostali materijali, koji se koriste kao sredstva za brušenje imaju tvrdoću 9. Odnos između tvrdoće 9 i 10 označava da dijamant ima približno 100 puta veću tvrdoću od ostalih sredstava za brušenje. Najvažnija uloga sečiva od dijamanta je da se koristi za oštrenje, odnosno popravku tocila.

2. VEZIVNI MATERIJAL je drugi važan sastavni element alata za brušenje. Ovaj materijal može biti organskog i neorganskog porekla. Vezivni materijali na bazi prirodne i veštačke smole, gume, kaučuka i dr. ubrajaju se u organska vezivna sredstva, a neorganska vezivna sredstva su od gline, stakla, metala, porcelana ili sličnog keramičkog materijala.

Organski vezivni materijali poseduju veliku čvrstoću i žilavost, otporni su na udare i nose oznaku "O".

Grupu vezivnih materijala organskog porekla (šelak, kalofonijum, guma, smole proizvedene sintetičkim putem) odlikuje velika čvrstoća i žilavost. Tocila izrađena na bazi ovog vezivnog materijala otporna su na udare. Međutim, njihova zbijena struktura dovodi do brzog začepljenja otvora u tocilu. Tocila čiji je vezivni materijal organskog porekla pogodna su za oštrenje sečiva alata i odsecanje materijala. S obzirom da su ova tocila neosetljiva prema vlazi upotrebljavaju se za brušenje uz upotrebu tečnosti za hlađenje.

Neorganski vezivni materijali imaju veliku čvrstoću i neporoznost, a neosetljivi su na hemijske reakcije. U primeni je više vrsta ovih veziva, i to: keramičko, magnezitno, silikatno i metalno vezivo.

Keramičko vezivo (oznaka V) je najpogodnije vezivno sredstvo zbog velike čvrstoće, i poroznosti i neosetljivosti prema hemijskim uticajima. Dobija se iz raznih vrsta gline - pečenjem i do belog usijanja. Glavni sastojci ovakve veze su: glina, kaolin feld-spat, i kvarc. Nedostatak ovog vezivnog materijala je velika krutost i osetljivost na udare.

Magnezitno vezivo (oznaka Mg) je osetljivo na vlagu, a služi za brušenje pri manjim brzinama (do 20 m/s) bez hlađenja.

Silikatno vezivo (oznaka S) je na bazi tečnog stakla. Ovaj vezivni materijal je pogodan za izradu tocila velikih prečnika, preko 900 mm.

Metalno vezivo (oznaka M) predstavlja leguru bakra, kalaja, gvožđa, aluminijuma, nikla i drugih metala. Ovo vezivo najčešće se upotrebljava kod dijamantskih tocila.

Keramičko vezivo se koristi uglavnom za sve abrazivne materijale, dok se magnezitno i silikatno primenjuje sa silicijum karbidom.

Osim osnovnog materijala veziva sadrže i punioce, koji poboljšavaju fizičko-mehaničke osobine veziva, a i samog tocila.

Zavisno od sredstva za brušenje i vezivnog materijala, tocila se razlikuju prema: finoći, tvrdoći i strukturi.

FINOĆA TOCILA predstavlja merilo za veličinu zrna sredstva za brušenje. Finoća, odnosno veličina abrazivnih zrna meri se brojem petlji na dužini od jednog cola sita kroz koje zrnca još propadaju, a zaustavljaju se na prvom sledećem situ koje ima više otvora.

Standardne vrednosti za finoću tocila su:

- vrlo gruba	8,	10,	12		
- gruba	14,	16,	20,	24	
- srednja	30,	36,	46,	54,	60
- fina	70,	80,	90,	100,	120
- vrlo fina	150,	180,	220,	240,	260
- posebno fina	280,	320,	400,	500,	600

Abrazivna zrna sredstva za brušenje krupnoće od 280 do 600 predstavljaju prah koji se ne meri prosejavanjem kroz sito, već taloženjem praha u vodi do određene visine.

TVRDOĆA TOCILA podrazumeva čvrstoću vezivnog materijala, a ne sredstva za brušenje kako bi na prvi pogled moglo da se zaključi. Tvrdoća tocila je karakteristika koja označava sposobnost vezivnog materijala da zadrži zrnca u masi tocila i suprotstavi se ispadanju ovih zrnaca pod dejstvom spoljašnjih sila. Ukoliko je otpor prema ispadanju zrnaca veći utoliko je veća tvrdoća tocila. Obeležavanje tocila određene tvrdoće vrši se velikim slovima od E do Z.

- vrlo meka	E,	F,	G	
- meka	H,	I,	J,	K
- srednja	L,	M,	N,	O
- tvrda	P,	R,	S,	
- vrlo tvrda	T,	U,	W,	

U procesu brušenja abrazivna zrnca se habaju, lome i potpuno ispadaju iz sastava tocila stvarajući mogućnost da novo zrnce započne dejstvo. Na ovaj način spontano dolazi do oštrenja tocila, što se u praksi naziva "samooštrenje" alata za brušenje.

Dabi se postigli povoljni rezultati u procesu brušenja, pri izboru tocila, njegova tvrdoća treba da bude prilagođena tvrdoći obratka koji se brusi. Pri brušenju obratka veće tvrdoće habanje zrnaca je intenzivnije u odnosu na brušenje mekših materijala. Zbog intenzivnog habanja zrnaca potrebno je efektom "samooštrenja" omogućiti brže ispadanje zatupljenih zrnaca, kako bi u dejstvo mogla da stupe nova oštija zrnca. Ovo se postiže upotrebom mekšeg vezivnog sredstva za izradu tocila.

Svaki alat za brušenje ima jasno naznačene osnovne karakteristike, kojima je definisan njegov kvalitet. Osnovne podatke o kvalitetu tocila proizvođači obično označavaju na tocilu. Svaki proizvođač ima svoje oznake, zbog čega je otežan pravilan izbor i zamena tocila. Prilikom izbora tocila treba voditi računa o njegovim osnovnim oznakama kojima je definisana: struktura (poroznost), finoća, tvrdoća, vrsta vezivnog materijala i sredstvo za brušenje.

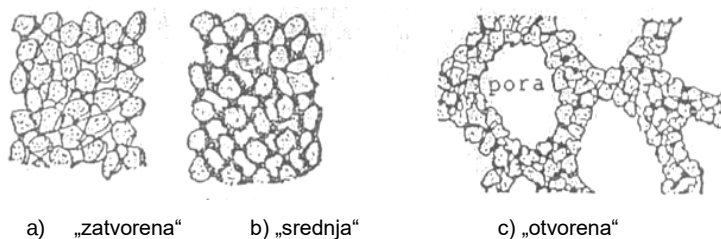
Uopšte uzev pri brušenju važi pravilo da se tvrdi materijali obrađuju tocilom manje tvrdoće, a

mekši materijali tociлом veće tvrdoće.

STRUKTURU TOCILA ili poroznost karakteriše odnos zapremine abrazivnih zrnaca i zapremine šupljina između njih. Odnos ovih zapremina u zavisnosti od strukture tocila može biti od 1 do 9. Tako je na osnovu ovih brojčanih vrednosti izvršeno razvrstavanje tocila na različite poroznosti:

- mala poroznost - "zatvorena" (1 - 3)
- srednja poroznost - "srednja" (4 - 6)
- velika poroznost - "otvorena" (7 - 9)

Struktura tocila određene poroznosti prikazana je na slici 1.3.



Sl. 1.3. Struktura tocila

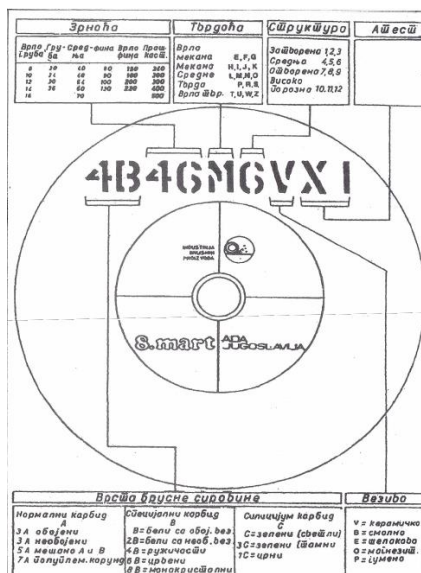
Zatvorena tocila imaju malu poroznost, struktura im je zbijena, što znači da su manje šupljikava - (vidi sl. 1.3a).

Srednje porozna tocila imaju nešto veće šupljine od zatvorenih, što se može videti na sl. 1.3b.

Otvorena tocila se odlikuju velikom poroznošću, kod kojih su šupljine izrazito velike (vidi sl. 1.3c). Ova tocila su izrađena od vrlo finih zrnaca, tako da se umesto sekućih ivica zrnca formiraju sekući zidovi. Šupljine u tociu služe kao komore za prijem strugotine, tako da se sprečava njeno lepljenje za tociло, a kasnije sredstvom za hlađenje i dejstvom centrifugalne sile strugotina biva izbačena iz šupljina.

Tocilima velike poroznosti bruse se mekši metali jer su skloni lepljenju na radne površine tocila. S druge strane primena ovih tocila pokazuje poboljšane efekte i pri brušenju materijala velike tvrdoće u toku kojeg se oslobađa relativno velika količina toplote.

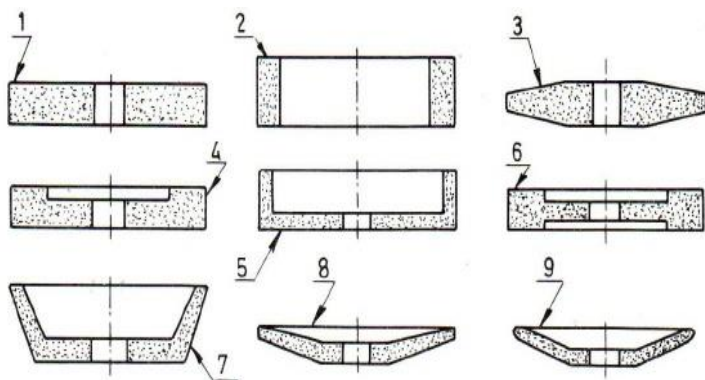
Osnovne oznake tocila, jednog od proizvođača ovih alata prikazane su na slici 1.4.



Sl. 1.4. Osnovne oznake tocila

U praksi se koriste vrlo različiti oblici i dimenzije tocila. Na ovu raznolikost utiče, pre svega: način obrade, karakter obrade - gruba ili fina obrada, vrsta brusilice, oblik i dimenzije obratka i slično.

Oblici tocila prikazani su na slici 1.5.



- 1 – koturasto,
- 2 – obručno,
- 3 – konusno,
- 4 – koturasto sa jednostranim upustom,
- 5 – lončasto,
- 6 – koturasto sa dvostranim upustom,
- 7 – konično lončasto,
- 8 – tanjirasto,
- 9 – tanjirasto profilno

Sl. 1.5. Osnovni oblici tocila

Od svih oblika tocila najrasprostranjenija su kolutasta tocila koja se primenjuju za razne operacije brušenja. Ovaj oblik tocila ima široku primenu, ne samo na brusilicama različite konstrukcije, već i kao alat za ručno brušenje.

Ostali oblici tocila imaju uže područje upotrebe i obično je njihova primena namenjena za specijalne vrste brusilica.

Pri ravnom brušenju, oblici lončastih tocila sve više se zamenjuju jeftinijim i u eksploataciji ekonomičnijim tocilima koja imaju umetnute segmente. Prednost ovih tocila je u tome što se prilikom udara ne lomi celo tocilo, koje je posle toga neupotrebljivo, već se lome samo pojedini segmenti koji se lako zamenjuju novim. Poseban problem u smislu bezbednog rada pri brušenju predstavlja način učvršćivanja tocila. O ovom problemu biće posebno reči u delu opasnosti i mere zaštite pri radu mašina za brušenje.

1.3. OPASNOSTI I MERE ZAŠTITE KOD OBRADE BRUŠENJEM

1.3.1 Opasnosti kod brušenja

Obradu brušenjem prate brojne opasnosti u toku rada, kao što su: buka, prašina, lom i razletanje tocila. Od svih opasnosti za problematiku koja se ovde analizira, najkarakterističnije su one koje prouzrokuju mehaničke povrede. Iz tih razloga ovde će o njima posebno biti reči. Opasnosti od mehaničkih povreda pri obradi brušenjem uglavnom nastaju usled:

- loma tocila i razletanja njegovih delova,
- zaglavljanja obratka i povlačenja ruku radnika u prostor između tocila i štitnika, odnosno radnog oslonca,
- odbacivanja obratka van zone rezanja zbog naglog povećanja brzine rezanja,
- nestručnog rukovanja ručnom brusilicom pri promeni broja obrtaja i otpora rezanja,
- nepravilno obavljanih pomoćnih radnih operacija, kao što su: manipulacija teškim tocilima, rukovanje električnom instalacijom, rad bez propisanih ličnih zaštitnih sredstava i sl.
- razletanja strugotine (iskri) i raspršivanja sredstva za hlađenje.

Od svih opasnosti koje se događaju pri obradi brušenjem najteže su one koje nastaju lomu i razletanju tocila. Lom i razletanje tocila, uglavnom, prouzrokuju unutrašnja naprezanja koja su uslovljena centrifugalnom silom, obimnom brzinom tocila, temperaturnim promenama, otporima rezanja i neuravnoteženošću tocila.

Neuravnoteženost tocila je, uglavnom, posledica različito raspoređene mase u odnosu na osu tocila. Međutim, neuravnoteženost može nastati i tokom upotrebe tocila, zbog nejednakog trošenja po obodu, oštećenja površine tocila i upijanja vlage pri hlađenju. Iz tih razloga dolazi do dopunskog naprezanja u strukturi tocila, koje je utoliko veće ukoliko je obimna brzina i veličina ekscentričnosti mase tocila veća.

Osim unutrašnjih promena u tocilu, njegov lom mogu prouzrokovati i drugi uticaji, kao što su:

- prekomeran pritisak ili udar o telo tocila,
- nepravilno montiranje tocila na pogonsko vratilo,

- pogrešan izbor veličine i oblika prirubnice za učvršćivanje tocila,
- nepravilno manipulisanje i uskladištenje tocila,
- neizbalansiranost tocila (prouzrokuje nastajanje ekscentričnih sila i vibracija),
- nepravilan tehnološki izbor tocila, koji podrazumeva pogrešnu primenu za određenu vrstu materijala obratka, dati kvalitet obrade, režim obrade, prekoračenje dozvoljene brzine i slično.

Pri obradi brušenjem, najčešće nastaju povrede očiju ili udar od razletanja delova tocila usled loma. Ako se ovome dodaju i druge navedene opasnosti koje su karakteristične za obradu brušenjem može se zaključiti da se o zaštiti na brusilicama mora posebno voditi računa.

1.3.2 Mere zaštite kod brušenja

U smislu zaštite radnika koji rukuju brusilicama u procesu rada koriste se različiti zaštitni uređaji. Ovi uređaji se međusobno razlikuju u zavisnosti od vrste brusilica, i to: da li je stabilna ili prenosna brusilica, brusilica za oštrenje alata, brusilica za ravno brušenje, brusilica za unutrašnje ili spoljašnje kružno brušenje, itd.

Zajedničke karakteristike svih zaštitnih uređaja i mera koje se preduzimaju pri obradi brušenjem sastoje se u:

- određivanju dozvoljene obimne brzine tocila,
- izboru i učvršćivanju tocila na pogonsko vratilo,
- zaštitnom ograđivanju alata - tocila,
- uklanjanju strugotine i prašine iz zone rezanja,
- manipulaciji i uskladištenju
- alata - tocila.

Pored navedenih posebnih zaštitnih mera, u cilju bezbednog rada, treba voditi računa i opštim merama zaštite kao što su: obuka radnika iz oblasti zaštite pri obradi brušenjem, korišćenje ličnih zaštitnih sredstava, pravilna organizacija radnog mesta i sl. Da bi se shvatila uloga primene određenih zaštitnih mera ovde će biti reči o onim merama o kojima treba posebno voditi računa da bi se opasnosti pri korišćenju brusilica svele na najmanji mogući nivo.

Dozvoljena obimna brzina tocila

Obimna brzina tocila je jedan od najvažnijih faktora koji utiče na veličinu unutrašnjih naprezanja u tocilu. Tako da je osnovni kriterijum za određivanje dozvoljene brzine napon raspadanja tocila. Međutim, na veličinu dozvoljenih obimnih brzina utiču i tehničko-tehnološki faktori kao što su: materijal obratka, postupak obrade brušenjem (unutrašnje, spoljašnje i ravno brušenje), karakteristike alata - tocila, itd.

Dozvoljene obimne brzine tocila definisane su standardom i mogu biti u rasponu od 8 do 80 m/s. U tom smislu obaveza je proizvođača da na svakom tocilu jasno naznači dozvoljenu obimnu brzinu.

Sa stanovišta zaštite na radu veoma je važno odrediti maksimalnu dozvoljenu obimnu brzinu tocila koja mora biti znatno manja nego ona na granici raspadanja. Iz tih razloga potrebno je voditi računa o obimnoj brzini pri svakoj promeni tocila i uvažavati preporuke proizvođača za dozvoljene brojeve obrtaja pogonskog vrtila u odnosu na prečnik tocila.

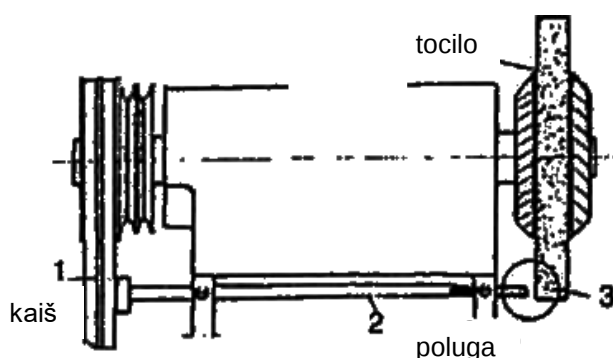
Orijentacione vrednosti obimskih brzina tocila pri brušenju date su u tabeli 1.1.

Postoje različiti sistemi za kontrolisanje, regulisanje i ograničavanje obimne brzine tocila. Na primer, promena brzine tocila može da se vrši pomoću elektronskih uređaja za regulisanje broja obrtaja. Međutim, da bi se onemogućilo postavljanje tocila većeg prečnika od dozvoljenog neke brusilice imaju mehanički uređaj koji to reguliše.

Tabela 1.1. Orijentacione vrednosti obimnih brzina pri brušenju

VRSTA BRUŠENJA	MATERIJAL OBRATKA	DOZVOLJENA OBIMNA BRZINA TOCILA, [m/s]
Spoljašnje i unutrašnje	- čelik	(25 - 30)
	- sivi liv	25
	- tvrdi metali	8
	- legure cinka	(20 - 35)
Ravno	- čelik	25
	- sivi liv	20
	- tvrdi metali	8
	- legure cinka	25
Oštrenje alata	- čelik	25
	- tvrdi metali	(12 - 22)
Sečenje	- obojeni metali, čelik, sivi liv i si.	(45 - 80)

Šematski prikaz mehaničkog uređaja za ograničenje obimne brzine tocila prikazan je na slici 1.6.



Sl. 1.6. Uređaj za ograničenje brzine tocila

Prilikom promene prenosnog odnosa, premeštanjem kaiša (1) poluga (2) vrši kočenje tocila (3), ako je prečnik veći od dozvoljenog.

Mere koje treba preduzeti pre montiranja tocila

Pre nego što se tociło montira na pogonsko vratilo brusilice potrebno je proveriti da li ono ispravno. Za ispitivanje ispravnosti tocila najčešće se koristi audio - vizuelna metoda.

Vizuelan pregled tocila podrazumeva registrovanje određenog stanja i to: grubih oštećenja, naprslina, deformacija, zaprljanosti, vlažnosti tocila i drugih karakteristika koje proizvođač u deklaraciji (etiketi koja je nalepljena na tociću).

Akustičko utvrđivanje ispravnosti vrši se laganim udaranjem po tociću, drvenim čekićem mase od 200 - 300 g. Ovo ispitivanje se vrši tako što se tociło okači o kanap i pusti slobodno visi, zatim se blago udara sa bočne strane drvenim čekićem. Ispravno je ono to koje odaje jasan zvuk, a neispravno ono koje odaje prigušen - mukao odjek.

Audio - vizuelna metoda ispitivanja ispravnosti tocila vrši se veoma jednostavno. Ova metoda se uglavnom vrši samo na novim neupotrebljavanim tocićima. Međutim, za razliku ovog načina ispitivanja tocila proizvođači primenjuju znatno pouzdanije metode ispitivanja. Ova ispitivanja su standardizovana (SRPS K. F0. 010, tehnički propisi za izradu i isporuku veštačkih tocila) i vrše se u posebnim uslovima i specijalnim uređajima. Prema ovom standardu tocila manjeg prečnika od 150 mm se ispituju samo na zahtev naručioca, a ispitivanje većeg prečnika je obavezno.

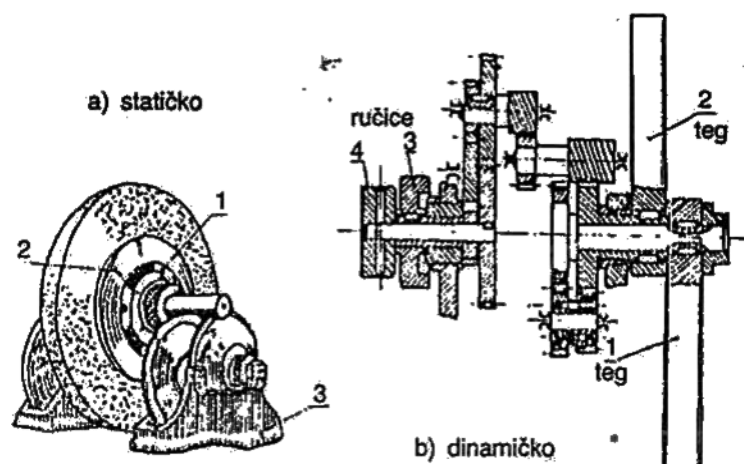
Ispitivanje obuhvata proveru otpornosti tocila na raspadanje pod dejstvom centrifugalne sile pri brzinama većim za 40% do 50% od maksimalno dozvoljenih. Ako za vreme ispitivanja u trajanju od tri minuta nema nikakvih oštećenja tocila onda se ono smatra ispravnim. Međutim, ovo vreme ispitivanja može biti i duže, a zavisno od prečnika tocila. Prema GOST standardu vreme ispitivanja je; za tocića prečnika od 30 do 150 mm - tri minuta, za tocića prečnika od 150 do 475 mm - pet minuta, za tocića većeg prečnika od 475 mm -vreme ispitivanja je sedam minuta. Ako tocića nemaju naznačenu dozvoljenu obimnu brzinu preporučuje se da njihovo ispitivanje traje 10 minuta pri brzini od 64 m/s.

Postupak ispitivanja tocila se sprovodi tako što se postepeno povećava brzina do dozvoljene vrednosti, a zatim smanjuje sve do nule. Prilikom ovog ispitivanja obavezno se vodi dnevnik u kome se registruje brzina pri ispitivanju i zapažene primedbe.

Ispitivanje ispravnosti tocila obavezno se vrši i posle duže upotrebe, jer dolazi do trošenja tocila i nastaju neravnine po obodu. Postupak ravnjanja tocila vrši se specijalnim alatom koji na vrhu ima dijamant ili neki drugi tvrdi materijal.

Načini uravnoteženja tocila

Nakon ustanovljene greške, vizuelnim pregledom tocila, potrebno je izvršiti njegovo uravnoteženje montiranjem odgovarajućih protivtegova na prirubnicu. U praksi postoje dva osnovna načina uravnoteženja tocila, i to: statičko i dinamičko, prikazana na slici 1.67.



Sl. 1.7. Načini uravnoteženja tocila

Statičko uravnoteženje tocila

Način ovog uravnoteženja, prikazanog na sl.1.7a, vrši se tako što se točilo zajedno sa vratilom postavlja na posebne diskove (3). Uravnotežavanje se vrši posredstvom tri pokretne pločice (2) koje se nalaze u žlebu prirubnice (1) i pomeraju se u željeni položaj ravnoteže. Pločice koje služe za uravnoteženje imaju hiljaditi deo mase tocila.

Statičko uravnoteženje tocila više je zastupljeno u odnosu na dinamičko, sl. 1.7b. Dinamičko uravnoteženje se obično vrši kod tocila čija je širina (B) veća od $1/6$ spoljašnjeg prečnika (D), tj. $B > D/6$.

Dinamičko uravnoteženje tocila

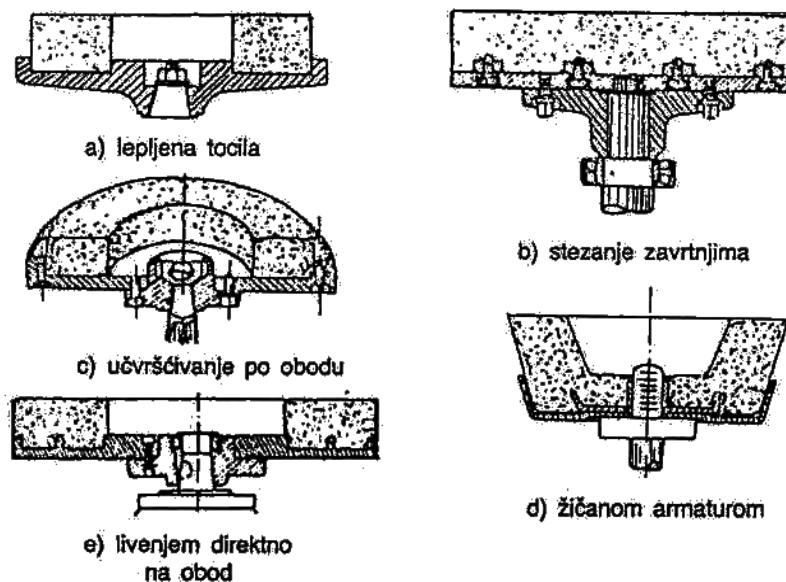
Ovo uravnoteženje, prikazano na sl.1.7b, obavlja se kružnim pomeranjem, tegova (1) i (2) pomoću ručica (3) i (4). Ravnotežni položaj tocila određuje se pomoću instrumenta za merenje vibracija. Ukoliko su izmerene vibracije u granicama izvršeno je dobro uravnoteženje sklopa tocila.

Montiranje tocila

Pravilno montirano točilo na pogonsko vratilo brusilice predstavlja veoma važan preduslov kako za bezbedan rad tako i za tačnost procesa obrade.

Montiranje tocila na pogonsko vratilo brusilice vrši se pomoću prirubnica. Prirubnica predstavlja poseban mašinski element koji je konstruisan tako da efikasno prenese obrtni moment sa pogonskog vrtila na točilo. Međutim, pored prenošenja obrtnog momenta prirubnicom se vrši učvršćenje tocila u radijalnom i aksijalnom pravcu. Kod ravnih površina tocila prirubnica, obično, nema neku veću zaštitnu ulogu, dok kod konusnih tocila, pogotovo ako nema zaštitnog oklopa prirubnice predstavljaju jedinu zaštitu u smislu ograničenog trošenja i razletanja u slučaju loma tocila.

Načini montiranja i učvršćivanja različitih oblika tocila prikazani su na slici 1.8.



Sl. 1.8. Karakteristični načini montiranja tocila

Konstrukcija prirubnice zavisi od oblika tocila i načina montiranja na pogonsko vratilo brusilice. Svaka prirubnica ima tri osnovna dela: obod, elastični podmetač i navrtku za pritezanje. Obod prirubnice zavisi od oblika tocila i sistema koji se koristi za pričvršćivanje. U praksi, kod ravnih tocila prirubnice, obično, imaju obod čiji prečnik mora da bude najmanje jednu trećinu spoljašnjeg prečnika tocila (tj. $D/3$), a kod konusnih jednu polovinu prečnika (tj. $D/2$).

Elastični podmetač koji se postavlja između prirubnice i tocila ima važnu ulogu u smislu zaštite. Ovaj podmetač obično se izrađuje od gume, kože, kartona i sličnog elastičnog materijala debljine od 0,5 do 2 mm i prečnika za 1 do 2 mm većeg od oboda prirubnice. Osnovna uloga podmetača je da ravnomerno prenese pritisak prirubnice, pri njenom zatezanju, na površinu tocila.

Navrtka služi za pričvršćivanje prirubnice, a zavrće se, radi osiguranja od sopstvenog odvrtanja, u istom smeru u kome se obrće tocilo pri radu.

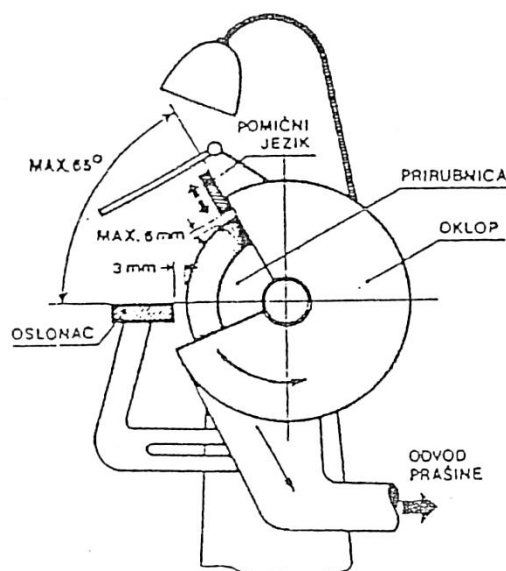
Prilikom montiranja i uravnotežavanja tocila na bilo koji način potrebno je voditi računa i o nekim opštim zahtevima, koji se ogledaju u sledećem:

- Montiranje tocila sme vršiti samo stručno osposobljeno lice za ovu vrstu poslova,
- Mogu se montirati samo ispravna i uravnotežena tocila i to u stanju mirovanja vratila,
- Pritezanje navrtke ili zavrtnja mora se obavljati odgovarajućim ključem i to pažljivo da se ne ošteti tocilo ili prirubnica,
- Nakon postavljanja tocila treba izvršiti vizuelnu kontrolu rada, stanje tocila i prirubnice, a zatim izvršiti statičko uravnoteženje (ako je moguće) i brusilicu uključiti u probni rad u trajanju najmanje jedan minut.

Pri uključivanju tocila u rad radnik obavezno mora da stoji sa bočne strane mašine - brusilice u odnosu na obrtanja alata - tocila.

1.3.2.1 Načini zaštitnog ograđivanja tocila

Da bi se ostvarili bezbedni uslovi rada i postigla efikasna zaštita radnika koji vrše brušenje potrebno je na brusilicu montirati: zaštitni oklop, uređaj za odvođenje prašine i strugotine iz zone rezanja, radni oslonac, štitnik za oči i lice, slika 1.9.



Sl. 1.9. Prikaz radioničke brusilice sa zaštitnim elementima

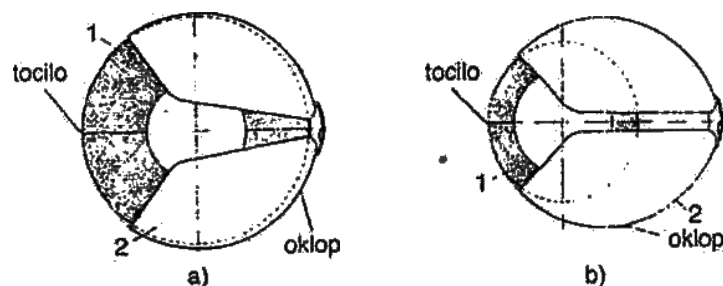
Uloga zaštitnih elemenata montiranih na jednoj radioničkoj brusilici, prikazanoj na slici 1.8, sastoji se u sledećem:

- ❖ da spreče nekontrolisano razletanje polomljenih delova tocila,
- ❖ da onemogući dodir tocila rukama dok se još obrće,
- ❖ da onemoguće montiranje tocila većih dimenzija od predviđenih i
- ❖ da vrše usmeravanje i odvođenje strugotine i prašine nastale pri brušenju

Zaštitni oklopi treba da budu nešto veći od dimenzija samog tocila, kako bi se ostvarili potrebni zazori između tocila i oklopa. Dozvoljeni zazori između neupotrebljavanog tocila i zaštitnog oklopa zavise od dimenzija tocila. Tako da su veličine ovih zazora sledeće: za tocila prečnika do 100 mm - zazor je 9 mm; za tocila do 300 mm - zazor je 10 mm; za tocila do 600 mm - zazor je 15 mm; za tocila do 1.400 mm - zazor je 20 mm.

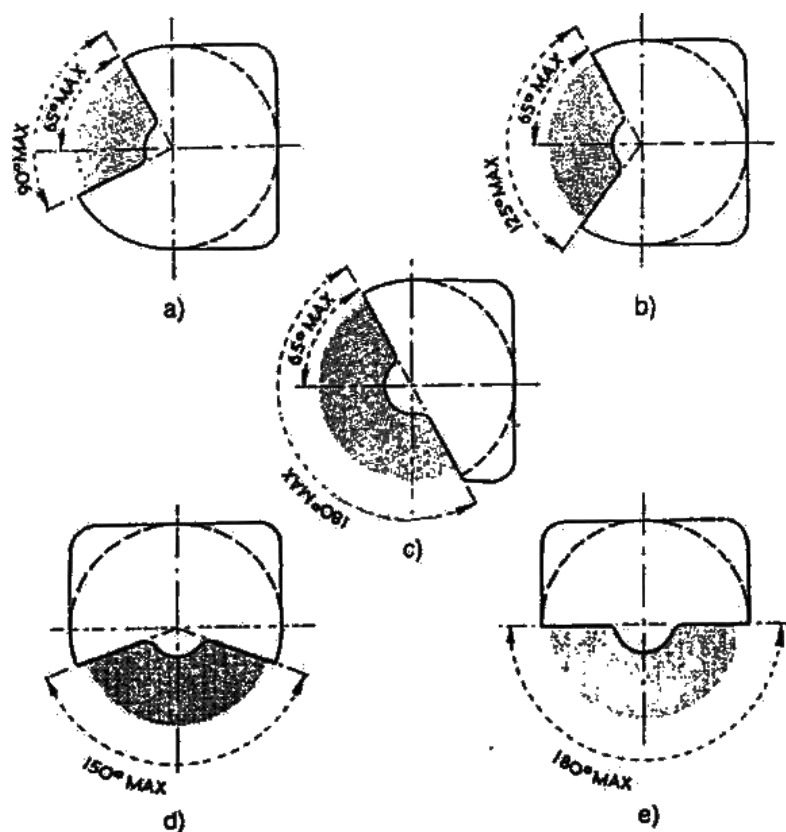
Bočni zazori između tocila i zidova oklopa, prema preporukama, treba da budu u granicama od 10 do 15 mm. Zaštitni oklop se, obično, izrađuje od čeličnog lima različite debljine. Ova debljina zavisi od veličine centrifugalne sile kojom raspolaže polomljeni komad tocila i dozvoljenog naprezanja materijala na smicanje.

Ugao otvora zaštitnog oklopa oko tocila može konstruktivno biti rešen tako da bude konstantan ili promenljiv podešavanjem oklopa u zavisnosti od radne operacije i veličine tocila, jer se njegov prečnik smanjuje usled trošenja. Promenljiva veličina ugla otvora oko tocila reguliše se pomoću pokretnog štitnika, čiji je prikaz dat na slici 1.10.



Sl. 1.10. Zaštitni oklopi koji se mogu podešavati

Oblici standardnih zaštitnih oklopa oko tocila, koji su nepromenljivi, prikazani su na slici 1.11.

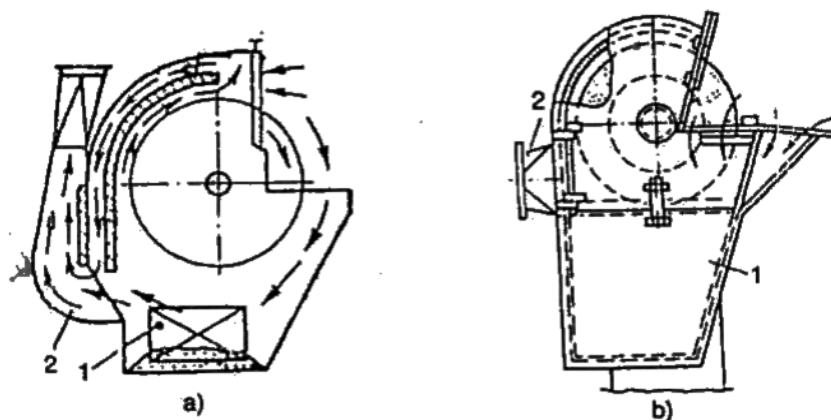


Sl. 1.11. Standardni oblici zaštitnih oklopa oko točila

1.4 ODSISAVANJE METALNE I ABRAZIVNE PRAŠINE

Prilikom suvog brušenja nastaje velika količina metalne i abrazivne prašine koja se razleće u različitim pravcima zavisno od smera obrtanja točila. Nastala strugotina i prašina smanjuju vidljivost u zoni obrade i štetno deluje na disajne organe. Međutim, pored ovih posledica ugrožene su oči i lice radnika. Zbog toga je potrebno da se na brusilici ugradi pneumatska instalacija za uklanjanje strugotine i prašine iz zone rezanja.

Pneumatska instalacija za uklanjanje strugotine i prašine iz zone rezanja konstruiše se u sklopu zaštitnog oklopa, čiji oblik treba da bude takav da usmerava tok i sprečava izlazak vazdušne struje van oklopa, slika 1.12.



Sl. 1.12. Šematski prikaz uklanjanja prašine i strugotine pri obradi brušenjem
1 - deo oklopa za taloženje težih čestica prašine i strugotine, 2 - odvodna cev

Brzina strujanja vazduha pri pneumatskom uklanjanju strugotine i abrazivne prašine obično se

usvaja od 14 - 18 m/s za prečnik cevovoda od 80 do 100 mm, što zavisi od specifične težine prašine i veličine čestica strugotine.

Kod pneumatskog načina uklanjanja prašine i strugotine od više brusilica vazduh se razvodi iz jednog centra preko magistralnog voda većeg prečnika. Da bi se izbeglo zadržavanje prašine na mestima spajanja lokalnih i magistralnih cevi, obično se prema preporuci usvaja da brzina strujanja vazduha iznosi 16 m/s.

Količina vazduha potrebna za uklanjanja strugotine i prašine koja nastaje pri brušenju može da se odredi prema izrazu:

$$Q = q \cdot D \left[\frac{m^3}{h} \right], \quad (1.1)$$

gde su:

D – prečnik tocila, u [mm]

q – specifični protok vazduha, u [m³/h], usvaja se q = (1,6 – 2,4) – kod tocila za oštrenje alata, q = (4 - 6) – za tocila koja se koriste pri poliranju.

Prema istraživanjima M. F. Bromleja, količina vazduha se izračunava prema izrazu:

$$Q_v = 1,2 \cdot v \cdot A \cdot 3600 \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (1.2)$$

gde su:

v – brzina usisavanja vazduha, u [m/s], i

A – površina otvora usisavanja, u [m²].

Brzina usisavanja vazduha se usvaja i zavisi od obodne brzine tocila, tako da obično iznosi 30 % ove brzine, ($v = 1,3 \cdot v_0$).

Važno je napomenuti da se vazduh iz pneumatske instalacije pre izbacivanja u atmosferu mora grubo prečistiti pomoću filtera u obliku sita čiji su otvori (okanca) od 1 do 2 mm.

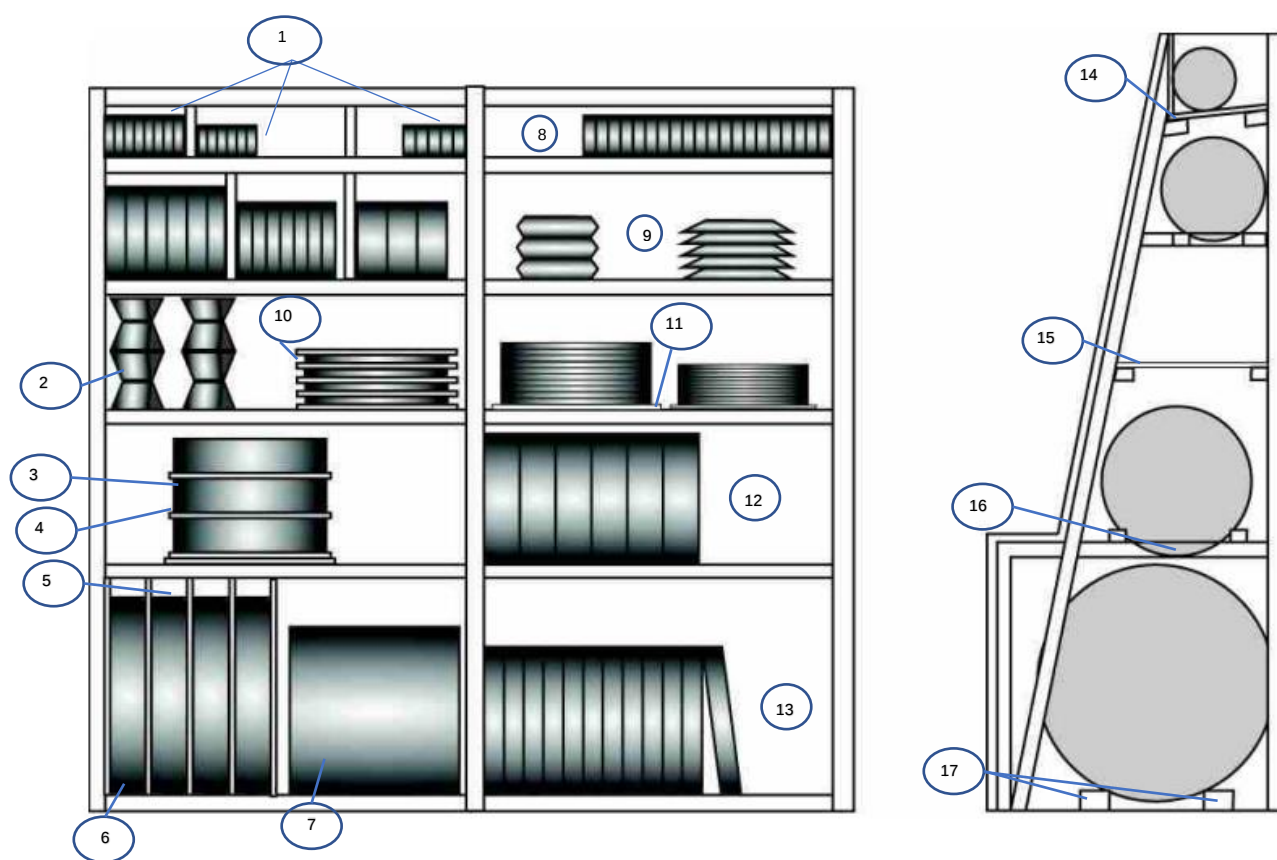
U nedostatku efikasnog sistema za uklanjanje prašine i strugotine iz zone rezanja radnici obavezno moraju koristiti lična zaštitna sredstva, i to: zaštitne naočare, štitnik za oči i lice, kožne rukavice, kecelju i zaštitno radno odelo.

1.5 MANIPULACIJA I USKLADIŠTENJE TOCILA

Pored kontrole ispravnosti tocila koju obavezno vrši proizvođač, korisnik je dužan da se pridržava svih pravila u pogledu manipulacije i uskladištenja ovog alata. Tocila su zbog specifične građe veoma osetljiva na spoljne uticaje (mehaničke udare, temperaturne promene, vlagu, pritisak i sl.) i vrlo lako menjaju svoje mehaničke karakteristike (pucaju, postaju neuravnotežena i sl.). Zbog osetljivosti tocila na razne spoljne uticaje i promene koje se na njima dešavaju potrebno je vršiti uskladištenje tocila u suve prostorije u kojima je temperatura iznad 5°C, a relativna vlažnost manja od 65 %.

Neka tocila, kao što su ona od keramičkog vezivnog materijala, veoma su osetljiva na promene temperature, pa ih je u zimskom periodu, pre upotrebe, potrebno zagrejati ili čuvati u toplijim prostorijama gde je temperatura iznad 18°C. Tocila koja imaju magnezitni vezivni materijal vrlo brzo gube svoje dobre osobine čvrstoće pod uticajem vlage, zbog čega je potrebno vršiti njihovo skladištenje na suvim mestima u prostoriji.

Uskladištenje različitih oblika i dimenzija tocila se obično vrši na posebnim stalažama i policama, slika 1.13.



Sl.1.13. Polica za uskladištenje tocila

1 - mala koturasta tocila 2 - lončasta tocila, 3 - obručna tocila, 4 - kartonski podmetač, 5 - čelična podloga, 6 - velika tocila, 7 - konusna tocila, 8 - lončasta tocila, 9 - specijalan profil, 10 - tanjirasta tocila, 11 - podloga za tocila, 12 - obručna tocila, 13 - pločasta tocila, 14 - kosa polica za tocila malog prečnika, 15 - polica za tanka tocila 16 - tocilo ne sme da štrči van police, 17 - postolje za tocilo

Za uskladištenje tocila postoje i određena pravila kojih se treba pridržavati da se tocila ne bi oštetila.

Prvo o čemu treba voditi računa pri uskladištenju tocila je visina stalaža. Tocila čija je masa veća od 16 kg treba postavljati do visine 1,6 m, a manja tocila najviše do 2 m. Ukoliko su police na koje se postavljaju tocila izrađene od metala, mesta gde se tocila postavljaju treba da budu obložena gumom, drvetom ili drugim elastičnim materijalom koji će sprečiti oštećenje tocila. Posebno treba voditi računa o skladištenju pločastih tocila male debljine. Ova tocila se ostavljaju u posebne stalaže između metalnih ravnih diskova, čiji prečnici odgovaraju prečniku tocila. U cilju

sprečavanja deformisanja oblika tocila potrebno je da ovako postavljena tocila budu još i opterećena teretom mase od 2 do 3 kg.

Prenošenje i montiranje tocila obično se vrši ručno pomoću priručnih sredstava, ako su u pitanju lakša tocila. Međutim, prilikom prenošenja teških i velikih tocila neophodno je koristiti ručna kolica na gumenim točkovima, čije su strane i dno obloženi elastičnim materijalom. Pri ovakvom prenošenju tocila naročitu pažnju treba obratiti da ne dođe do mehaničkih oštećenja usled udara i sl. Tocila koja u toku manipulacije budu izložena jačem mehaničkom udaru obavezno se moraju, bez obzira da li su oštećenja vidljiva okom ili ne, pre upotrebe, ponovo ispitati na način kako je to već ranije opisano (audiovizuelno).

1.6 ANALIZA STEPENA BEZBEDNOSTI I OPASNOSTI NA MAŠINAMA I UREĐAJIMA

Da bi mašina bila ispravna u pogledu bezbednog opsluživanja potrebno je da ima ugrađene odgovarajuće zaštitne uređaje. Za svaku mašinu i uređaj proizvođač je obavezan da izda atest, kojim se potvrđuje da ovi proizvodi zadovoljavaju propise u pogledu zaštite na radu. Međutim, iako su na mašini ugrađeni potrebni zaštitni uređaji, to apsolutno ne znači da u toku njenog opsluživanja radnik nije ugrožen. Ispravnost mašine o primenjenim merama zaštite, kod korisnika, dokazuje se posebnim uverenjem koje izdaje nadležna stručna ustanova iz oblasti zaštite na radu.

Procenu valjanosti mašina i uređaja u pogledu zaštite na radu nije jednostavno definisati. U ovom smislu, međutim, ne postoje objektivna merila za procenu ispravnosti mašina i uređaja u pogledu bezbednosti pri radu. Iz tih razloga ovde se daje predlog određivanja stepena opasnosti, odnosno procene primenjenih mera zaštite na mašinama i uređajima. Za analizu ovog stepena pošlo se od parametara koji pozitivno ili negativno mogu da utiču na bezbednost ljudi koji opslužuju. U svakom slučaju ti parametri zavise od namene mašine i potrebno ih je posebno analizirati.

1.6.1 Stepen bezbednosti

Opšti pokazatelj bezbednosti pri opsluživanju mašina i uređaja može se definisati kao funkcija:

$$S_o = f(S_a, S_p, S_o) \quad (1.3)$$

gde su:

S_a - stepen angažovanosti radnika kod mašine,

S_p - stepen pouzdanosti rada mašine, i

S_o - stepen opasnosti.

Stepen vremenskog i prostornog angažovanja (S_a) radnika kraj mašine neposredno utiče na ukupan stepen bezbednosti. Vremensko i prostorno angažovanje radnika kraj pojedinih mašina je različito, što uglavnom zavisi od načina proizvodnje.

Na primer univerzalni strug se najčešće koristi za pojedinačnu proizvodnju, pri čemu je radnik aktivno angažovan u zoni rezanja tokom celog procesa obrade. Iz tih razloga može se usvojiti da je stepen angažovanja (S_a) radnika kraj univerzalnih mašina približno (0.8 - 1.0).

Kod mašina za serijsku proizvodnju stepen angažovanja radnika u zoni obrade je manji u odnosu na univerzalnu mašinu. U ovom slučaju, zavisno od automatizovanosti mašine, stepen vremenskog i prostornog angažovanja radnika u procesu obrade je; $S_a = (0.2 - 0.8)$.

Automatske mašine, za masovnu proizvodnju, zahtevaju minimalno angažovanje radnika u zoni obrade. Kod ovih mašina stepen vremenskog i prostornog angažovanja je; $S_a = (0.1 - 0.2)$.

Na osnovu iznetih činjenica može se konstatovati da je pri istim opštim uslovima rada stepen bezbednosti veći ukoliko je vremensko i prostorno angažovanje radnika kraj mašine u procesu rada manje i obrnuto.

Stepen pouzdanosti, (S_p) predstavlja funkcionalnu sposobnost rada mašine pri čemu će ona određeni period vremena raditi bez otkaza - kvara. Ovaj stepen ima uticaja i na ukupan stepen

bezbednosti opslužilaca mašine. Veći stepen pouzdanosti rada mehanizama mašine, kao što su: spojnice, kočnice, uređaji za osiguranje od preopterećenja i dr. značiće manju ugroženost za opslužioce i obrnuto. Za ovu činjenicu uzima se u obzir konstatacija, da mehanizmi i uređaji vršeći pouzdano svoju osnovnu funkciju imaju uticaja i na stvaranje bezbednih uslova rada, jer rad mašine bez otkaza znači i eliminisanje potencijalnih opasnosti za radnike.

1.6.2 Stepen opasnosti

Stepen opasnosti, (S_o) u opštem izrazu stepena bezbednosti (3), uzima u objektivne - tehničke faktore, dok su zanemareni subjektivni - ljudski faktori, koji imaju uticaja na povećanje ili smanjenje opasnosti u radnom sistemu "čovjek - mašina".

Za opštu analizu, stepen opasnosti (S_o) može se definisati u obliku:

$$S_o = f(M_o, F_s, H_s, E_o, K_o, \dots) \quad (1.4)$$

gde su:

M_o – opasnosti od mehaničkih povreda,

F_s – opasnosti od fizičkih štetnosti,

H_s – opasnosti od hemijskih štetnosti

E_o – opasnosti od energetskih izvora,

K_o – kombinovane opasnosti, i sl.

Od svih navedenih opasnosti i štetnosti, za predmet ovog proučavanja, najznačajnije su opasnosti od mehaničkih povreda. O ostalim opasnostima i štetnostima ovde neće biti reči, iz razloga što su one predmet proučavanja drugih oblasti zaštite na radu.

Uzimajući u obzir samo opasnosti od mehaničkih povreda, stepen opasnosti u ovom slučaju, ima sledeću funkcionalnu zavisnost:

$$S_o = f(M_o) \quad (1.5)$$

Opasnosti od mehaničkih povreda proističu od pokretnih delova mašina koji su nezaštićeni i dostupni pri opsluživanju, čišćenju, podmazivanju ili neke druge aktivnosti radnika. Sem ovih slučajeva do mehaničkog povređivanja radnika može da dođe i pri razletanju delova materijala i alata. Ovo je najčešće izraženo pri radu na mašinama za obradu metala i drveta rezanjem. Delovi koji se razliću imaju relativno veliku kinetičku energiju i mogu da nanesu teže povrede radnicima i drugim licima ako se nađu u zoni njihovog dometa.

Bezbednost pri opsluživanju mašine i ugroženost opslužilaca su dva različita događaja. Prema verovatnoći nastajanja ovi događaji su suprotni, tako da nastajanje jednog isključuje nastajanje drugog. Na osnovu ove isključivosti može se usvojiti da stepen opasnosti (S_o) i stepen zaštite (S_z) predstavljaju dva različita događaja čiji je zbir jednak jedinici, ($S_o + S_z = 1$).

Na osnovu ovih događaja, za procenu ispravnosti mašine u pogledu bezbednog opsluživanja, može se odrediti stepen opasnosti prema sledećem matematičkom modelu:

$$S_o = 1 - \frac{1}{1 + a^{i \cdot 2^k}} \quad (1.6)$$

gde su:

a – parametar koji izražava osnovno obeležje opasnosti,

i – intenzitet opasnosti, i

k – opseg dejstva opasnosti.

Stepen opasnosti (S_o) se, zavisno od navedenih parametara (a , i , k), menja se u granicama od nule do jedan, $S_o = f(0,1)$.

Ako granična vrednost teži jedinici, odnosno:

$$\lim_{a \rightarrow 0} \frac{1}{1 + a^{i \cdot 2^k}} \rightarrow 1, \quad (1.7)$$

tada, prema izrazu (1.6), stepen opasnosti teži nuli, odnosno; $S_o \rightarrow 0$. U ovom slučaju stepen opasnosti je minimalan, ($S_o = \min.$) jer je sistem zaštite efikasan.

U drugom slučaju, ako granična vrednost teži nuli, odnosno:

$$\lim_{a \rightarrow \infty} \frac{1}{1+a^{i \cdot 2^k}} \rightarrow 0, \quad (1.8)$$

tada, prema izrazu (1.6) stepen opasnosti ima maksimalnu vrednost, teži jedinici ($S_o \rightarrow 1$), što znači da je stepen zaštite minimalan, odnosno teži nuli ($S_z \rightarrow 0$). Drugim rečima, na mašini ne postoji odgovarajući zaštitni uređaj koji bi sprečio povređivanje radnika.

U praktičnoj primeni mašina, mnoge opasnosti koje nastaju zavise od više parametara. Iz tih razloga predloženi metod za određivanje stepena opasnosti, izraz (1.6), upravo pruža široke mogućnosti za objektivno određivanje i upoređivanje različitih opasnosti na mašinama i uređajima.

Prema datom matematičkom modelu, izraz (1.6), na veličinu stepena opasnosti utiču tri parametra, i to: (a), (i), (k). Svaki od ovih parametara za određenu mašinu i uređaj ima posebna obeležja koja je potrebno analizirati.

Parametar (a) izražava osnovno obeležje opasnosti odgovarajućih fizičkih veličina, pri čemu se usvaja da su njegove realne vrednosti, $a = (0 - 1)$. Za relativno male vrednosti parametra (a), na primer $a = 0.1$, zakon promene stepena opasnosti odgovara nekoj eksponencijalnoj funkciji. Međutim, ukoliko vrednost parametra (a) teži jedinici, odnosno $a \rightarrow 1$, zakon promene stepena opasnosti ima linearnu zavisnost.

Parametar (i) izražava uticaj promene intenziteta opasnosti u funkciji odgovarajuće primenjene zaštite. Ovaj parametar, u teoretskom slučaju, ima vrednosti od nule do beskonačnosti, tj. $i = (0 - \infty)$. Ukoliko intenzitet opasnosti teži nuli, tj. $i = 0$, stepen opasnosti se povećava do određene granične vrednosti, odnosno opasnost za opslužioce mašina je najveća. Međutim, ako intenzitet opasnosti teži beskonačnosti, tj. $i = \infty$, stepen opasnosti (S_o) je manji. U ovom slučaju radnik je manje ugrožen, jer mašina ima ugrađene odgovarajuće zaštitne uređaje i ostvaren je maksimalan stepen zaštite (S_z).

Parametar (k) definiše opseg dejstva opasnosti. Zavisno od određenih fizičkih parametara i uslova rada opasnost može imati manji ili veći opseg dejstva. Obično ovaj parametar ima veće vrednosti od nule, tako da se može usvojiti u granicama, $k = (1 - 5)$. Za veće vrednosti ovog parametra stepen opasnosti (S_o) je veći.

Tabela 1.2. Vrednosti stepena opasnosti (S_o) za, $i = 1$

Opseg opasnosti (k)	OSNOVNO OBELEŽJE OPASNOSTI (a)					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.10
0.0	0.33	0.37	0.41	0.44	0.47	0.50
0.5	0.41	0.46	0.50	0.53	0.56	0.59
1.0	0.50	0.54	0.58	0.61	0.64	0.67
1.5	0.59	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74
2.0	0.67	0.71	0.74	0.76	0.78	0.80
2.5	0.74	0.77	0.80	0.82	0.84	0.85
3.0	0.80	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89
3.5	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92
4.0	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94
4.5	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96
5.0	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97

Izračunate vrednosti stepena opasnosti za određeni opseg dejstva (k) i intenzitet (i) date su u tabelama 1.2 i 1.3.

Tabela 1.3. Vrednosti stepena opasnosti(S_o), za $i = 5$

Opseg opasnosti (k)	OSNOVNO OBELEŽJE OPASNOSTI (a)					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.10
0.0	0.03	0.07	0.14	0.25	0.37	0.50
0.5	0.04	0.10	0.19	0.32	0.45	0.59
1.0	0.06	0.13	0.25	0.40	0.54	0.67
1.5	0.08	0.18	0.32	0.48	0.62	0.74
2.0	0.11	0.24	0.40	0.57	0.70	0.80
2.5	0.15	0.30	0.49	0.65	0.77	0.85
3.0	0.20	0.38	0.57	0.72	0.82	0.89
3.5	0.26	0.47	0.65	0.79	0.87	0.92
4.0	0.33	0.55	0.73	0.84	0.90	0.94
4.5	0.41	0.64	0.79	0.88	0.93	0.96
5.0	0.50	0.71	0.84	0.91	0.95	0.97

1.6.3 Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

Pri obradi brušenjem osnovna opasnost za radnika je mogućnost iznenadnog loma i razletanja polomljenih delova tocila u zoni opsluživanja mašine - brusilice. Do loma i razletanja tocila dolazi relativno retko. Međutim, treba naglasiti da su posledice u slučaju loma tocila vrlo nepovoljne kako u smislu bezbednosti opslužilaca tako i oštećenja mašine - brusilice. Usled relativno velike obimske brzine i znatne težine odlomljenog komada tocila nastaje centrifugalna sila koja u znatnoj meri povećava kinetičku energiju udara koja ima razorno dejstvo. Razletanja delova tocila može da prouzrokuje oštećenje mašine – brusilice i nanese teške povrede radnicima koji se nađu u pravcu njegovog razletanja.

Tocilo je nehomogenog sastava i veoma je krto, tako da njegov lom, uglavnom, može nastati usled:

- prekomernog pritiska ili udara,
- prevelike obimske brzine,
- nepravilnog montiranja ,
- pogrešnog tehnološkog izbora i sl.

Pogrešan tehnološki izbor tocila podrazumeva da se za brušenje obratka velike tvrdoće koristi takođe veoma "tvrd" tocilo (što je pogrešno). Ova konstatacija se objašnjava time što se pri brušenju materijala relativno velike tvrdoće, zbog bržeg habanja raznih ivica, "tvrd" tocilo uglača i tako smanji efekat brušenja. Iz tih razloga, da bi se povećao efekat brušenja, potrebno je ostvariti veći pritisak između tocila i obratka. Pri ostvarenom većem pritisku tocila na obradak dolazi do povećanja mehaničkog opterećenja, koje je jedan od razloga za nastajanje loma tocila.

U postupku pravilnog brušenja za obratke od tvrdog metala treba koristiti "meko" tocilo, a za mekše metale "tvrd" tocilo.

Za procenu stepena opasnosti, pri eventualnom lomljenju tocila, kao najvažniji faktori, usvajaju se:

- centrifugalna sila, i
- ugao otvora zaštitnog oklopa.

Centrifugalna sila, koja nastaje u trenutku loma tocila, definisana je izrazom:

$$F_c = \frac{G_l \cdot v_c^2}{g \cdot X_c} \cdot 10^3 \text{ [daN]} \quad (1.9)$$

gde su:

G_l – težina polomljenog komada, u [daN],

v_c – obimna brzina tocila redukovana u težištu polomljenog komada, u [m/s],

X_c – težište polomljenog komada u odnosu na osu obrtanja, u [mm] i

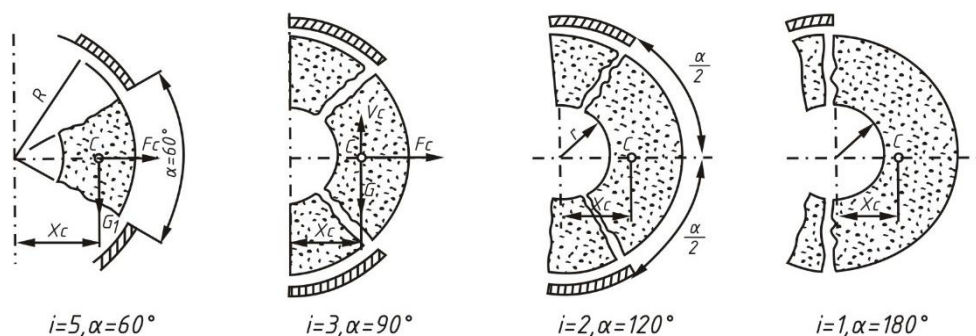
g – ubrzanje zemljine teže ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Da bi se sprečilo nekontrolisano razletanja komada polomljenog tocila, propisom iz oblasti zaštite na radu je predviđeno da brusilice moraju imati ugrađen zaštitni oklop oko tocila. Međutim, tehnološki i eksploatacijski razlozi u najvećoj meri diktiraju kolika će biti veličina ugla otvora zaštitnog oklopa. Ove veličine su, uglavnom, standardizovane i obično iznose 60° ; 90° ; 120° ; 180° (vidi sliku 1.10).

Ukoliko nastupi lom tocila i kada je ugrađen zaštitni oklop, nisu potpuno eliminisane opasnosti za opslužioce. Najveći polomljeni komad tocila, koji može ugroziti radnika, približno je jednak uglu otvora zaštitnog oklopa, jer samo kroz ovaj otvor može proći polomljeni komad.

U slučaju da nema zaštitnog oklopa oko tocila, može se pretpostaviti da će se ono polomiti na dva dela, tako da se veličina centrifugalne sile svodi na slučaj kada je ugao otvora, $\alpha = 180^\circ$. Ovo je najnepovoljniji slučaj za opslužioce, jer je tada opasnost najveća, s obzirom da se povećava kinetička energija udara usled veće mase odlomljenog komada tocila.

Najveći oblici polomljenih komada tocila koji mogu proći kroz otvor zaštitnog oklopa prikazani su na slici 1.14.



Sl.1.14. Oblici odlomljenog komada tocila

Težište odlomljenog komada kolutastog tocila približno se može odrediti na osnovu težišta isečka kružnog prstena.

Prema slici 1.14 težište odlomljenog komada tocila je:

$$X_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}} \cdot r \cdot \left(\frac{\psi^3 - 1}{\psi^2 - 1} \right) \text{ [mm]} \quad (1.10)$$

gde su:

r – unutrašnji poluprečnik tocila ($r=d/2$), u [mm],

ψ – odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika tocila, ($\psi=D/d$)

α – ugao otvora zaštitnog oklopa,

Težina odlomljenog komada tocila koji prođe kroz otvor zaštitnog oklopa je:

$$G_l = \pi \cdot B \cdot \gamma \cdot r^2 \cdot \left(\frac{\psi^2 - 1}{k_2} \right) \cdot 10^{-6} \text{ [daN]} \quad (1.11)$$

gde su:

B – širina kolutastog tocila, u [mm],

γ – specifična težina tocila, u [daN/dm³]

k_2 – konstanta koja predstavlja broj polomljenih komada tocila i zavisi od ugla otvora zaštitne ograde, gde je $k_2 = 360/\alpha$.

Brzina u težištu odlomljenog komada tocila može se odrediti na osnovu poznate obimske brzine u trenutku loma tocila, pomoću izraza:

$$v_c = \frac{X_c}{R} \cdot v_l \text{ [m/s]} \quad (1.12)$$

gde su:

X_c – težište odlomljenog komada tocila, u [mm],

R – spoljašnji prečnik tocila ($R=D/2$), u [mm],

v_l – obimna brzina u trenutku loma tocila, [m/s].

Zamenom izraza (1.10), (1.11) i (1.12) u osnovni izraz (1.9) dobija se izvedeni obrazac za centrifugalnu silu:

$$F_c = K \cdot B \cdot r \cdot \left(\frac{\Psi^3 - 1}{\Psi^2 - 1} \right) \text{ [daN]} \quad (1.13)$$

gde su:

$K = k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$ – konstanta,

$k_3 = k_1/k_2$ – konstanta zavisna od ugla otvora zaštitnog oklopa tocila (vidi tabelu 1.5)

$k_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}$ – konstanta za određeni ugao zaštitnog oklopa,

$k_2 = 360/\alpha$ – broj polomljenih komada tocila

$k_4 = \pi \cdot \gamma/g$ – konstanta zavisna od specifične težine tocila (vidi tabelu 1.6)

$k_5 = v_l^2 \cdot 10^{-3}$ – konstanta zavisna od obimne brzine u trenutku loma tocila

Tabela 1.4. Vrednosti konstanti (k_1, k_2, k_3) u zavisnosti od ugla otvora zaštitnog oklopa oko tocila (α),

KONSTANTA	UGAO OTVORA ZAŠTITNOG OKLOPA (α)			
	60°	90°	120°	180°
$k_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}$	0,637	0,600	0,551	0,424
$k_2 = 360/\alpha$	6	4	3	2
$k_3 = k_1/k_2$	0,106	0,150	0,184	0,212

Na osnovu napred navedenih činjenica može se konstatovati da je zao određivanje stepena opasnosti na brusilici merodavna centrifugalna sila, kojom raspolaže odlomljeni komad tocila, i ugao otvora zaštitnog oklopa. U zavisnosti od obimne brzine tocila, ugla otvora zaštitnog oklopa i centrifugalne sile mogu se odrediti parametri stepena zaštite, tj. (a), (i), (k).

Tabela 1.5. Vrednost konstante (k_4) u zavisnosti od abrazivnog i vezivnog materijala

ABRAZIVNI MATERIJAL	VEZIVNI MATERIJAL	Spec. težina γ [daN /dm ³]	Konstanta $k_4 = \pi \cdot \gamma/g$
Silic. korund	Keramički	2.250	0.72
Korund	Keramički	2.500	0.80
Korund	Smola	2.875	0.92

Parametar (a) izražava osnovno obeležje opasnosti, i u ovom slučaju predstavlja odnos između obimske brzine u trenutku loma i dozvoljene brzine tocila, tj. $a = v_l/v_d \leq 1$.

Parametar (i) definiše intenzitet opasnosti, za navedeni primer, predstavlja odnos zaštićene (A_z)

i nezaštićene (A_n) površine oko tocila, tj. $i = A_z/A_n$, ($i = 1$) - za ugao, $\alpha = 180^\circ$, odnosno; ($i = 5$) - za ugao, $\alpha = 60^\circ$.

Parametar (k) definiše opseg opasnosti i zavisen je od veličine centrifugalne sile, tj. $k = f(F_c)$, gde je: $k = (0 - 5)$, za $F_c = (0 - 5000 \text{ daN})$.

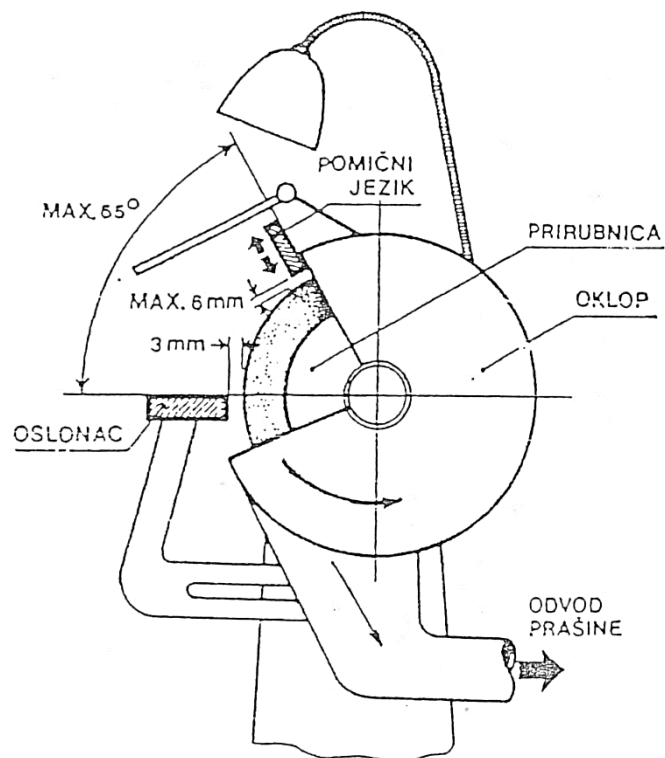
Konačno stepen zaštite, pri lomu i razletanju tocila, može da se odredi na osnovu napred definisanih parametara (a), (i) (k), za svaki konkretan slučaj, pomoću izraza:

$$S_z = \frac{1}{1+a^{i \cdot 2^k}} \quad (1.14)$$

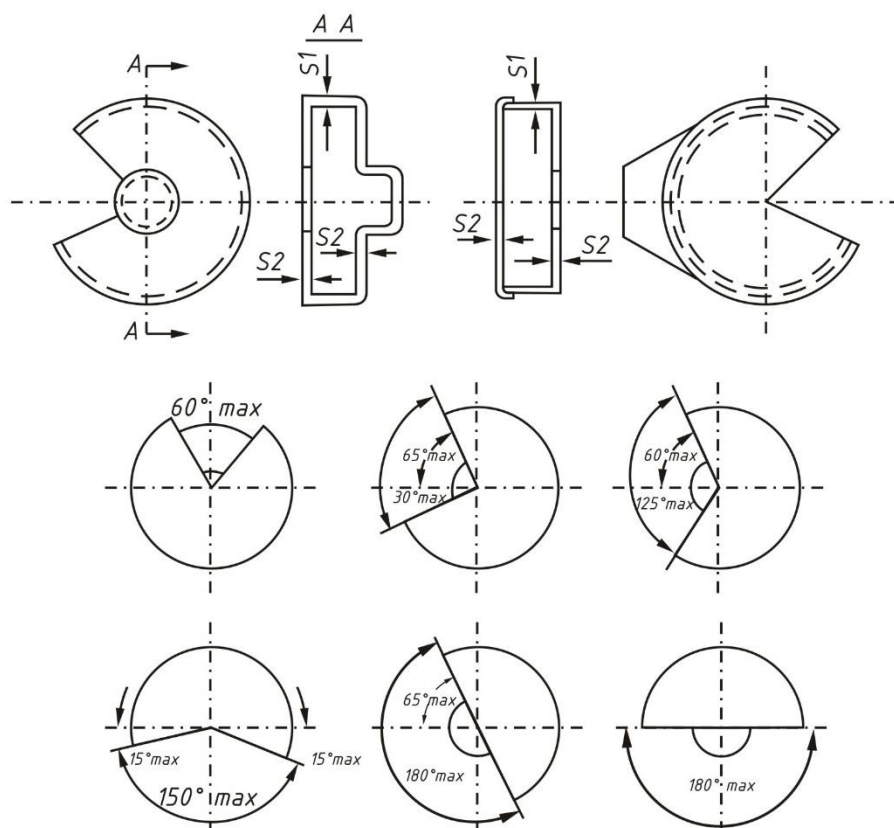
Veličina dobijena izrazom (1.14) ukazuje na stepen primenjene zaštite od mehaničkih povreda na radioničkoj brusilici.

Iz prikazane analize stepena opasnosti može se konstatovati sledeće:

1. Primenjeni način određivanja stepena opasnosti odnosi se samo na one opasnosti koje nastaju kao rezultat nedovoljne mehaničke zaštite onih delova mašine koji mogu biti uzročnici povređivanja radnika
2. Povoljnost ovakve procene mašina i uređaja u pogledu bezbednog opsluživanja ogleda se u tome što se na osnovu datog matematičkog modela određuje stepen opasnosti i dobija objektivna procena o primenjenim merama mehaničke zaštite na njima. Ovakvim načinom procene izbegnuta je subjektivnost lica koja vrše pregled mašina i uređaja u pogledu primenjenih mera mehaničke zaštite. Na osnovu teoretskih razmatranja predloženi model određivanja stepena opasnosti proveren je na primeru loma i razletanja tocila radioničke brusilice. U ovom slučaju veličina stepena opasnosti najviše zavisi od obimne brzine pri kojoj se tocilo lomi, veličine ugla otvora zaštitnog oklopa i centrifugalne sile kojom raspolaže komad koji se razleće.



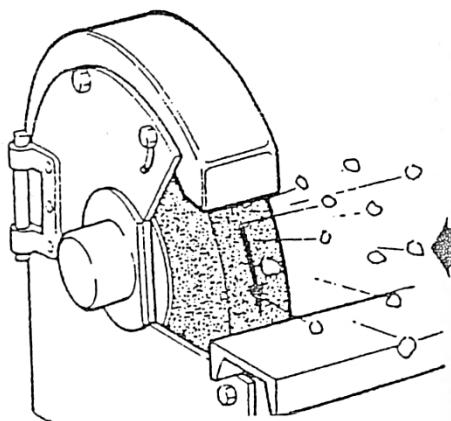
Slika .Izgled uređaja za odsisavanje prašine, izrađen u kombinaciji sa zaštitnim oklopom



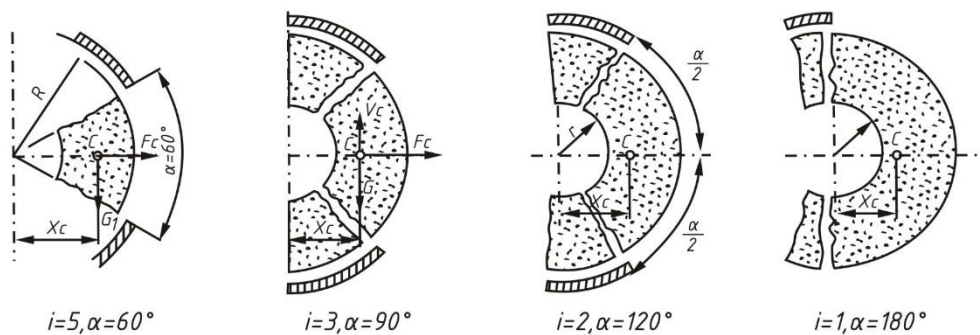
1.15

Načini zaštitnog oblaganja tocila

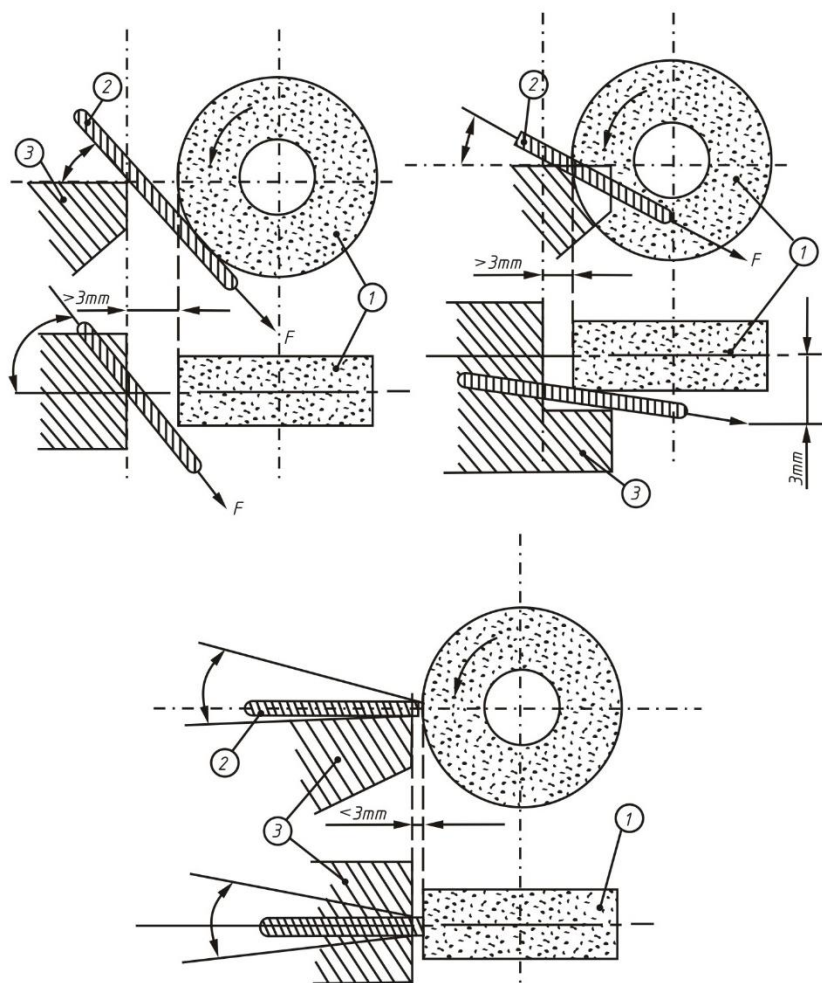
Da bi se ostvarili bezbedni uslovi rada i postigla zaštita radnika koji vrše brušenje potrebno je na brusilicu montirati: zaštitni oklop, uređaj za odvođenje prašine i strugotine iz zone rezanja, radni oslonac, štitnik za oči i lice.



Šematski prikaz radioničke brusilice



1.16



Slika 1.17. Šematski prikaz osnovnih razloga nastanka nesrećnih slučajeva na brusilicama usled zaglavljivanja i povlačenja predmeta obrade. Na slici a) je prikazan nepravilan način postavljanja radnog oslonca u odnosu na točilo (suviše veliko udaljenje) i nepravilno držanje radnog predmeta u horizontalnoj i vertikalnoj ravni (zakošen). Na slici b) je prikazana posledica brušenja na radnom osloncu montiranom i sa strane točila prilikom pokušaja obrade na bočnim stranama točila. Na slici c) je prikazan pravilan način montiranja radnih oslonaca i rada na njima: moguća iskošenja radnog predmeta u horizontalnoj i vertikalnoj ravni su neznatna. U svim slikama oznake znače: 1 – točilo, 2 – radni oslonac, 3 – predmet obrade, F – silu povlačenja radnog predmeta od strane točila.

2. SISTEMI ZA UKLANJANJE PRAŠINE I STRUGOTINE

2.1. Značaj mehanizovanog uklanjanja strugotine i prašine

Nekontrolisano rezletanje i nagomilavanje strugotine i prašine u radnom prostoru predstavlja direktnu opasnost od mehaničkih povreda i zdravlje radnika. Iako je, u ovom slučaju, bezbednost radnika od primarnog značaja, treba ukazati i na činjenicu da dobro projektovan i tehnički realizovan mehanizam za uklanjanje strugotine i prašine pruža višestruke praktične koristi. Zbog toga će se neke od prednosti ovde posebno naglasiti.

Proizvodne prednosti se ogledaju u tome da se gubi manje vremena na uklanjanje strugotine koja se nagomilava kraj mašine, a više se vodi računa na praćenje procesa obrade. Strugotina ima negativno dejstvo jer prouzrokuju smetnje za normalno odvijanje procesa obrade. Pri stvaranju trakaste strugotine radnik je prinuđen da stalno pomoćnim priborom (kukom ili četkom) otklanja strugotinu čime se izlaže opasnosti da mu oštre ivice trakaste strugotine nanese ogrebotine i posekotine po rukama. Neki put je zbog zaglavljivanja strugotine između alata i obratka, radi njenog uklanjanja, neophodno zaustavljanje mašine. Treba napomenuti da je trakasta strugotina vrlo nepovoljna za ručno uklanjanje uz upotrebu četke, metlice i drugih priručnih sredstava, a nije pogodna ni za transportovanje do njenog mesta skladištenja.

Kako bi se obezbedilo da se proizvodni proces u pogonima obrade materijala rezanjem odvija nesmetano, potrebno je da se za vreme obrade vrši i lomljenje, odnosno usitnjavanje strugotine. Drugim rečima, da bi sistem za uklanjanje strugotine bio efikasan, potrebno je da na samom alatu postoji naprava koja će omogućiti lomljenje i usitnjavanje strugotine u fazi njenog nastajanja.

Usitnjavanje trakaste strugotine neposredno u procesu njenog nastajanja omogućuje znatne uštede u proizvodnom smislu. Pre svega, nema čestog zaustavljanja mašine radi uklanjanja strugotine, dok čišćenje, sakupljanje i transportovanje usitnjene strugotine može da se vrši sa znatnom uštedom u radnoj snazi i radnom vremenu. Posebno značajni efekti u smislu proizvodnog iskorišćenja mašine nastaju pri gruboj obradi u uslovima serijske proizvodnje, kada je količina nastale strugotine u jedinici vremena relativno velika.

Tehničke prednosti kod kontinualnog uklanjanja strugotine na mehanizovan način su značajne. Nije potrebno da se projektuju i ugrađuju specijalni elementi za zaštitu kliznih površina od upada strugotine između njih. Produžava se radni vek mašine i ista je preciznija, jer se ne oštećuju klizne površine i tako ne narušava paralelnost vođenja nosača alata.

U uslovima nekontrolisanog razletanja i nagomilavanja strugotine, evidentno je da će se mašina češće kvariti. Ukoliko strugotina dospe na osetljive sklopove mašine, kao što su klizne površine, doći će do njihovog mehaničkog oštećenja. Tehnička neispravnost, nastala na ovaj način, rezultuje brojne negativne efekte.

Pre svega, mašina se isključuje iz proizvodnje radi neplaniranog remonta, koji zbog toga traje vrlo dugo, jer treba organizovati nabavku ili izradu oštećenih delova mašine. Prema tome ekonomski gubici u ovom slučaju su značajni. Međutim, ne treba ispustiti iz vida i činjenicu da svaki remont mašine ostavlja negativne posledice u pogledu tačnosti njenog rada.

Ekonomske prednosti ogledaju se u uštedi na vremenu pri sakupljanju strugotine i njenog uklanjanja od mašine. Materijalna ulaganja za projektovanje, izradu i ugrađivanje mehanizovanog sistema za uklanjanje strugotine, kada je u pitanju serijska proizvodnja, neuporedivo su manja u odnosu na materijalne gubitke koji nastaju zbog proizvodnih i tehničkih problema o kojima je već bilo reči. Konačno, mehanizovano uklanjanje strugotine omogućuje i izdvajanje strugotine prema vrstama materijala koji se obrađuju, tako da se ne dozvoljava mešanje strugotine od sivog liva, bronzne ili drugih materijala, koji se kasnije kao sekundarne sirovine prerađuju.

Međutim, treba posebno napomenuti da veoma važan značaj u pogledu bezbednosti ima ugradnja uređaja za mehanizovan način uklanjanja strugotine i prašine. Ovaj uređaj ima ulogu da spreči nastajanje povreda koje može prouzrokovati.

Osnovni ciljevi primene mehanizovanog uklanjanja strugotine su:

- Eliminisanje izvora opasnosti koje nastaju kao rezultat razletanja strugotine i prašine ili ručnog uklanjanja strugotine za vreme rada mašine,
- Povećavanje radne sposobnosti mašina kao rezultat sprečavanja zadržavanja strugotine od

materijala koji se obrađuje na kliznim ili drugim delovima mašine, i

- Povećanje proizvodnje na mašinama, jer nema vremenskih gubitaka koji nastaju pri zaustavljanju mašine radi njenog čišćenja zbog nagomilavanja strugotine u zoni obrade.

Za mehanizovano uklanjanje strugotine koriste se mehanički transporter i pneumatske instalacije.

2.2 Mehanički transporter za uklanjanje strugotine

Pomoću mehaničkih transportera mogu da se od mašine uklone različiti oblici strugotine. Efikasno uklanjanje strugotine, posredstvom ovih transportera, ne zavisi samo od njihovog kapaciteta već i od delovanja nekih dodatnih uređaja. Ti dodatni uređaji su naprave za pogodno oblikovanje strugotine (lomljenje ili spiralno savijanje) i hvatači koji usmeravaju strugotinu ka transporteru.

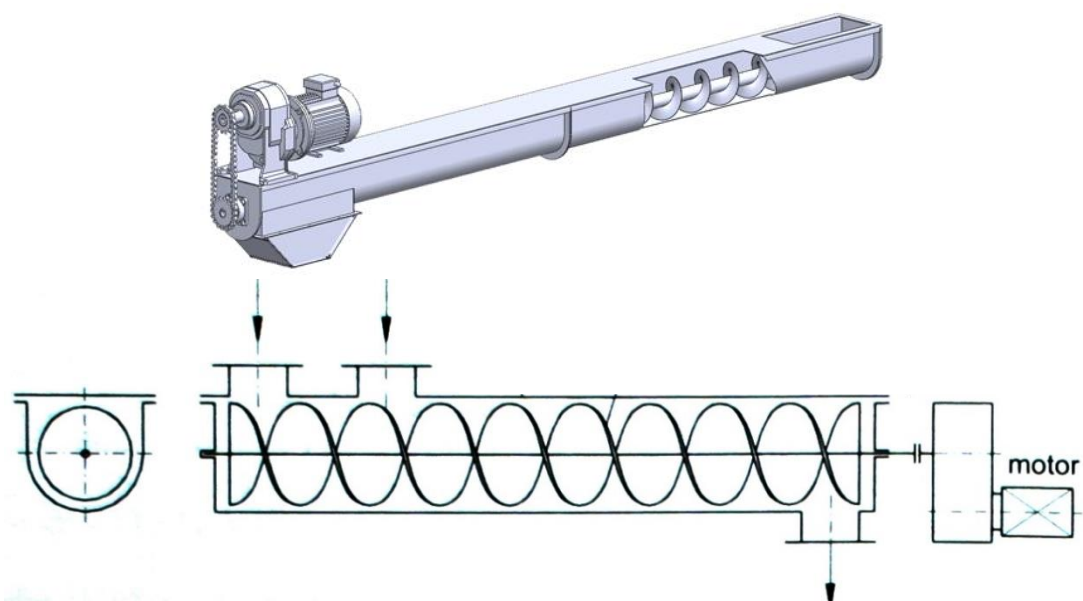
Pri projektovanju mehaničkih transportera konstruktor mora voditi računa da isti bude funkcionalno povezan u odnosu na vrstu mašine. Konstruktor mora da predvidi pogodno mesto ugradnje mehaničkog transportera na mašini kako bi ispunili svoju funkcionalnu namenu.

Mehanički transporter imaju svoju opravdanost na mašinama kod kojih je organizovana serijska proizvodnja, a to su poluautomatske i automatske mašine. Najveće efekte mehanički transporter imaju ako se ugrade na automatskim linijama, specijalnim agregatnim mašinama i na viševretnim automatima. Za efikasno uklanjanje strugotine nastale obradom materijala na različitim mašinama najpogodniji su pužni i vibracioni transporter.

2.2.1. Pužni transporter

Ovi transporter se najčešće primenjuju na strugovima kod koji pri obradi nastaje trakasta i spiralna strugotina.

Na slici 2.1 prikazana je jedna od konstrukcija pužnog transportera.



Sl. 2.1. Izgled pužnog transportera

Obrtno kretanje puž dobija od reduktora posredstvom spojnice. Korisni prostor korita za sakupljanje strugotine povećan je tako što su sa obe strane dograđeni limovi koji služe za usmeravanje strugotine.

Nedostatak pužnih transportera je u tome što u toku rada nastaje intenzivno trenje i habanje između delova pužnog mehanizma i zidova korita za sakupljanje strugotine. Zazor između korita i puža iznosi od 5 do 10 mm, zavisno od veličine transportera. Negativni efekat u radu ovih transportera je mogućnost zaglavlivanja strugotine. Da bi se ovo sprečilo vrši se ekscentrično postavljanje puža.

2.2.2. Vibracioni transporteri

Ovi transporteri se koriste za uklanjanje strugotine na relativno malom rastojanju, do 25 m u horizontalnom pravcu i pod nagibom 10° do 15° . Princip rada ovih transportera je impulsnog karaktera, zasnovan na kretanju sabirnog korita koristeći silu inercije. Inercijalna sila se ostvaruje kretanjem transportera unapred, malom a unazad relativno velikom brzinom. Podloga po kojoj se strugotina kreće izvodi oscilatorno kretanje napred - nazad, pri čemu strugotina dobija inercijalnu silu i postepeno se pomera, napred u željenom smeru. Pogonski mehanizam transportera ima zadatak da posredstvom krivajnog mehanizma ili elektromagnetnih vibratora prouzrokuje vibracije male amplitude od 0.001 mm, koje omogućuju da se strugotina duž sabirnog korita pomera kao rezultanta brzine kretanja napred - nazad.

Na slici 2.2 prikazana je jedna od konstrukcija vibracionog transportera.



Sl. 2.2. Šematski prikaz vibracionog transportera

Kod vibracionog transportera korito dobija impulsno kretanje od elektromotora posredstvom krivajnog mehanizma. Negativna osobina primene vibracionih transportera je u tome što stvaraju prekomernu buku i vibracije.

2.2.3. Osnovni parametri pri projektovanju mehaničkih transportera

Za izbor i proračun osnovnih parametara mehaničkih transportera ne postoji određena metodologija. Problemi proističu iz činjenice da je mehanizam nastajanja strugotine vrlo složen i da zavisi od niza faktora. Neki ključni parametri, kao što su: oblik strugotine, zapreminski koeficijent nagomilavanja strugotine, pravac rasipanja strugotine u zoni obrade, količina nastale strugotine u jedinici vremena, mogu se tačno utvrditi ako se izvrši eksperimentalno merenje određenih parametara direktno na mašini za konkretne uslove obrade.

Projektovanje i izbor mehaničkih transportera zasniva se na utvrđivanju dva osnovna parametra, i to:

- ▶ Maksimalnoj količini strugotine koja nastaje u jedinici vremena, i
- ▶ Veličini prostora za sakupljanje strugotine u slučaju da nastane zastoj u radu transportera, a automatski strug nastavlja rad bez prekida.

Polazni parametri za projektovanje mehaničkih transportera kod uklanjanja nastale količine

strugotine su: snaga mašine i količina strugotine.

Snaga mašine definisana je izrazom:

$$P_m = \frac{F_t \cdot v}{100 \cdot 60 \cdot \eta_k} [kW] \quad (2.1)$$

Količina strugotine koja nastane za jedan čas neprekidnog rada definisana je izrazom:

$$G_s = \frac{A \cdot v \cdot \gamma}{1000} \cdot 60 [daN/h] \quad (2.2)$$

gde su:

$F_t = A \cdot C_k [daN]$ – glavni otpor pri rezanju,
 v – brzina rezanja, u [m/min],
 $A = t \cdot s$ – presek strugotine. [mm²],
 t – dubina rezanja, [mmm]
 s – korak rezanja, [mm/o]
 C_k – jedinični specifični otpor rezanja zavisao od materijala obratka,
 γ – specifična težina materijala obratka, [daN/dm³],
 η_k – stepen korisnog dejstva mašine.

Na osnovu izraza (2.1) i (2.2) odgovarajućim transformacijama dobija se količina strugotine, koja nastane za jedan čas neprekidnog rada, u funkciji snage mašine i karakteristika obrađivanog materijala:

$$G_s = 360 \cdot \gamma \cdot \eta_e \cdot P_m / C_k [daN/h] \quad (2.3)$$

Navedeni izrazi odnose se za slučaj nastale količine strugotine pri obradi na strugu.

Za projektovanje mehaničkih transportera važno je da se zna i količina strugotine izražena u zapreminskim jedinicama, definisana izrazom:

$$Q_s = \frac{G_s}{\gamma} \cdot 10^{-3} [m^3/h] \quad (2.4)$$

Količina strugotine dobijena pomoću izraza (2.3) i (2.4) bazira na pretpostavci da je vreme efektivnog rezanja mašine neprekidno i da se nagomilavanje strugotine vrši kompaktno bez uzimanja u obzir zapreminskog koeficijenta.

Ukoliko se količina strugotine izrazi u zapreminskim jedinicama, a u obzir uzme i zapreminski koeficijent nagomilavanja strugotine (K_v) dobija se:

$$Q_s = 0,36 \cdot P_m \cdot \eta_e \cdot K_v / C_k [m^3/h] \quad (2.5)$$

gde su:

K_v – zapreminski koeficijent nagomilavanja strugotine,
 P_m – snaga mašine,
 C_k – jedinični specifični otpor rezanja zavisao od materijala obratka,
 η_e – eksploatacijski stepen iskorišćenja mašine, koji je jednak proizvodu koeficijenta:
 $(\eta_e = \eta_k \cdot \eta_n \cdot \eta_s)$
 η_k – stepen korisnog dejstva mašine, (ima vrednosti 0.60 - 0.85, pri čemu se veće vrednosti odnose na nove mašine).
 η_n – stepen neprekidnosti procesa efektivnog rezanja (ovaj koeficijent obuhvata ciklusne gubitke: $\eta_n = \frac{t_r}{t_c}$):
 t_r – vreme efektivnog rezanja, u minutima,
 t_c – ciklusno vreme obrade, ($t_c = t_r + t_p$), u minutima,
 t_p – vreme praznih i povratnih hodova alata, u minutima.
 η_s – stepen stvarnog vremenskog iskorišćenja mašine, obuhvata van ciklusne gubitke, kao što su zamena alata i zavisi od složenosti obratka.

Preporuke za usvajanje stepena neprekidnosti su:

$\eta_n = (0,30 - 0,45)$ - jednovretni automatski strugovi,

$\eta_n = (0,50 - 0,60)$ - revolverski automatski strugovi,

$\eta_n = (0,65 - 0,85)$ - viševretni automatski strugovi.

Za univerzalne mašine stepen neprekidnosti se utvrđuje neposredno iz odnosa, $h_n = t/t_c$, za konkretne uslove obrade.

Preporuke za usvajanje stepena stvarnog vremenskog iskorišćenja mašine η_s odnose se, uglavnom, na složenost obratka i usvajaju se:

$\eta_s = 0,90$ - za obratke jednostavnog oblika,

$\eta_s = 0,85$ - za obratke srednje složenih oblika,

$\eta_s = 0,80$ - za obratke složene konfiguracije,

Minimalna zapremina prostora za nagomilavanje strugotine ispod zone obrade, zajedno sa delom zapremine transportera, definisana je izrazom:

$$V_{min} = 0,36 \cdot P_m \cdot T_z \cdot \eta_e \cdot K_v / C_k [m^3] \quad (2.6)$$

gde je,

T_z - vreme planiranog zastoja rada transportera, u [h].

2.3. Pneumatska instalacija za uklanjanje strugotine

Pri konceptijskom rešavanju i konstruisanju novih alatnih mašina za obradu materijala struganjem ne poklanja se dovoljna pažnja načinu uklanjanju strugotine od njih. Kao posledica nepostojanja ovog sistema zaštite događaju se povrede: očiju, lica i ruku radnika. Da bi se ove povrede sprečile potrebno je da se na mašinama ugrade pneumatske instalacije za uklanjanje strugotine i prašine.

Pneumatske instalacije mogu da se koriste na svim mašinama pri obradi krtih metala (sivi liv, mesing, bronza i slično) i nemetala (grafit, tekstolit, azbest i razni plastični materijali) od kojih se formiraju različiti oblici kidane strugotine i prašine.

Osnovni elementi pneumatske instalacije su:

- delovi za prihvatanje i usmeravanje strugotine, (specijalni hvatači strugotine i prašine)
- transporti cevovodi,
- pogonski agregat, koji sačinjavaju: elektromotor, ventilator i odvajači strugotine i prašine.

Najvažniji deo pneumatske instalacije je hvatač, jer od njega zavisi ukupna efikasnost instalacije za uklanjanje strugotine i prašine. U tom pogledu mesto sa koga se vrši prihvatanje strugotine i prašine ima poseban značaj za bezbednost radnika i neometan rad mašine.

Pre nego što se pristupi projektovanju pneumatskih instalacija neophodno je sagledati sledeće uslove:

- Da se izvrši analiza opštih tehničko - tehnoloških uslova koji opravdavaju ugradnju pneumatske instalacije.
- Da se izvrši proračun osnovnih parametara za svaki element pneumatske instalacije, na bazi stvarnih uslova obrade.

Da bi primena pneumatske instalacije na mašinama za obradu rezanjem opravdala svoje postojanje potrebno je da zadovolji sledeće opšte uslove:

- da eliminiše povrede čiji je uzrok strugotina,
- da se poveća radna sposobnost mašine, produži njen vek trajanja i tačnost rada,
- da odstrani vremenske gubitke koji su do tada bili zbog ručnog uklanjanja strugotine,
- da poboljša opšte uslove rada i slično.

Pneumatske instalacije mogu da se koriste samo na mašinama koje rade bez primene sredstava

za hlađenje u procesu obrade rezanjem. To se, pre svega, odnosi na: specijalne alatne mašine, obradne centre, automatske mašine, brusilice, glodalice, univerzalne alatne mašine, koje se upotrebljavaju u sastavu automatskih linija ili posebno u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

Pneumatske instalacije treba, po mogućnosti, da predstavljaju organsku povezanost s konstrukcijom mašine, da čine nerazdvojnu celinu u procesu obrade. Za ostvarivanje ovih zahteva, projektant treba da predvidi odgovarajuća mesta i konstruktivne elemente za razmeštaj i pričvršćivanje hvatača, transportnih cevovoda i drugih elemenata pneumatske instalacije.

Zavisno od toga kako su mašine raspoređene u radionici sagledava se mogućnost ugradnje individualne - pojedinačne instalacije ili složene - centralne pneumatske instalacije.

Individualna pneumatska instalacija opravdava svoju primenu u sledećim slučajevima:

- ako se na mašinama vrši obrada predmeta od različitog materijala a želi se sakupiti svaka vrsta strugotine posebno (sivi liv, bronza, mesing, i slično),
- kada u radionici, iz bilo kojih razloga, ne postoje uslovi za izvođenje složene pneumatske instalacije.

Osim ovih uslova, individualne - pojedinačne pneumatske instalacije, da bi opravdale primenu, treba da zadovolje i zahteve u konstruktivnom smislu:

- da je konstrukcija kompaktna i laka za montažu kako ne bi ometala normalno odvijanje procesa obrade,
- da rad agregata, posebno ventilatora, ne izaziva prekomernu buku i vibracije,
- da je održavanje i čišćenje uređaja jednostavno.

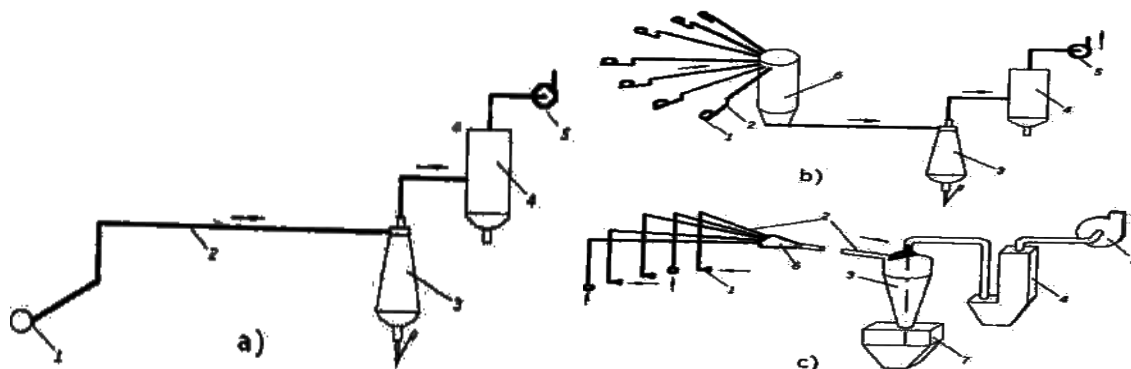
Izbor tipa složene - centralne pneumatske instalacije treba da se zasniva na analizi svih mogućih rešenja na bazi tehničko - ekonomske opravdanosti. Izbor razvodne mreže, tip ventilatora, odvajачa strugotine i prašine, zavisi od konkretnih uslova eksploatacije mašina za koje se projektuje složena pneumatska instalacija.

2.4. Preporuke za proračun transportnih cevovoda

Mreža transportnih cevovoda pneumatske instalacije za uklanjanje strugotine i prašine od mašina, uglavnom, se projektuje na jedan od sledećih načina:

- jednostavna razvodna mreža,
- složena razvodna mreža i
- kombinovana razvodna mreža.

Na slici 2.3 prikazane su šeme navedenih pneumatskih instalacija za uklanjanja strugotine i prašine od mašina



Sl. 2.3. Šematski prikaz sistema za uklanjanje strugotina i prašine iz radne zone

Pneumatski uređaj za uklanjanje strugotine i prašine tako je rešen da može raditi s promenljivim režimom u zavisnosti od količine strugotine i prašine. U slučaju da sistem radi tako da ne usisava strugotinu i prašinu isti se može porediti sa režimom rada ventilacionog sistema u prostoriji (u pitanju je ventilacioni režim rada radnog prostora).

Režim rada ventilacionog sistema karakteriše:

- količina vazduha i
- snaga ventilatora

2.4.1. Određivanje količine vazduha

Količina vazduha (G_v) koja je neophodna za uklanjanje prašine, strugotine ili nekog drugog rastresitog materijala, određuje se na osnovu izraza:

$$G_v = \frac{G_s}{\mu} \text{ [daN/h]} \quad (2.7)$$

gde su:

G_s – težina strugotine ili praškastog materijala, [daN/h],
 μ – težinska koncentracija materijala i vazduha.

Količina vazduh (Q_v) izražena u jedinici zapremine je:

$$Q_v = \frac{G_v}{\gamma_v} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (2.8)$$

gde je; $\gamma_v \cong 1,2 \text{ [daN/m}^3\text{]}$ – specifična težina vazduha pri normalnim uslovima, (temperature mešavine $t_m = +20^\circ\text{C}$, i pritisak $p = 1 \text{ bar}$).

U slučaju usisavanja zagrejanog i hladnog materijala temperatura mešavine određuje se prema izrazu:

$$t_m = \frac{G_s \cdot t_v \cdot c_v + G_s \cdot t_s \cdot c_s}{G_s \cdot c_v + G_s \cdot c_s} \quad (2.9)$$

gde su:

c_v – specifična toplota vazduha,
 c_s – specifična toplota strugotine
 t_v – temperatura vazduha,
 t_s – srednja temperatura strugotine.

Protok količine vazduha definisan je izrazom:

$$Q_v = 3600 \cdot A \cdot v_t \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (2.10)$$

Na osnovu izraza (2.10) može se odrediti presek cevi:

$$A = \frac{Q_v}{3600 \cdot v_t} \text{ [m}^2\text{]} \quad (2.11)$$

gde je, v_t – transportna brzina u cevovodu, u [m/s].

Najmanja transportna brzina, koja se usvaja pri projektovanju pneumatske instalacije, mora da bude veća od brzine lebdenja (v_l) čestica strugotine, i to:

- Pri obradi metala (sivi liv, mesing, bronza i dr.) transportna brzina je veća od brzine lebdenja za dva puta, $v_t > (2 - 2,5)v_l$ odnosno, $v_t > 26 \text{ [m/s]}$,
- Pri obradi nemetala (grafit, tekstolit, bakelit i slično) transportna brzina je $v_t > (2 - 2,5)v_l$, odnosno $v_t > 22 \text{ [m/s]}$.

2.4.2. Određivanje gubitaka pritiska u instalaciji

Pad pritiska u pravolinijskom delu cevovoda definisan je izrazom:

$$\Delta p = R \cdot L \text{ [Pa]} \quad (2.12)$$

gde su:

R – jedinični pad pritiska, u [Pa/m]
 L – dužina cevovoda, u [m].

Jedinični pad pritiska, na dužini od jednog metra, može da se odredi prema izrazu:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot P_d \text{ [Pa/m]} \quad (2.13)$$

gde su:

λ - koeficijent trenja koji zavisi od hrapavosti unutrašnjih zidova cevi,
 d - prečnik cevi [m],
 P_d - dinamički pritisak [daN/m²].

Veličina λ/d predstavlja redukovani koeficijent trenja čije su vrednosti date u tabeli B (videti prilog).

Ovaj koeficijent zavisi od prečnika cevi (d) i transportne brzine (v_t).

Dinamički pritisak u pneumatskoj instalaciji, uglavnom, zavisi od transportne brzine u cevovodu i definisan je izrazom:

$$P_d = 10 \cdot \frac{v_t^2 \cdot \gamma_v}{2 \cdot g} \text{ [Pa]} \quad (2.14)$$

gde su:

v_t – transportna brzina [m/s],
 γ_v - specifična težina vazduha, 1,2 [daN/m³],
 g - ubrzanje zemljine teže, 9,81 [m/s²].

Preporuke za izbor transportne brzine (v_t), u zavisnosti od vrste materijala i položaja cevovoda, date su u tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Transportna brzina u cevovodu zavisna od vrste rastresitog materijala koji se transportuje

MATERIJAL	TRANSPORTNA BRZINA v_t [m/s]	
	Vertikalno postavljena cev	Horizontalno postavljena cev
Abrzivne čestice od tocila i materijalni opiljci nastali brušenjem	15	19
Strugotina od plastičnih materijala (bakelit, pertineks, tekstolit)	18	22
Strugotina od: aluminijuma, sivog liva, bronz, mesinga; tež. <200 mg	22	26
Strugotina od: aluminijuma, sivog liva, bronz, mesinga; tež. >200 mg	26	32

Ukupan gubitak pritiska usled lokalnih otpora jednak je proizvodu dinamičkog pritiska i zbira koeficijenata lokalnih otpora:

$$Z = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot P_{di} \text{ [Pa]} \quad (2.15)$$

gde je $\sum_{i=1}^n \xi_i$ - suma koeficijenata lokalnih otpora.

Veličine koeficijenata lokalnih otpora za neke konstrukcije hvatača strugotine i prašine određene su eksperimentalno, a njihove vrednosti su date u tabelama C, D, E, F (videti prilog).

Ukupan pad pritiska u pneumatskoj instalaciji, bez usisavanja strugotine i prašine, tj. čistog vazduha, definisan je izrazom:

$$P_0 = \sum_{i=1}^n R_i \cdot L_i + Z_i \text{ [Pa]} \quad (2.16)$$

Ukupan pad pritiska mešavine strugotine i vazduha se znatno povećava usled savlađivanja sile trenja i lokalnih otpora, a definisan je izrazom:

$$P = P_0(1 + K_0 \cdot \mu) + L_{uc} \cdot v \cdot 10 \text{ [Pa]} \quad (2.17)$$

gde su:

K_0 - koeficijent proporcionalnosti,
 μ - težinska koncentracija strugotine u vazduhu,
 L_{uc} - ukupna dužina cevovoda, u [m],
 v - zapreminska koncentracija strugotine u vazduhu,
 P_0 - gubitak pritiska čistog vazduha, u [daN/m²].

Koeficijent proporcionalnosti definisan je izrazom:

$$K_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot K_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.18)$$

gde su:

P_i - parcijalni gubici pritiska čistog vazduha u delovima instalacije [daN/m²],

K_i - koeficijenti za pojedine delove instalacije, čije su vrednosti date u tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Vrednosti koeficijenta za pojedine delove instalacije

DELOVI CEVOVODA	KOEFIKIJENT K_i	
	nemetali, plastika, grafit i slično	Metali, sivi liv, mesing i slično
Hvatači strugotine i prašine	1	0,7
Krivine prečnika $R=(4 - 5)d$	1,6	1,6
Vertikalne cevi (odvod na gore)	1	0,85
Horizontalne cevi	1	0,85
Ciklon – odvajač strugotine	1	1

2.4.3. Preporuke za izbor ventilatora

Za pneumatsko uklanjanje strugotine i prašine koriste se centrifugalni ventilatori srednjeg ili visokog pritiska.

Izbor ventilatora vrši se na osnovu ukupnih gubitaka pritiska u instalaciji i mesta ugradnje. Količina vazduha, koju isisava ventilator, određuje se prema izrazu:

$$Q_0 = Q_v \cdot \sqrt{1 + \frac{P}{P_0} \cdot K_0 \cdot \mu} \quad [m^3/h] \quad (2.19)$$

Na osnovu količine vazduha (Q_v) i ukupnog gubitka pritiska (P) mešavine vazduha i strugotine može se odrediti potrebna snaga za pokretanje ventilatora, prema izrazu:

$$N = \frac{Q_0 \cdot P}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{kv}} [kW] \quad (20)$$

gde je;

η_{kv} - stepen korisnog dejstva ventilatora koji se usvaja u granicama ($\eta_{kv} = 0,90 - 0,98$).

Izbor ventilatora se vrši iz kataloga proizvođača, pri čemu treba voditi računa o ukupnom gubitku pritiska u instalaciji.

Preporuka je da se na osnovi ukupnog gubitka pritiska u instalaciji biraju sledeći ventilatori:

- pri ukupnom gubitku pritiska, $P > 12000$ [Pa], bira se centrifugalni ventilator visokog pritiska,
- pri ukupnom gubitku pritiska, $P > (4000 - 12000)$ [Pa], bira se centrifugalni ventilator srednjeg pritiska,
- pri ukupnom gubitku pritiska, $P > (2500 - 4000)$ [Pa], bira se centrifugalni ventilator niskog pritiska.

Q_v – KOLIČINA ODSISANOG VAZDUHA u [m³/h]

Tabela A.

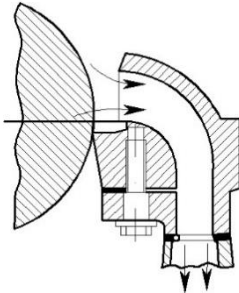
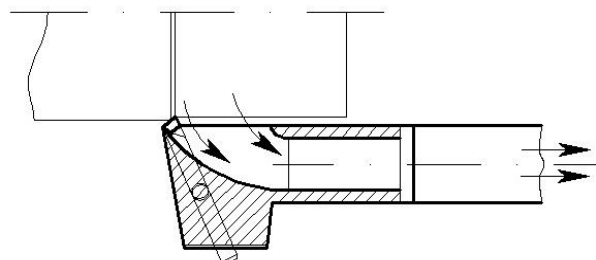
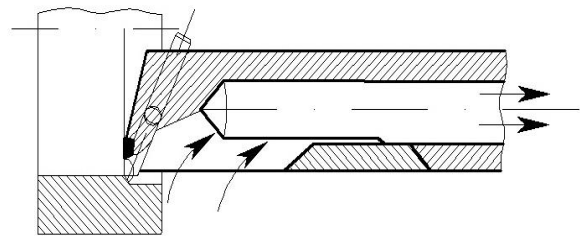
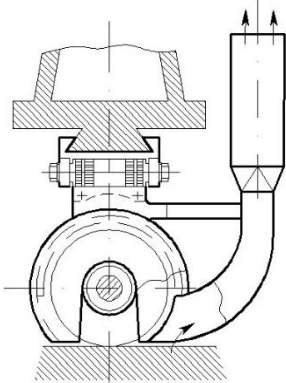
Prečnik cevi	Presek cevi	v – brzina strujanja vazduha u cevovodu, [m/s]										
		16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
30	7,07			51	56	61	66	71	76	81	86	92
34	9,08			65	72	78	85	91	98	105	111	117
36	10,18			73	80	88	95	102	110	117	124	132
40	12,57			91	100	109	118	127	136	145	154	163
45	15,90			114	126	137	149	160	172	183	195	206
50	19,63			141	155	170	184	198	212	226	240	254
55	23,76			171	188	205	222	239	256	274	290	308
60	28,27			203	224	244	265	285	305	326	346	366
65	33,18			239	263	287	311	334	358	382	406	430
70	38,48			277	305	332	360	388	415	443	471	499
75	44,18			318	350	382	414	445	477	509	541	573
80	50,26			362	398	434	470	507	543	579	615	651
85	56,75			408	449	489	530	571	612	653	693	734
90	63,62			458	504	550	595	641	687	733	779	825
95	70,88			510	561	612	663	714	765	816	867	918
100	78,54			565	622	679	735	792	848	905	961	1018
110	95,03			684	752	829	889	958	1026	1094	1163	1231
120	113,1			814	895	976	1058	1139	1221	1302	1384	1465
125	122,7			884	972	1060	1149	1237	1325	1414	1502	1590
130	132,7			955	1051	1147	1240	1338	1433	1529	1624	1720
140	153,9			1108	1219	1330	1441	1552	1663	1773	1884	1995
150	176,7			1272	1400	1527	1654	1781	1908	2036	2163	2290

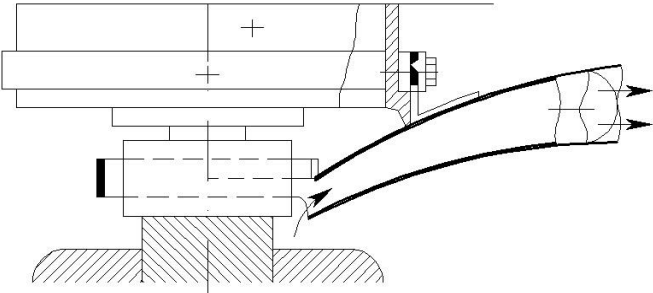
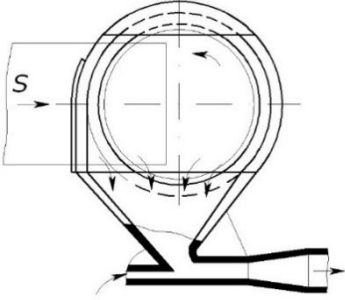
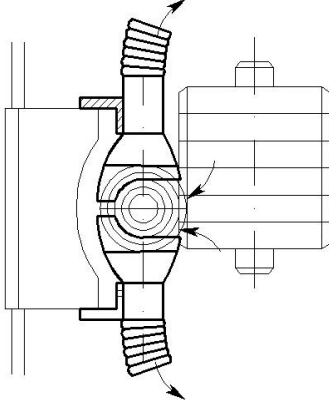
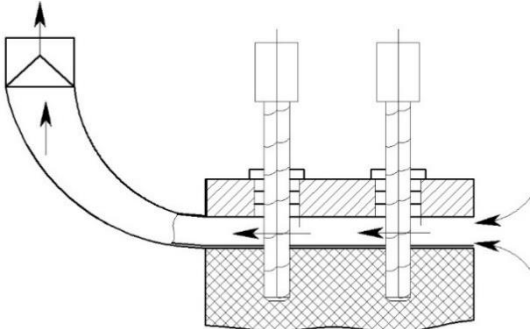
VREDNOSTI REDUKOVANOG KOEFICIJENTA TRENJA (λ/d)
u zavisnosti od brzine u cevovodu i dinamičkog pritiska

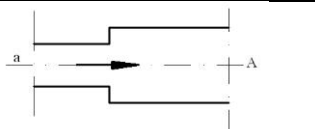
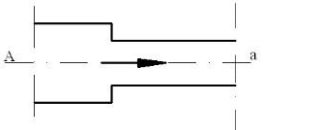
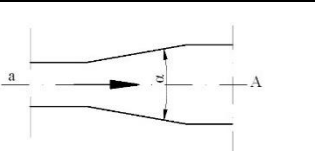
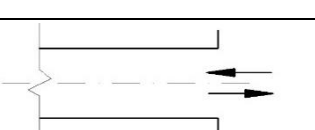
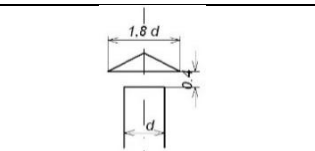
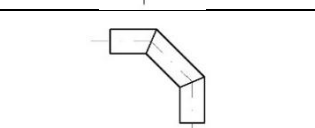
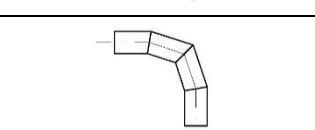
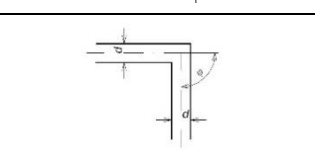
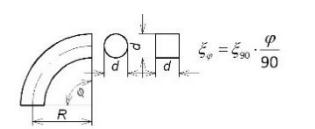
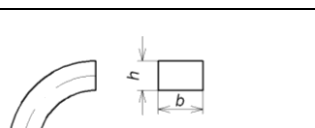
Tabela B.

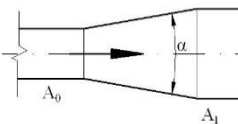
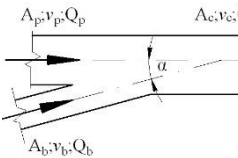
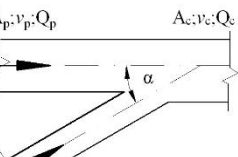
Prečnik cevi [mm]	Presek cevi [cm ²]	BRZINA STRUJANJA VAZDUHA U CEVOVODU, $v = [m/s]$										
		20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
		Dinamički pritisak, $P_d = [Pa]$										
d [mm]	A [cm ²]	245	294	352	413	479	548	626	706	794	883	978
30	7,07	0,73	0,72	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	0,5	0,64	0,63	0,62
34	9,08	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55
36	10,18	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47
40	12,57	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40
45	15,90	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34
50	19,63	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27
55	23,76	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26
60	28,27	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25
65	33,18	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
70	38,48	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
75	44,18	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
80	50,26	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
85	56,75	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
95	70,88	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
100	78,54	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
110	95,03	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
125	122,7	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06

KOEFICIJENTI LOKALNIH OTPORA HVATAČA STRUGOTINE I PRAŠINE

Vrsta hvatača		Šeme hvatača	Koeficijenti otpora u hvatačima
1a	hvatači strugotine i prašine kod strugova		$\xi_{tr} = 0,4$ brzina: $v = 30$ m/s presek: $A = 20 \times 20$ $A = 400 \text{ mm}^2$
1b			$\xi_{tr} = 1,0$ brzina: $v = 35$ m/s presek: $A = 1130 \text{ mm}^2$
1c			$\xi = 1,0$ brzina: $v = 35$ m/s presek: $A = 1130 \text{ mm}^2$
2a	hvatači strugotine i prašine kod alodalice		$\xi = 2,1$ brzina: $v = 30$ m/s presek: $A = 40 \times 20$ $A = 800 \text{ mm}^2$
Šematski prikazi hvatača strugotine i prašine			tabela C.

Vrsta hvatača	Šeme hvatača strugotine i prašine	Koeficijenti otpora u hvatačima
2b		$\xi_{tr} = 3,1$ brzina: $v = 30 \text{ m/s}$ i presek: $A = 45 \times 20$ $A = 900 \text{ mm}^2$
2c		$\xi = 1.6$ brzina: $v = 20 \text{ m/s}$ i presek: $A = 40 \times 20$ $A = 800 \text{ mm}^2$
2d		$\xi = 0,6$ brzina: $v = 20 \text{ m/s}$ i presek: $A = 180 \text{ mm}^2$
3a		$\xi = 3,0$ brzina: $v = 20 \text{ m/s}$ i presek: $A = 20 \times 150$ $A = 3000 \text{ mm}^2$
Šematski prikazi hvatača strugotine i prašine		tabela D.

KOEFICIJENTI LOKALNIH OTPORA U CEVNOJ INSTALACIJI																			
4	naglo proširenje		$\xi_6 = k \cdot \left(1 - \frac{a}{A}\right)$																
5	naglo suženje		$\xi_5 = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{a}{A}\right)$																
6	postepeno proširenje		$\zeta_6 = k \cdot \left(1 - \frac{a}{A}\right)$ k = 0,12 – 0,20 proporcionalno uglu α																
7	ulaz i izlaz		prava cev sa prirubnicom ulaz $\xi_u = 0,3$ izlaz $\xi_i = 1,0$																
8	ulaz i izlaz		cev sa kapom ulaz $\xi_u = 1,0$ izlaz $\xi_i = 2,1$																
9	zavarena kolena		$\varphi = 90^\circ \quad \xi = 0,5$																
10	zavarena kolena		$\varphi = 90^\circ \quad \xi = 0,6$																
11	zavarena kolena		<table><tr><td>φ</td><td>22.5</td><td>30</td><td>45</td><td>60</td><td>90</td></tr><tr><td>ξ</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.7</td><td>1.3</td></tr></table>	φ	22.5	30	45	60	90	ξ	0.1	0.2	0.3	0.7	1.3				
φ	22.5	30	45	60	90														
ξ	0.1	0.2	0.3	0.7	1.3														
12	odvodi		<table><tr><td>R/d</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>ξ_{90}</td><td>0.29</td><td>0.15</td><td>0.12</td><td>0.10</td><td>0.08</td></tr></table>	R/d	1	2	3	4	5	ξ_{90}	0.29	0.15	0.12	0.10	0.08				
R/d		1	2	3	4	5													
ξ_{90}	0.29	0.15	0.12	0.10	0.08														
13	pravougaoni		<table><tr><td>b/h</td><td>0.5</td><td>0.5 7</td><td>0.8</td><td>1.0</td><td>1.2 5</td><td>1.5</td><td>1.7 5</td></tr><tr><td>k_1</td><td>1.4 5</td><td>1.2 8</td><td>1.1 7</td><td>1.0 0</td><td>0.8 0</td><td>0.6 8</td><td>0.5 6</td></tr></table>	b/h	0.5	0.5 7	0.8	1.0	1.2 5	1.5	1.7 5	k_1	1.4 5	1.2 8	1.1 7	1.0 0	0.8 0	0.6 8	0.5 6
b/h	0.5	0.5 7	0.8	1.0	1.2 5	1.5	1.7 5												
k_1	1.4 5	1.2 8	1.1 7	1.0 0	0.8 0	0.6 8	0.5 6												
Šematski prikazi mogućih konstrukcija povezivanja cevne instalacije			Tabela E.																

14	postepeno proširenje (difuzor)		$\frac{A_0}{A_1}$	α°							
				6	8	10	12	14	16	20	24
			0.1	0.12	0.13	0.15	0.17	0.20	0.24	0.30	0.38
			0.2	0.10	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19	0.24	0.30
			0.3	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.19	0.23
			0.4	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.17
			0.5	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
			0.6	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08
15	kosi sastav pod uglom: $\alpha = 15^\circ$	 $A_p + A_b = A_c$	ξ_p (prohodni protok)								
			$\frac{A_b}{A_c}$	Q_b/Q_c							
			0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6		
			0.1	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.06	-0.16	-0.38	
			0.2	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.10	-0.27	-0.66	
			0.3	0.05	0.06	0.07	0.05	-0.03	-0.23	-0.87	
			0.5	0.39	0.42	0.48	0.52	0.54	-0.43	-0.70	
			ξ_p (bočni protok)								
			$\frac{A_b}{A_c}$	Q_b/Q_c							
			0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6		
			0.1	-2.9	0.01	0.70	0.75	0.82	0.82	0.82	
			0.2	-19.5	-3.4	0.02	0.53	0.65	0.67	0.68	
			0.3	-76.0	-15.6	-1.86	-0.20	0.29	0.47	0.51	
			0.5	-	-56.0	-9.70	-2.80	-0.62	0.02	0.28	
			16	kosi sastav pod uglom: $\alpha = 30^\circ$	 $A_p + A_b = A_c$	ξ_p (prohodni protok)					
$\frac{A_b}{A_c}$	Q_b/Q_c										
0.05	0.1	0.2				0.3	0.4	0.5	0.6		
0.1	0.00	0.00				0.0	-0.02	-0.06	-0.14	-0.34	
0.2	0.00	0.01				0.0	-0.02	-0.08	-0.22	-0.57	
0.3	0.06	0.07				0.10	0.07	0.02	-0.14	-0.57	
0.5	0.39	0.42				0.49	0.55	0.60	0.53	0.23	
ξ_p (bočni protok)											
$\frac{A_b}{A_c}$	Q_b/Q_c										
0.05	0.1	0.2				0.3	0.4	0.5	0.6		
0.1	-3.04	0.02				0.71	0.81	0.84	0.85	0.83	
0.2	-19.5	-3.36				0.01	0.62	0.68	0.71	0.72	
0.3	-76.0	-15.6				-2.00	-0.15	0.36	0.53	0.58	
0.5	-	-56.0				-9.00	-2.53	-0.56	0.14	0.39	
KOEFICIJENTI LOKALNIH OTPORA									Tabela F.		