

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVO U GRADITELJSTVU

POVRŠINSKA OBRADA DRVA

LOVRO KIŠAK

BRUŠENJE U POVRŠINSKOJ OBRADI DRVA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVO U GRADITELJSTVU

BRUŠENJE U POVRŠINSKOJ OBRADI DRVA

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Površinska obrada drva

Studij: Preddiplomski studij Drvna tehnologija

Mentor: izv. prof. dr. sc. Josip Miklečić

Student: Lovro Kišak, 0068237095

Akademska godina: 2022./2023.

Zagreb, 2023.

	IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI	OB FŠDT 05 07
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 22.9.2023. godine

vlastoručni potpis

Lovro Kišak

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Brušenje u površinskoj obradi drva
Autor:	Lovro Kišak
JMBAG:	0068237095
Mjesto izradbe:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave:	Završni rad
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Josip Miklečić
Izradu rada pomogao:	
Godina objave:	2023.
Obujam:	
Ključne riječi:	Brušenje, brusna sredstva, strojevi za brušenje, parametri i režimi brušenja, granulacija
Sažetak:	<p>Brušenje je ključna i početna faza površinske obrade drva koja zahtijeva dobro poznavanje materijala koji se obrađuje, kao i materijale kojima se obrađuje te upotrebu raznih strojeva i tehnika za postizanje što bolje kvalitete površine. Cilj brušenja je uklanjanje neravnina i nepravilnosti s površine drva, a za brušenje se koriste brusna sredstva koja se sastoje od podloge, veziva i abrazivnih zrna te se dijele po granulaciji. Od brusnih materijala najčešće su korišteni brusni papiri, trake i diskovi. Brušenje se može izvoditi ručno, pomoću brusnog papira ili pomoću strojeva od kojih su najpoznatije tračne, oscilacijske i disk brusilice. Vrlo je važno znati kakav će se premazni materijal nanositi na površinu nakon brušenja, jer to zahtijeva određene režime obrade, gdje je ključno postići određenu hrapavost površine. Također, brušenje se izvodi u fazama i s odgovarajućim granulacijama na način da se ne preskače više od jedne granulacije. Upotreba različitih strojeva zahtijeva posebne parametre obrade, kao i razni proizvodi od drva od kojih svaki ima svoje posebne režime obrade te ako se pridržavamo određenih pravila možemo postići izuzetne estetske i funkcionalne rezultate.</p>

BASIC DOCUMENTATION CARD

Title:	Sanding in surface treatment of wood
Author:	Lovro Kišak
JMBAG:	0068237095
Thesis performed at:	Faculty of Forestry and Wood Science, University of Zagreb
Publication Type:	Undergraduate thesis
Supervisor:	Izv. prof. dr. sc. Josip Miklečić
Preparation Assistant:	
Publication year:	2023.
Volume:	
Key words:	Sanding, abrasives, sanding machines, sanding parameters and regimes, granulation
Abstract:	<p>Sanding is a crucial and initial phase in wood surface treatment that demands a comprehensive understanding of both the material being processed and the abrasives employed, along with the utilization of various machinery and techniques to achieve optimal surface quality. The primary objective of sanding is the removal of irregularities and imperfections from the wood surface, employing abrasive materials consisting of backing, bonding agents, and abrasive grains, categorized by grit size. Commonly used abrasive materials encompass sandpaper, belts, and discs. Sanding can be performed manually using sandpaper or with machines, among which belt sanders, orbital sanders, and disc sanders are renowned. It is of paramount importance to ascertain the type of finishing material to be applied after sanding, as it necessitates specific processing regimens, with surface roughness being a critical parameter. Sanding is conducted in stages, employing appropriate grit sizes to ensure no more than one grit size is skipped. The utilization of distinct machinery entails specific processing parameters, as do different wood products, each of which has its distinct processing regimens. Adherence to specific guidelines enables the attainment of exceptional aesthetic and functional outcomes.</p>

SADRŽAJ

SADRŽAJ	VI
1. UVOD	1
2. BRUSNA SREDSTVA	2
2.1. Općenito	2
2.2. Podloga brusnih sredstava	2
2.3. Veživo brusnih sredstava	3
2.4. Brusno zrno	3
2.4.1. Prirodni abrazivi	4
2.4.2. Sintetski abrazivi	6
3. VRSTE BRUŠENJA	8
3.1. Ručno brušenje	8
3.2. Strojno brušenje	8
3.2.1. Strojevi za brušenje	9
3.2.2. Linije za brušenje	14
4. BRUŠENJE DRVA PRIJE NANOSA PREMAZNOG MATERIJALA	15
5. REŽIMI I PARAMETRI BRUŠENJA DRVA	17
5.2. Čimbenici koji utječu na kvalitetu brušenja	18
5.3. Smjer brušenja	19
5.4. Optimalno brušenje i greške brušenja	19
5.5. Primjeri brušenja proizvoda	20
6. ZAKLJUČAK	22
LITERATURA	23

1. UVOD

Brušenje je prva i ključna faza površinske obrade drva, koja omogućuje daljnju obradu površine. Brušenje je obrada uz stvaranje iverja s geometrijski neodređenim oštricama, tj. brušenjem se uklanjaju neravnine na površini koja dalje ulazi u obradu. Ključno je prije nanosa premaznog materijala dobro obraditi drvo brušenjem, jer ono utječe na kvalitetu površine i adheziju premaznog materijala na površinu, kao i o estetici (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

U ovom završnom radu su istraženi i obrađeni materijali koji se koriste u postupku brušenja, kao i vrste brušenja ovisno o izvođenju. Proučeni su načini brušenja za pripremu površine za nanos premaznog materijala te režimi i parametri brušenja.

2. BRUSNA SREDSTVA

2.1. Općenito

Brušenje je obrada uz stvaranje ivera s geometrijski neodređenim oštricama, a obavlja se uz pomoć brusnih sredstava. To su materijali kojima se postiže određena čistoća i uklanjaju se neravnine sa površine drva. Bitno svojstvo svakog brusnog sredstva je tvrdoća i žilavost, a sirovine za izradu su prirodni minerali ili sintetički dobiveni anorganski spojevi, koji su povezani u određeni oblik. Svako brusno sredstvo se sastoji od više slojeva; podloge, veziva i abraziva (Jirouš-Rajković, 2023).

U drvnoj industriji, pogotovo u proizvodnji namještaja, brušenje služi kako bi se postigla određena hrapavost površine da bi se podloga mogla bojati i lakirati ili kako bi se mogla lijepiti. Brušenje također može služiti za postizanje određenih oblika ili dimenzija (Sydor i sur., 2021).

2.2. Podloga brusnih sredstava

Za izradu brusnog sredstva jako je važno izabrati elastičnu ili krutu podlogu na koju dolazi brusno zrno. Za elastične podloge se koriste papir, platno i njihove kombinacije, a za krute podloge se koriste kolutovi od poliuretanske spužve i abraziva. Papir je među češće korištenim podlogama od platna iz razloga što se može primjenjivati na razne načine, od ručnog brušenja sve do strojnog. Podjela papir podloge je s obzirom na različite zahtjeve kvalitete te izbor papira ovisi o primjeni, ovisno o gramaturi i čvrstoći, jer što je masa papira veća, veća je i čvrstoća. Tako je za ručno brušenje dovoljno korištenje lakih vrsta papira, jer nije toliko važna čvrstoća na kidanje jer se ne postižu velika naprezanja, dok se za strojno brušenje mora koristiti žilaviji papir. Iz tog razloga papir podloge moraju imati određene čvrstoće zbog različitih opterećenja (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Zadaća podloge nije samo da nosi abrazivne slojeve, već ona mora omogućiti prijenos sile brušenja na površinu. Tako veća brusna zrna zahtijevaju više sile i čvršću podlogu. Jedna od čvršćih podloga je platno. Takva podloga je čvršća i stabilnija od papirnate podloge, a u određenim kombinacijama može biti i fleksibilna. Platno je poželjna podloga kada brusimo profile i rubove iz razloga što je lagan i fleksibilan i s takvom podlogom se postižu najfinije obrade. Kod strojeva za brušenje je veliki problem drvene prašine koja nastaje tijekom obrade, pa zato postoje anti statički sistemi koji omogućuju da okolina ostane čišća kao i sami

strojevi. Tako se koristi podloga od anti statičkog papira, koji omogućuje da alati i strojevi ostanu čišći tijekom utjecaja drvene prašine (Mirka brochure, 2013).

Fleksibilni brusni kolutovi kod kojih su izražena jaka opterećenja, imaju podlogu od vlakana, koji daje sredstvu povećanu čvrstoću, bez gubitka fleksibilnosti (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000.).

2.3. Vezivo brusnih sredstava

Zadatak veziva je da poveže abrazivna zrna s podlogom. To su ljepila na bazi sintetskih smola, najčešće fenolnih smola, koje se odlikuju otpornošću na vodu, velikom adhezijskom čvrstoćom i temperaturnom stabilnošću što im omogućuje korištenje kod osnovnih vezivnih slojeva, pa tako i kod pokrovnih. Vezivna sredstva na podlogu se nanose u dva sloja iz proizvodno-tehničkih razloga. Uobičajeno se abrazivna zrna vežu za podlogu s dva sloja ljepila, gdje se za osnovno lijepljenje koristi visokokvalitetno kožno ljepilo, a za pokrovno lijepljenje koristi se sintetička smola otopljena u vodi. Takvo lijepljenje omogućuje bolju otpornost na temperaturu i brusno zrno je bolje vezano za podlogu, nego da se za oba sloja koristi kožno ljepilo (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

„Brusna zrna se na podlogu mogu zalijepiti i korištenjem ljepila sa visokokvalitetnim sintetskim smolama, nanesenim u dva sloja. Na ovaj se način proizvode vodootporna brusna sredstva, kod kojih je podloga stalno u kontaktu s vodom i emulzijama.“ (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Postoji sustav učvršćivanja gdje se koristi ljepilo koje je jako osjetljivo na pritisak, pa se to ljepilo nanosi na podlogu i tada se uz lagani pritisak pričvršćuje na razne površine (Mirka brochure, 2013).

2.4. Brusno zrno

Brusno zrno je materijal određene granulacije, kojem su veličine zrna normirane jer je bitno odabrati pravu granulaciju za različite potrebe brušenja. Broj granulacije označava veličinu zrna abraziva, a veličina zrna se određuje prema broju otvora po dužnom inchu (1 inch = 2,54 mm) sita na kojem se sortiraju zrna. Najvažnija svojstva abrazivnih zrna su tvrdoća i žilavost, a tvrdoća se određuje po Mohsovoj skali (Jaić, Živanović-Trbojević, 2000).

Veličine otvora na situ su normirane prema FEPA standardu s kojim se poklapaju i DIN standardi koji se koriste kod nas (Tablica 1). Dodatno slovo P ispred oznake granulacije (npr. P200) označava da je granulacija određena po europskom standardu.

Tablica 1. Dimenzije otvora sita po FEPA standardu (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)

Broj sita	Dimenzije otvora sita (μm)
45	355
50	300
60	250
70	212
80	180
100	150
120	125
140	106
170	90
200	75
230	63
270	53
325	45

U industriji se danas primjenjuju dvije vrste abraziva:

- 1) prirodni abrazivi
- 2) sintetski abrazivi

2.4.1. Prirodni abrazivi

Za obradu drva se koriste prirodni korund, smirak, kremen i granati.

Prirodni korund (Slika 1) se javlja u eruptivnim i metamorfnim stijinama u obliku pijeska ili kristala. Može biti proziran ili obojen oksidima drugih metala, npr. crveno obojeni korund se naziva rubin, plavo obojeni safir, žuto obojeni orijentalni topaz itd. Tvrdća po Mohs-u mu je 9 pa može služiti i za obradu stakla, čelika i porculana (Jirouš-Rajković, 2023).



Slika 1. Prirodni korund (<https://www.wikiwand.com/sk/Korund>)

Smirak (Slika 2) je prirodna smjesa sitnozrnog korunda s oksidima željeza i kremena. Tvrdoća po Mohs-u mu je 8,5-9 te se koristi za glačanje metala, stakla, kamena i dolazi u obliku praha, paste ili na savitljivoj podlozi. Kvaliteta mu raste s porastom korunda (Jirouš-Rajković, 2023).



Slika 2. Smirak (<https://www.gemstone7.com/596-emery.html>)

Kremen (Slika 3) je najcjenjeniji abrazivni materijal koji nema značaj u industrijskoj upotrebi već za ručno brušenje. Vrlo je rasprostranjen (Jirouš-Rajković, 2023).



Slika 3. Kremen (<https://www.minerals.net/mineral/quartz.aspx>)

Granati su kristalizirani minerali, koji mogu biti lijepo obojeni i dolaze kao drago kamenje. To je materijal koji se brzo troši jer je krhak ali tvrd pa se može lako oštriti, tj. obnavljati (Jirouš-Rajković, 2023).

2.4.2. Sintetski abrazivi

U industriji se koriste aluminijev oksid, aluminijska keramika, silicijev karbid te cirkonov oksid. Od ovih abraziva se najviše koriste aluminijev oksid i silicijev karbid (Jirouš-Rajković, 2023).

Aluminijev oksid (Slika 4) poznat kao umjetni korund ili elektrokorund je najčešće korišteno sintetsko zrno za brušenje drva zato što su zrna tog abraziva vrlo oštra i čvrsta pa se mogu primjenjivati za sve vrste drva te u većini primjena (Jirouš-Rajković, 2023).

Postoje razne izvedbe zrna aluminijevog oksida, svaka za različitu upotrebu, pa tako postoji bijeli aluminijev oksid koji služi za brušenje boja, laka i mekog drva, djelomično očvrstnut koji služi za sve vrste brušenja i dobar je za drvo i mekane metale, te postoji i očvrstnuti aluminijev oksid koji se koristi za brušenje metala, tvrdog drva i očvrstnutih premaza (Mirka brochure, 2013).



Slika 4. Aluminijev oksid (<https://parlak-celik.com/brown-fused-alumina/>)

Silicijev karbid (Slika 5.) ima zrna koja su ravnomjernijeg oblika od aluminijevog oksida i nisu tako krhka, pa je njegova najveća primjena u brušenju otvrdnutih lakova i tvrdih podloga poput MDF ploča i hrastovine (Jirouš-Rajković, 2023).

Silicijev karbid, zbog oblika zrna, proizvodi bolju kvalitetu brušene površine od aluminijevog oksida (Mirka brochure, 2013).



Slika 5. Silicijev karbid (https://hr.wikipedia.org/wiki/Silicijev_karbid)

Cirkonov oksid i aluminij-oksidna keramika se koriste za tvrde vrste drva i kod obrada gdje se zahtijevaju velike brzine brušenja (Jirouš-Rajković, 2023).

3. VRSTE BRUŠENJA

3.1. Ručno brušenje

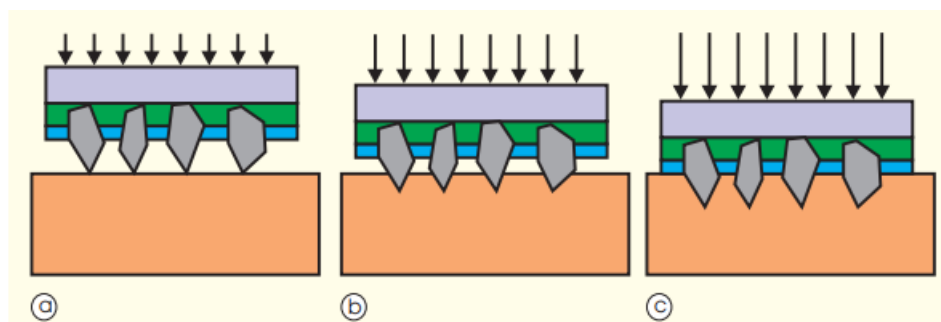
Kao što sam naziv govori, ovdje brušenje izvodi čovjek bez pomoći stroja. Brušenje se postiže fleksibilnim brusnim materijalima, spužvastim brusnim materijalima te trodimenzionalnim brusnim materijalima. Ovakvim brušenjem se bruse profili i lakovi. Važno je napomenuti da se ručno brusi nakon određene obrade na nekom stroju, da se uklone neravnosti na površini drva (Jirouš-Rajković, 2023).

Odabir granulacije ovisi o veličini neravnina na površini, ali najbolje bi bilo početi sa što finijim granulacijama za početno brušenje, pa nastaviti sa grubljim. Prema Allen (2007) trebalo bi započeti sa granulacijom P100, a sa granulacijom P80 ako je površina lošija. Važno je napomenuti da se ne smiju preskakati više od dvije granulacije, zato što se brušenjem većim granulacijama uklanjaju tragovi prijašnjih, a ako se preskače, onda ostaju tragovi prijašnjeg brušenja što je nepoželjno. Završna granulacija ovisi o premaznom materijalu koji će se dalje koristiti.

3.2. Strojno brušenje

Pod ovim pojmom smatra se brušenje uz pomoć stacionarnih ili prijenosnih strojeva. Brušenje uz pomoć strojeva omogućuje brže vrijeme obrade, ali mogućnosti za greške su veće. Da bi rezultat brušenja bio što bolji, važno je uzeti u obzir brzinu brušenja, posmičnu brzinu, vrstu brusnog sredstva i pritisak na obradak. Važno je odsisavanje drvene prašine kako bi se osiguralo odgovarajuće brušenje bez grešaka i zaštita radnika. Prema Nagyaszailanczy (1997) brzina brušenja je važna zato što prevelika brzina uzrokuje tupljenje alata i oštrica, no danas većina strojeva ima mogućnost podešavanja brzine. Nadalje, ovisno o tome koliko drvnog materijala želimo odstraniti, potrebno je podešavati posmičnu brzinu na stroju. Za odbušavanje veće debljine drva potrebno je smanjiti posmičnu brzinu. Problem može nastati kada se površina drva malo zapali pa ostaju tragovi paleža, a do toga dolazi zbog premale posmične brzine ili prevelike brzine brušenja. Kod određenih strojeva, kao što su ekscentrične brusilice, mogu ostati kružni tragovi brušenja jer su krivo uneseni parametri posmične brzine. Nadalje, važno je paziti na pritisak i ne bi se smjelo previše pritiskati površinu drva, pogotovo ako je furnir u pitanju (Slika 6). Također, kod smolastih vrsta drva se zapunjava brusna traka ako je pritisak veći. Prema Wieloch i Siklienka (2004), koji su proučavali efekte brušenja drva tijekom dužeg perioda i pod različitim pritiscima se tijekom dužeg perioda kontakta brusnog

sredstva efekt brušenja smanjuje, a pri višim kontaktnim pritiscima se učinak brušenja drastično brže smanjivao. Treba također pripaziti da se ne uzimaju prevelike granulacije zbog zagrijavanja.

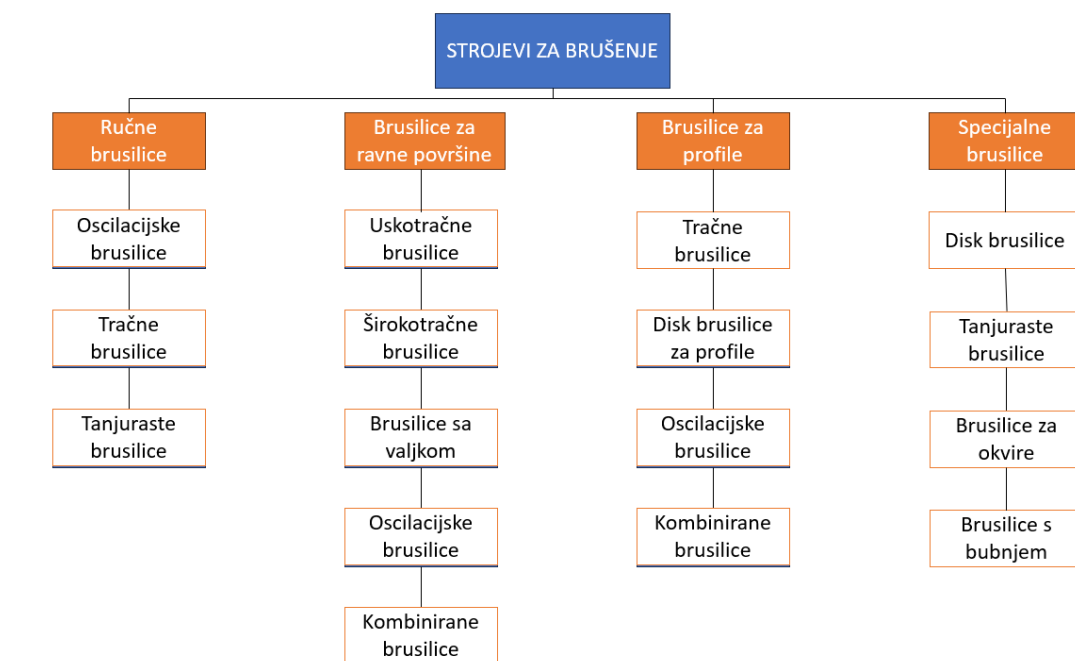


Slika 6. Utiskivanje abrazivnih zrna u plohu (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)

- a) mali pritisak
- b) srednji pritisak
- c) veliki pritisak

3.2.1. Strojevi za brušenje

Strojevi za brušenje se dijele ovisno o geometriji plohe koja se brusi, pa tako postoje strojevi za ravne površine, za cilindrične te za tokarene površine, a dijele se još i na ručne i specijalne brusilice (Slika 7) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).



Slika 7. Podjela strojeva za brušenje (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)

Kod brušenja ravnih površina tj. ploha se koriste strojevi koji mogu obrađivati površine pločastih elemenata, bez zaobljenja, a u tu skupinu spadaju:

- tračne brusilice: širokotračne i uskotračne
- cilindrične brusilice (s valjkom)
- oscilacijske brusilice
- specijalne brusilice

Tračne brusilice su glavni predstavnik strojeva za brušenje ravnih površina iz razloga što imaju veliku kontaktnu površinu i mogućnost regulacije pritiska što im omogućuje fino brušenje površine kao i jednostavno praćenje geometrije površine. Iz tog razloga su pogodne za brušenje furnira jer ne dovode do prebrušavanja. Kod tračnih brusilica je brusno sredstvo izvedeno kao beskonačna traka, pa tako postoje širokotračne i uskotračne brusilice. Širokotračne brusilice imaju širinu brusne trake od 600 do 2500 mm, dok uskotračne imaju širinu od 100 do 200 mm. Zbog razlike u širini traka su i različite primjene ovakvih brusilica, kao i parametri obrade (Tablica 2 i 3) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Tablica 2. Brzina brušenja kod uskotračnih brusilica (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)

Uskotračne brusilice	Brzina rezanja		
	Min	Preporučeno	Max
Masivno drvo - tvrdo	10	20	24
Masivno drvo - meko	10	12	24
Furnir			
>Brusilice sa dugačkom trakom	10	12	20
>Rubne brusilice	6	10	12
>Profilne brusilice	6	8	12
Premaz (lak) - generalno	5	8	15
>Nitrocelulozni	2	4	12
>Poliesterski, transparentan	2	4	8
>Poliesterski, pigmentiran	6	10	16
>Poliuretanski	6	10	16
>Akrični, pigmentiran	6	10	18,2
>Kiselootvrdnjavajući	12	12	18

Tablica 3. Brzina brušenja kod širokotračnih brusilica (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)

Širokotračne brusilice	Brzina rezanja (m/s)			Pomak materijala (m/min)	
	Min	Preporučeno	Max	od	do
Masivno drvo	12	20	24	20	30
Furnir	10	20	24	10	20
Furnirske ploče	10	20	24	10	20
Zapunjači	6	8	10	6	10
Premazi	3	8	15	6	8
MDF/liverice	18	26	36	20	40
Mineralne ploče	22	26	26	8	16
Melaminske folije	10	12	16	8	12

Uskotračne brusilice su kontaktne i pritisak brusne trake se može ostvariti ručno ili pneumatski pomoću pritisne papuče te kontaktnom gredom. Podjela ovakvih brusilica je prema stupnju automatizacije pa tako postoje ručne, poluautomatske i automatske uskotračne brusilice. Kod ručnih se brušenje ostvaruje pomoću brusne papuče malih dimenzija, a pritisak i pomak predmeta obrade se radi ručno pa je prednost ovakvih brusilica da nam omogućuju zadržavanje na određenim mjestima predmeta obrade i mijenjanje vremena brušenja. Poluautomatske brusilice su kombinacija ručnih i automatskih brusilica te imaju pomični radni stol i dvije brusne trake. Prva brusna traka ostvaruje kontakt ručno, dok na drugoj kontaktna greda sa zračnim jastukom vrši pritisak. Automatske brusilice su slične ručnima, ali su im radnje automatizirane, a pritisak se ostvaruje preko komprimiranog zraka ili brusnih papučica (Slika 8) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

**Slika 8. Automatska uskotračna brusilica (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)**

Širokotračne brusilice se mogu koristiti za kalibriranje, za fino brušenje i brušenje furnira. Za ravne površine se također koriste i cilindrične brusilice, ali ovakve brusilice imaju veliki intenzitet brušenja i malu kontaktnu površinu što ih ne čini prikladnima za brušenje furnira već za egaliziranje i kalibriranje. Ekonomičnije je koristiti širokotračne brusilice od

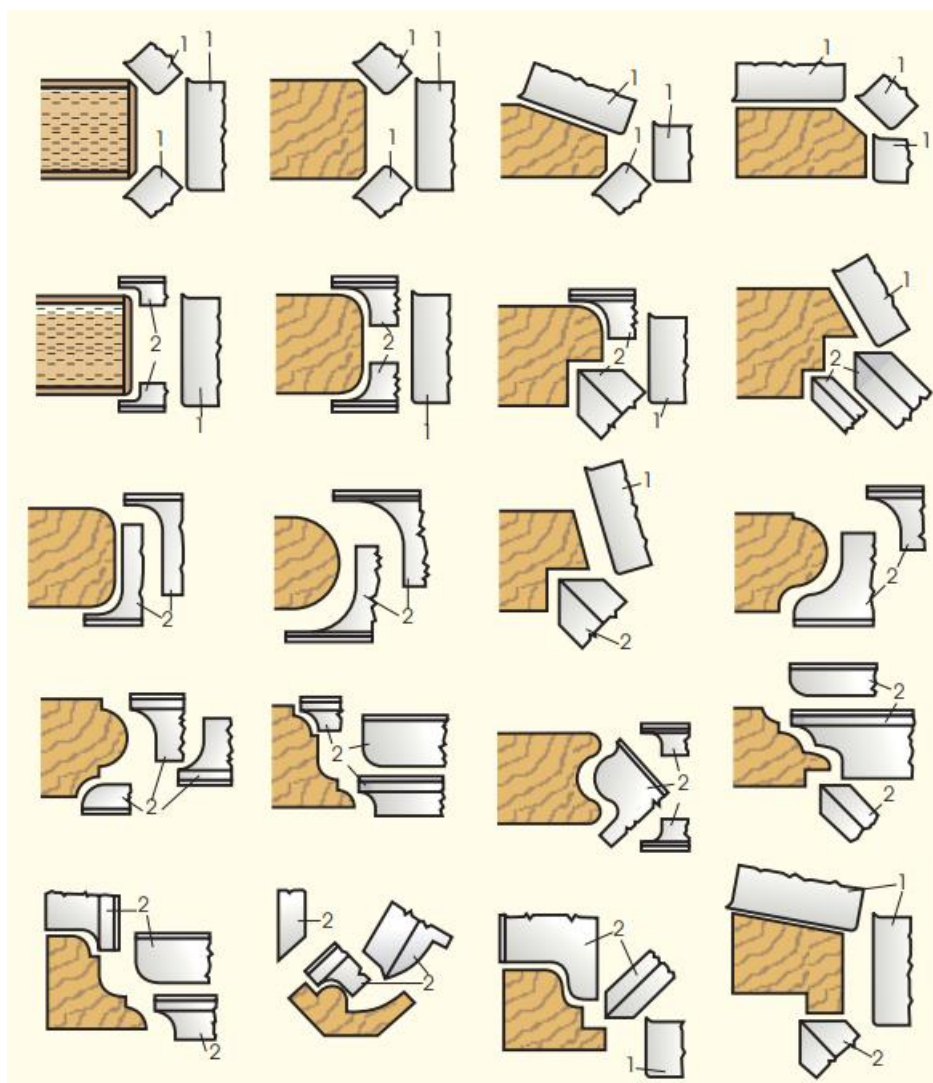
cilindričnih te se u suštini cilindrične brusilice koriste za kalibriranje površina, dok se tračne brusilice koriste za obradu kalibriranih obradaka (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Veliki problem kod tračnog brušenja je vijek trajanja brusne trake. Kao što je već prije navedeno, čim duži period korištenja u kombinaciji sa velikim brzinama uzrokuje trošenje trake. Ako želimo što više optimizirati vijek trajanja trake, moramo uzeti u obzir i druge faktore osim vremena korištenja i brzine brušenja. Neki od tih faktora su izbor brusnih sredstava i materijala, pravilno podešavanje strojeva i pravilno rukovanje istima, pravilan odabir stroja za određenu vrstu brušenja, odabir pravilne granulacije te provjera rada sistema za odsis drvene prašine (Mirka brochure, 2013). Vijek trajanja trake može se smanjiti ako se u obratku nalaze metali ili druge nečistoće, ako se bruse vrući obratci (idealna bi bila sobna temperatura), ako je višak ljepila na furniranim površinama zbog lošeg skladištenja te ako se koristi preveliki pritisak na traku (Norton brochure, 2001).

Prema Jaić i Živanović-Trbojević (2000) kod brušenja profiliranih površina i rubova postoji razlika između brušenja ravnih širokih strana i užih strana zbog razlika tih površina u obliku i dimenzijama. Ako su rubovi ili plohe obloženi furnirom, važno je pažljivo brusiti zbog male debljine furnira. Za brušenje rubova koriste se agregati za brušenje s različitim brusnim alatima (Slika 10):

- agregati sa beskonačnom brusnom trakom
- agregati sa beskonačnom profilnom brusnom trakom
- agregati sa rotirajućim brusnim kolutima
- oscilatorni agregati za brušenje, koji se kreću linearno

Prema Jirouš-Rajković (2023) brušenje profila se može izvoditi ručno, slobodno tračno, mehanim valjkom te pomoću četkarica. Ako se brusi slobodno tračno, onda postoji brušenje profila bez provlačenja, brušenje gdje se element rotira oko brusne trake ili suprotno, gdje se brusna traka rotira oko elementa.



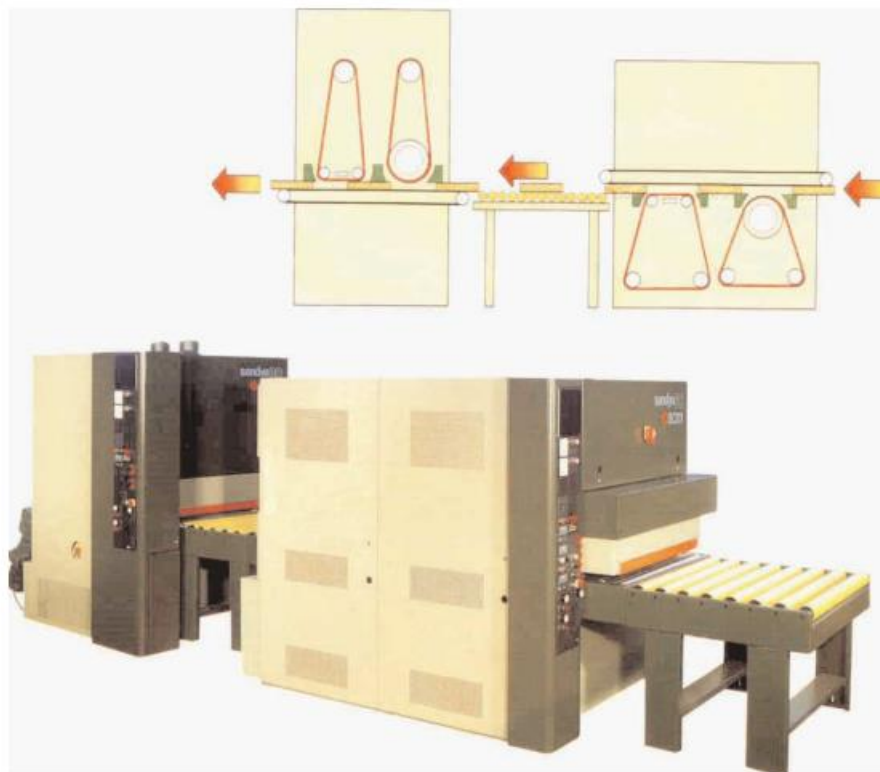
Slika 10. Brušenje profila (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000.)

- 1- agregati sa brusnom trakom
- 2- agregati sa brusnim kolutima

Što je zahtjevniji rub ili profil, brušenje se mora odvijati s manjom brzinom. Brusne trake za profile i rubove moraju biti otpornije na gorenje, rasipanje zrna i kidanje dok ujedno moraju zadržati sposobnost odvođenja temperature, čistog rezanja i da se ne rastežu. Moraju omogućiti uklanjanje grešaka poput tragova noža bez da promijene profil, a da daju potrebnu kvalitetu površine (Coated abrasives technology for the woodworking industry, 2001).

3.2.2. Linije za brušenje

Kao i kod svake druge obrade ili procesa, tako i kod brušenja također postoje kombinirane linije strojeva i transportnih sredstava koji su povezani tako da se obradak brusi po tehnološkom redu (Slika 11) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).



Slika 11. Prikaz brusne linije (SCM) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000)

Prema Jaić i Živanović-Trbojević (2000) brusne linije se dijele na potpune i nepotpune ovisno da li se obavlja brušenje u cijelosti ili samo pojedinačne faze te mogu biti poluautomatske ili potpuno automatske. Bitan zahtjev kod projektiranja brusnih linija je ekonomičnost i racionalnost te osiguranje za izvođenje svih potrebnih faza brušenja i tehnoloških zahtjeva poput:

- brušenja svake površine
- brušenje u propisanom smjeru
- korištenje brusilica odgovarajućeg principa rada
- brušenje u programiranim stupnjevima obrade

4. BRUŠENJE DRVA PRIJE NANOSA PREMAZNOG MATERIJALA

Najveći utjecaj na kvalitetu premaza ima hrapavost površine. Hrapavost utječe na upijanje i razlijevanje premaznih materijala za površinsku obradu, sjaj lakiranih podloga te adheziju premaza (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

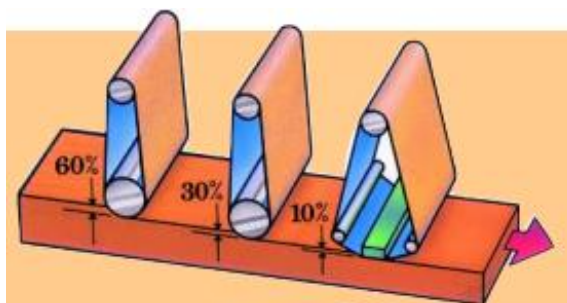
U osnovi, ako želimo postići manje hrapavu površinu, moramo koristiti finiju granulaciju. Kod vrsta drva s manjim porama poput bukovine ili javorovine granulacija završnog brušenja je veća, a kod vrsta sa većim porama ona je manja. „Najmanja hrapavost koja se može postići brušenjem odgovara strukturnoj hrapavosti drva i kreće se između 1 μm i 2 μm , izraženo kao Ra hrapavost“ (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Da bi postigli što manju hrapavost i željena svojstva površine, brušenje se mora odvijati u više faza. Tako se proces brušenja dijeli na 3 faze:

1. predbrušenje
2. međubrušenje
3. završno (fino) brušenje

Predbrušenje se obavlja s krupnijim brusnim zrnima kako bi se uklonile neravnine, većinom s granulacijama P80-P120. Predbrušenje je zaduženo za definiranje debljine obratka i čišćenje površine. Međubrušenje služi da bi se dobila što glađa površina s granulacijama P120-P180, a završno brušenje je potrebno obavljati granulacija P200-P250 uz ne preveliki pritisak i paralelno s vlakancima (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

U svakoj fazi brušenja nije jednaka debljina koja odbrusi s površine. U prvoj fazi brušenja skida se 60%, u fazi međubrušenja 30% i u fazi finog brušenja 10% od ukupne debljine odbrušenja (Slika 12) (Norton brochure, 2001).



Slika 12. Brušenje sistemom 60-30-10 (Norton brochure, 2001)

Važna je provjera kvalitete brušene površine, jer svaki premazni materijal drugačije prikazuje greške na površini. Prema Nagyszalanczy (1997) vodeni premazi su osjetljiviji na greške brušenja od otapalnih premaza. Ako bi htjeli postići bolje rezultate s vodenim premazima, trebalo bi prije završnog brušenja nakvasiti površinu drva s vodom kako bi se što više izdignutih vlakanaca pobrusilo. Ako bi se koristili premazni materijali koji ne zahtijevaju međubrušenje, poput PE lakova, treba ustanoviti kako podizanje vlakanaca utječe na konačni efekt površine (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Jirouš-Rajković (2023) navodi da ako se površina ručno brusi, tada se koriste granulacije P120, P180-P240 za sjajne i visoko sjajne lakove, a za mat lakove se koriste granulacije P100, P150-P220. Nadalje, ako se koristi tračna brusilica za pripremu površine za sjajne i visoko sjajne lakove, tada se koriste iste granulacije kao i kod ručnog, a razlika je jedino kod pripreme površine za mat lakove gdje se tada koriste granulacije P120, P180-P240.

Različiti premazni materijali različito utječu na površinu te ju oni hrapave. Vodeni lakovi relativno jako hrapave površinu jer se dugo suše, pa se tako prije nanosa laka brusi sa granulacijama P220 i P240. Nitrocelulozni lakovi manje hrapave površinu pa se brusi sa P180-P220. Poliuretanski lakovi bruse se granulacijama P180 i P220 jer također malo hrapave površinu. UV lakovi uopće ne hrapave površinu drva i koriste se granulacije P180 i P220. Kod pripreme površine za ulja i voskove treba finije brušenje sa granulacijama P220 i P280, a za materijale obložene folijom granulacija ovisi o masi folije gdje se granulacije kreću između P220 i P320 i koriste se zrna od aluminijskog oksida (Jirouš-Rajković, 2023).

5. REŽIMI I PARAMETRI BRUŠENJA DRVA

Prema već prije navedenim činjenicama, izdizanje vlaknaca je najveći problem kod brušenja površine drva. Također, da bi postigli što manju hrapavost uz povećanje adhezije i smanjili greške potrebno je što kvalitetnije odraditi proces brušenja. Kako bi osigurali da je brusni materijal odgovarajuće kvalitete potrebno ga je pravilno skladištiti u sljedećim uvjetima (Jirouš-Rajković, 2023):

1. temperatura prostorije : 15-25 °C
2. relativna vlažnost : 40-70 %
3. da se materijali skladište u originalnim kutijama
4. da se ne skladišti na betonskom podu
5. da se ne skladišti kraj direktnog izvora topline

Ako se bruse smolaste vrste ili vrste drva manje gustoće potrebno je koristiti brusni materijal sa manjom nanosa brusnog zrna. Gustoća nanosa određuje međuprostor između brusnih zrna, tako imamo podjelu na otvoreni, zatvoreni i poluotvoreni nanos (Slika 13). Kod otvorenog nanosa zrna su raspoređena tako da prekrivaju 50-70 % brusnog materijala, a kod zatvorenog nanosa zrna prekrivaju 80-95 % površine materijala (Jirouš-Rajković, 2023).

Zatvoreni nanos



Poluotvoreni nanos



Otvoreni nanos



Slika 13. Utiskivanje abrazivnih zrna u podlogu (Jirouš-Rajković, 2023)

Zatvoreni nanos je najbolje koristiti kod suhog brušenja mekih i lako zapunjavajućih materijala poput kita, laka, boje i mekih vrsta drva. Ovakav nanos ima prednost manjeg

zapunjavanja. Otvoreni nanos se koristi kod tvrdih i nezapunjavajućih materijala te za mokro brušenje. Prednosti ovakvog nanosa su više oštih bridova na površini, duži radni vijek, veće odbrušavanje te manji risevi (Jirouš-Rajković, 2023).

Kod ručnog brušenja drva, ako je potrebno maknuti velike količine materijala, koriste granulacije P24-P80 s tvrdom papirnatom podlogom. Prije obrade premaznim materijalom drvo brusi se granulacijama P100-P220 kako bi se osigurala dobra adhezija. Brušenje s prefinim granulacijama neće biti od koristi, jer se većina lakova dobro nanosi i nakon brušenja granulacijom P180. Ako želimo dobiti visoki sjaj površine nakon premazivanja, tada se koriste granulacije P800-P4000 te one služe samo kako bi se uklonile ogrebotine i tu se koristi podloga od tankog papira (Mirka brochure, 2013).

5.2. Čimbenici koji utječu na kvalitetu brušenja

Osim već prije navedenih čimbenika kao što su brzina rezanja/brušenja, posmična brzina, pritisak na obradak te vrijeme brušenja, postoje još neki čimbenici na koje treba pripaziti, ako želimo postići što bolju kvalitetu površine. Prema Jaić i Živanović-Trbojević (2000), te veličine su:

- **Oscilacija brusne trake**, čije su uobičajene kretnje od 10-15 mm i frekvencija između 30 i 80 prolaza u minuti. Oscilacija omogućuje da se tijekom brušenja brusna zrna u svakom sljedećem prolazu ne nalaze u istim tragovima kao prije, već se iscrtavaju novi tragovi, a to u konačnici omogućuje dužu upotrebu brusnog materijala.
- **Dimenzija obratka** je važna zbog količine strugotine koja nastaje tijekom obrade jer se ona mora preko brusne trake odvesti iz kontaktne zone.
- **Sadržaj vode drva** utječe na količinu odbrušenog drva u jedinici vremena. Ta količina se smanjuje s povećanjem vlažnosti drva iznad 20 % sadržaja vode. Također se tijekom procesa brušenja na površini drva stvaraju temperature do 100 °C, što smanjuje sadržaj vode u površini drva, pa je moguće da obradak koji je prije brušenja imao sadržaj vode od 15 %, nakon brušenja ima sadržaj vode na površini samo 6 %.
- **Vrsta drva** također utječe na odabir režima brušenja jer vrste drva razlikuju po gustoći, čvrstoći i građi drva. Kod vrsta drva manje gustoća nisu potrebne toliko grube granulacije i velik pritisak kao kod vrsta drva veće gustoće.

- **Kut vlakana** u odnosu na smjer brušenja ima utjecaja samo ako je veći od 60°, a utjecaj ima na količinu strugotine. Ako se brusi poprečno na vlakanca dobije se i do 10 % više strugotine, a najviše strugotine drva dobije se brušenje pod kutom od 60° i 90°.

5.3. Smjer brušenja

Smjerovi brušenja se određuju u odnosu na smjer vlakanca. Tako razlikujemo uzdužno, poprečno i brušenje pod kutom u odnosu na smjer vlakana. Poznato je da je efekt brušenja najveći kod poprečnog brušenja, ali problem kod takvog brušenja je nastanak tagova na površini koje je kasnije teško ukloniti. Kod uzdužnog brušenja greške su najmanje, ali je efekt brušenja mali (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

Prema Jaić i Živanović-Trbojević (2000) najčešće se koristi brušenje suprotno od smjera kretanja obratka zbog jednostavnijeg i efikasnijeg odsisavanja bruševine, a kombiniranjem istosmjernog i protusmjernog brušenja najbolje se otklanjanju slobodna vlakanca.

Brušenje u smjeru vlakanca dokazano je kvalitetniji postupak jer se pojedina brusna zrna mogu gledati kao elementarne oštrice, samim time se postiže bolja kvaliteta površine. Dok je brušenje u okomitom smjeru na smjer protezanja vlakanca (poprečno brušenje) kvalitetnije u vidu produktivnosti, ali nije toliko i u vidu kvalitete površine zato što se stvaraju tragovi brušenja koji su vidljivi i golim okom. Ako želimo postići ravnanje površine, a ne samo glačanje, tada se koristi kombinirano (unakrsno) brušenje. Međutim, kod takve obrade završno brušenje uvijek mora biti uzdužno. Kombinirano brušenje izvodi se najmanje u dva koraka, a najbolja kvaliteta postiže se ako se brušenje izvodi u tri koraka (uzdužno-poprečno-uzdužno ili poprečno-poprečno-uzdužno) (Jaić i Živanović-Trbojević, 2000).

5.4. Optimalno brušenje i greške brušenja

Da bi postigli što optimalnije brušenje treba se voditi po pravilima optimalnosti za brušenje. Prema Jirouš-Rajković (2023) životni vijek brusne trake je veći što je veća traka i manji pritisak brušenja. Ako su obratci vrući ili sjajni, mogu ukazivati na potrebu zamjene trake. Zapunjavanje trake može se izbjeći ako se koriste dovoljno suha ljepila i lakovi, a kod brušenja lakova koristiti se veća brzina uz manji pritisak brušenja. Također, što je materijal koji se brusi tvrdi, to se mora smanjivati brzina brusne trake. Kao što je već napomenuto, važno je ne preskakati više od jedne granulacije. Za što jednoličnije brušenje, predzadnja

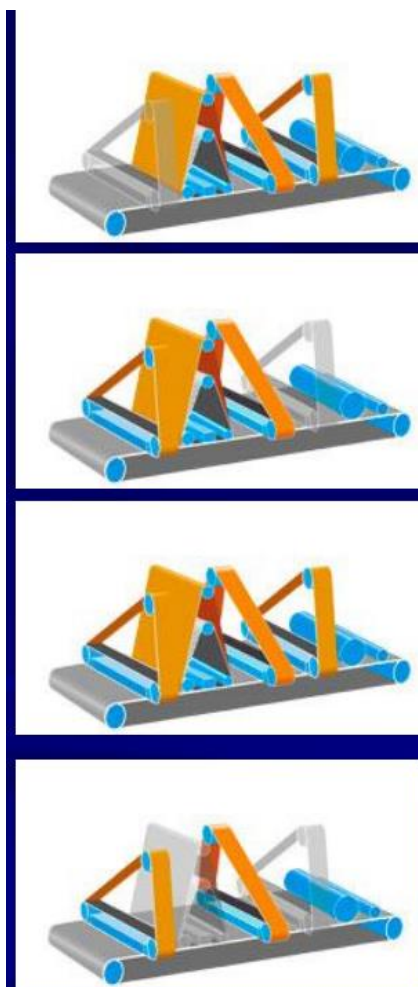
traka mora se kretati u istom smjeru kao i obradak, a ako se brusi okomito na pomak obratka mora se podesiti brzina brušenja.

Neki od problema obrade brušenjem su da se stroj i traka zapunjava, a taj problem se može riješiti ako se koristi odsisni sistem i da se ne koriste prefine granulacije. Zatim mogu nastati vidljive ogrebotine koje se mogu izbjeći ako se ne preskaču granulacije te ako se koristi silicijev karbid kao abrazivno zrno. Ako nema dosta odstranjivanja materijala, tada treba koristiti abrazivna zrna od aluminijskog oksida i pridržavati se pravila da se kreće sa grubljim granulacijama i kreće se prema finijim (Mirka brochure, 2013).

Kod ručnog brušenja može doći do vidljivih ogrebotina, vidljivih otisaka prsti, da nema dovoljno odvajanja materijala, da se trga brusni papir i mogući problemi sa odsisom drvene prašine. Kod tračnog brušenja najčešći problemi i greške su vidljive crte na površini nakon obrade, puknuće brusne trake te neravna površina (Effective wood sanding, 2013).

5.5. Primjeri brušenja proizvoda

Jirouš-Rajković (2023.) opisuje postupak brušenja MDF ploča na visoki sjaj. U prvom prolazu se priprema površina granulacijama P180 i P240 da bi se mogao na element nanijeti sloj zapunjača. Nakon lakiranja dolazi drugi prolaz gdje se brusi zapunjač pomoću granulacija P320 i P400. Zatim u trećem prolazu, nakon što se nanese temeljni lak, se brusi pomoću sva 4 agregata granulacijama P320/P360 te P500 i P600. Kod završnog četvrtog prolaza se brusi granulacijama P1200 i P1500 prije nego se polira lak (Slika 14).



Slika 14. Brušenje MDF ploče na visoki sjaj (Jirouš-Rajković, 2023.)

Prema Jirouš-Rajković (2023.), ako imamo proizvode od mekog drva poput smreke, tada se kalibriranje odvija pomoću granulacija P40-P80, zatim se prelazi na predbrušenje gdje se koriste granulacije P100-P120, a završava se sa finim brušenjem granulacijama P150-P180. Ako se radi o tvrdoj vrsti drva poput hrasta, preporuča se kalibriranje granulacijama P40-P80, predbrušenje sa granulacijama P100-P150 te završno fino brušenje sa granulacijama P180-P240. Važno je za napomenuti da se do granulacije P180 koriste abrazivna zrna od aluminijevog oksida, a za granulacije od P220 i nadalje se primjenjuje silicijev karbid.

6. ZAKLJUČAK

Brušenje je neizbježan postupak kod površinske obrade drva, što zbog poboljšanja estetike, što zbog poboljšanja ostalih svojstava drva. Da bi se što kvalitetnije obradilo drvo brušenjem važno je uzeti u obzir razne parametre, načine rada strojeva i osoblje koje će izvoditi proces. U suštini, najviše se koriste brusni papiri i brusne trake jer su najefikasniji, ali svakodnevno se razvijaju novi materijali i načini ove obrade. Brušenje nam može poslužiti kao ispravna faza nekih prijašnjih faza, gdje možemo ukloniti pogreške prijašnjih obrada pa je važno da se što kvalitetnije brusi. Važno je poznavati materijale koji se koriste na alatima kao i premaze kojima će se dalje drvo oplemenjivati te uz konstantnu provjeru brusne trake i zadovoljavanje potrebnih pravila za optimalno brušenje, može se postići vrlo kvalitetna površina koja može povećati vrijednost proizvoda. Obzirom na geometriju proizvoda ili elementa, sadrži li ravne ili profilirane plohe, odabir strojeva za obradu je različit. Pa se tako za ravne plohe koriste tračne i cilindrične brusilice, a za profile i rubove se koriste različiti brusni agregati. U suštini se kod brušenja mora paziti da se ne preskače više od jedna granulacija da ne bi nastale greške i da se počinje s krupnijim zrnima te završava sa sitnijim. Bitno je da se brušenje obavlja u fazama (predbrušenje, međubrušenje i završno brušenje) da bi se postigli dobri rezultati. Brušenje smanjuje hrapavost površine što u konačnici ovisi kakve će kvalitete biti nanoseni premaz, gdje veliku ulogu ima smjer brušenja, jer on uvjetuje kako će se dizati vlakanca.

LITERATURA

1. Allen, S., 2007: The Wood Finisher's Handbook. Union Square & Co.
2. Jaić, M.; Živanović-Trbojević, R., 2000: Površinska obrada drveta : Tehnološke osnove, tehnološki procesi. M. Jaić.
3. Jirouš-Rajković R., 2023: Materijali za predobradu. Predavanja iz predmeta Površinska obrada drva (://moodle.srce.hr/2022-2023/course/view.php?id=129011) (datum pristupa: 24.08.2023.)
4. Sydor, M.; Mirski, R.; Stuper-Szablewska, K.; Rogozinski, T., 2021: Efficiency of machine sanding of wood. Applied sciences, 11 (6): 2860. <https://doi.org/10.3390/app11062860>
5. Nagyszalanczy, S., 1997: The Wood Sanding Book, Taunton Press; First Edition edition.
6. Wieloch, G.; Sikliena, M., 2004: Influence of selected parameters on the loss efficiency of the wood sanding process. Drewno, 47: 121-130.
7. ***Mirka wood sanding brochure, 2013: Effective wood sanding (<https://www.mirka.com/SharePoint/Marketing/Communications/WebContent/MCALiterature/Brochures/Effective%20Wood%20Sanding%20brochure%20English.pdf>), pristupljeno 26.08.2023.
8. ***Norton woodworking brochure, 2001: Coated abrasives technology for the woodworking industry (<https://www.yumpu.com/en/document/view/49849551/download-norton>), pristupljeno 27.08.2023.

Linkovi:

<https://www.wikiwand.com/sk/Korund> (pristupljeno: 24.08.2023.)

<https://www.gemstone7.com/596-emery.html> (pristupljeno: 24.08.2023.)

<https://www.minerals.net/mineral/quartz.aspx> (pristupljeno: 24.08.2023.)

<https://parlak-celik.com/brown-fused-alumina/> (pristupljeno: 24.08.2023.)

https://hr.wikipedia.org/wiki/Silicijev_karbid (pristupljeno: 24.08.2023.)

Popis slika

Slika 1. Prirodni korund

Slika 2. Smirak

Slika 3. Kremen

Slika 4. Aluminijski oksid

Slika 5. Silicijev karbid

Slika 6. Utiskivanje abrazivnih zrna u plohu

Slika 7. Podjela strojeva za brušenje

Slika 8. Automatska uskotračna brusilica

Slika 9. Brušenje profila

Slika 10. Prikaz brusne linije (SCM)

Slika 11. Utiskivanje abrazivnih zrna u plohu

Slika 12. Brušenje MDF ploče na visoki sjaj

Popis tablica

Tablica 1. Dimenzije otvora po FEPA standardu

Tablica 2. Brzine brušenja kod uskotračnih brusilica

Tablica 3. Brzine brušenja kod širokotračnih brusilica