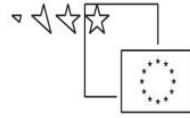




REPUBLIKA SLOVENIJA  
**MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT**



*Naložba v vašo prihodnost*  
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

# **TEHNOLOGIJA STROJNE OBDELAVE LESA**

**VLADIMIR STEGNE**



Višješolski strokovni program: Oblikovanje materialov  
Učbenik: Tehnologija strojne obdelave lesa  
Gradivo za 2. letnik

**Avtor:**

Vladimir Stegne, univ. dipl. inž. les.  
LESARSKA ŠOLA Maribor  
Višja strokovna šola



**Strokovni recenzent:**

Milan Zamuda, univ. dipl. inž. les.

**Lektorica:**

Elizabeta Potočnik, prof. slov., ang. jez.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

674.02 (075.8) (0.034.2)

STEGNE, Vladimir

Tehnologija strojne obdelave lesa [Elektronski vir] : gradivo za  
2. letnik / Vladimir Stegne. - El. knjiga. - Ljubljana : Zavod IRC,  
2011. - (Višješolski strokovni program Oblikovanje materialov /  
Zavod IRC)

Način dostopa (URL) : [http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti\\_dokumenti/Tehnologija\\_strojne\\_obdelave\\_lesa-Stegne.pdf](http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Tehnologija_strojne_obdelave_lesa-Stegne.pdf). - Projekt Impletum

ISBN 978-961-6857-54-3

258178048

Izdajatelj: Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM

Založnik: Zavod IRC, Ljubljana

Ljubljana 2011

*Strokovni svet RS za poklicno in strokovno izobraževanje je na svoji 132. seji dne 23.9.2011 na podlagi 26. člena Zakona o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (Ur. l. RS, št. 16/07-ZOFVI-UPB5, 36/08 in 58/09) sprejel sklep št.01301-5/2011/11-2 o potrditvi tega učbenika za uporabo v višješolskem izobraževanju.*

Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11.

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja ter prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.



# KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>POMEN STROJNE OBDELAVE IN VPLIV NA POSLOVANJE PODJETJA .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>REZALNO ORODJE .....</b>	<b>9</b>
3.1	GEOMETRIJA REZALNEGA ORODJA .....	9
3.2	MATERIALI ZA REZALNA ORODJA .....	10
3.3	VRSTE REZALNEGA ORODJA .....	11
<b>4</b>	<b>GIBANJA PRI ODREZOVANJU .....</b>	<b>13</b>
4.1	REZALNA HITROST .....	13
4.2	PODAJALNA HITROST .....	14
4.3	GLOBINA VALA CIKLOIDE.....	15
4.4	SILE PRI ODREZOVANJU LESA.....	16
<b>5</b>	<b>OTOPITEV REZIL IN OSTRENJE REZALNEGA ORODJA.....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>MERJENJE IN ZARISOVANJE LESA.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>TEHNOLOGIJA STROJNE OBDELAVE LESA Z OSNOVNIMI LESNOOBDELOVALNIMI STROJI .....</b>	<b>24</b>
7.1	ŽAGANJE LESA.....	25
7.1.1	Žaganje lesa s tračnimi žagalnimi stroji .....	25
7.1.2	Žaganje lesa z miznimi krožnimi žagalnimi stroji.....	26
7.2	SKOBLJANJE LESA .....	29
7.2.1	Poravnalno skobljanje lesa .....	29
7.2.2	Debelinsko skobljanje lesa .....	30
7.2.3	Menjavanje skobeljnih nožev .....	31
7.2.4	Štiristranski skobeljni stroji .....	31
7.2.5	Sistem skobljanja Rotoles.....	32
7.3	REZKANJE LESA.....	33
7.3.1	Rezkanje lesa z miznim rezkalnim strojem .....	34
7.4	VRTANJE IN DOLBENJE LESA.....	35
7.4.1	Vrtanje lesa na horizontalnem vrtalnem stroju .....	36
7.4.2	Vrtanje lesa na večvretenskih vrtalnih strojih.....	36
7.5	STRUŽENJE LESA.....	37
7.6	LEPLJENJE LESA .....	40
7.6.1	Mehanizem lepljenja.....	40
7.6.2	Vrste lepil .....	41
7.6.3	Tehnologija lepljenja lesa .....	43
7.6.4	Tehnologije nanašanja lepila na lepilne površine .....	45
7.6.5	Stiskanje obdelovancev .....	47
7.7	OPLEMENTITENJE LESNIH PLOŠČ IN OBDELAVA ROBOV .....	51
7.8	BRUŠENJE LESA .....	54
7.8.1	Horizontalni tračni brusilni stroj.....	55
7.8.2	Širokotračni brusilni stroji .....	56
7.8.3	Robni brusilni stroji.....	56
<b>8</b>	<b>TEHNOLOGIJA STROJNE OBDELAVE LESA Z RAČUNALNIŠKO VODENIMI LESNOOBDELOVALNIMI STROJI.....</b>	<b>58</b>
8.1	ZGRADBA RAČUNALNIŠKO VODENEGA OBDELOVALNEGA STROJA (CNC) .....	59
8.2	KOORDINATNI SISTEM.....	60
8.3	CNC STROJI ZA IZDELAVO STAVBNEGA POHIŠTVA .....	61
8.4	CNC STROJI ZA IZDELAVO BIVALNEGA POHIŠTVA .....	62
8.5	CNC STRUŽENJE LESA.....	65
8.6	CNC STROJI ZA RAZŽAGOVANJE LESNIH PLOŠČ .....	65
8.7	CNC ČELJENJE IN OPTIMIRANJE LESA .....	67
8.8	OSTALI CNC STROJI .....	68
8.9	ROBOTI V LESNI INDUSTRIJI .....	70
8.9.1	Sestava in programiranje robotov .....	71
<b>9</b>	<b>REZANJE Z VODO .....</b>	<b>74</b>

9.1	OBDELAVA Z VODNIM CURKOM – VC .....	74
9.2	OBDELAVA Z ABRAZIVNIM VODNIM CURKOM – AVC .....	75
<b>10</b>	<b>UPORABA LASERSKE TEHNOLOGIJE V LESARSTVU .....</b>	<b>78</b>
10.1	LASERSKO REZANJE MATERIALOV .....	79
10.2	LASERSKO GRAVIRANJE .....	82
10.2.1	Skeniranje 3D objektov in 2D oblik .....	83
10.2.2	Postopek graviranja lesa .....	84
10.3	UPORABA LASERJEV V MERILNIH IN OZNAČEVALNIH SISTEMIH .....	85
<b>11</b>	<b>POVEZOVANJE STROJNE OPREME V STROJNE LINIJE .....</b>	<b>88</b>
11.1	STROJNA LINIJA ZA VZDOLŽNO SPAJANJE MASIVNEGA LESA .....	91
11.2	STROJNA LINIJA ZA POVRŠINSKO OBDELAVO LESA IN LESNIH PLOŠČ .....	91
11.3	STROJNA LINIJA ZA RAZŽAGOVANJE HLODOVINE .....	92
<b>12</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>95</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Smeri odrezovanja lesa .....	9
Slika 2: Koti rezalnega klina .....	9
Slika 3: Oblike rezalnega klina.....	10
Slika 4: Pregled materialov za rezalna orodja .....	10
Slika 5: Korelacija trdote in žilavosti materialov .....	11
Slika 6: Vrste rezalnega orodja.....	11
Slika 7: Gibanja pri odrezovanju .....	13
Slika 8: Podajanje na zob $s_z$ .....	15
Slika 9: Globina vala cikloide $r_v$ .....	16
Slika 10: Sile pri odrezovanju lesa in podajalni agregat .....	17
Slika 11: Topost rezila.....	19
Slika 12: Ostrenje rezalnega orodja.....	20
Slika 13: Ostrenje rezalnega orodja .....	20
Slika 14: Ostrenje krožnih žag .....	20
Slika 15: Oblike diamantnih brusnih kolutov .....	21
Slika 16: Tračno merilo .....	22
Slika 17: Členkasto merilo .....	22
Slika 18: Kljunasto merilo .....	22
Slika 19: Kotna merila .....	22
Slika 20: Črtalnik.....	22
Slika 21: Mikrometer.....	23
Slika 22: Tračni žagalni stroj.....	25
Slika 23: Zgornje in spodnje vodilo žaginega lista .....	26
Slika 24: Mizni krožni žagalni stroj .....	26
Slika 25: Nastavitev razpornega klina .....	27
Slika 26: Diletacijska zareza in protihrupni utori na krožnem žaginem listu.....	27
Slika 27: Formatni mizni krožni žagalni stroj .....	28
Slika 28: Poravnalni skobeljni stroj.....	29
Slika 29: Nastavitev višine odvzemne mize poravnalnega skobeljnega stroja .....	30
Slika 30: Debelinski skobeljni stroj.....	30
Slika 31: Šablona za vpenjanje skobeljnih nožev v skobeljno vreteno .....	31
Slika 32: Štiristranski skobeljni stroj.....	32
Slika 33: Primerjava klasičnega skobljanja in sistema Rotoles.....	32
Slika 34: Mizni rezkalni stroj .....	34
Slika 35: Krivoljno rezkanje.....	34
Slika 36: Rezkanje v polno .....	35
Slika 37: Horizontalni vrtalni stroj in svedra.....	36
Slika 38: Večvretenski vrtalni stroj .....	36
Slika 39: Stružnica in sestavni deli stružnice .....	37
Slika 40: Vzдолžno in čelno stružen element .....	38
Slika 41: Oblike obdelovancev pred struženjem in določanje centra za vpenjanje.....	38
Slika 42: Vzдолžno in prečno struženje lesa.....	39
Slika 43: Vpenjalna čeljust in stružna dleta .....	39
Slika 44: Lineta.....	39
Slika 45: Sile v lepilnem spoju .....	41
Slika 46: Skupine in vrste lepil.....	42
Slika 47: Fordova čaša.....	44
Slika 48: Pnevmatška naprava za nanašanje lepila in različni nastavki .....	45
Slika 49: Stroj za valjčno nanašanje lepila .....	46
Slika 50: Nanašanje lepila s polivanjem.....	46
Slika 51: Ekstruzijsko nanašanje lepila .....	46
Slika 52: Visokofrekvenčno segrevanje lepilnih spojev.....	48
Slika 53: Hidravlična stiskalnica in diagram delovnega tlaka.....	49

Slika 54: Miza za širinsko stiskanje lesa.....	50
Slika 55: Stiskalnica s pomičnimi in vrtljivimi svorami.....	50
Slika 56: Okvirna stiskalnica .....	50
Slika 57: Korpusna stiskalnica.....	51
Slika 58: Sestava oplemenitene lesne plošče pripravljena za obdelavo robov .....	51
Slika 59: Paketni rezkalni stroj, paketne škarje in stroj za spajanje furnirja .....	52
Slika 60: Stroj za robna lepljenja lesnih plošč .....	52
Slika 61: Sestava brusnega traku .....	54
Slika 62: Horizontalni tračni brusilni stroj.....	55
Slika 63: Širokotračni brusilni stroj .....	56
Slika 64: Robna brusilna stroja .....	57
Slika 65: Sestava CNC stroja.....	59
Slika 66: Kroglično vijačno vreteno in matica.....	60
Slika 67: Desnoročni kartezični koordinatni sistem .....	60
Slika 68: CNC obdelovalni center za izdelavo stavbnega pohištva.....	61
Slika 69: Vreteno z več rezkalnimi orodji .....	62
Slika 70: Sestavni deli mehanskega dela CNC stroja za izdelavo bivalnega pohištva .....	62
Slika 71: Primer koordinatnih izhodišč CNC obdelovalnega centra .....	63
Slika 72: Vpenjalo, agregat in orodji za CNC obdelovalni center.....	64
Slika 73: Koordinatna izhodišča pri struženju .....	65
Slika 74: Primer optimiranja razreza plošč za CNC .....	66
Slika 75: CNC stroj za razrez lesnih plošč.....	66
Slika 76: CNC stroj za čeljenje in optimiranje lesa, skenirna naprava in prikaz čeljenja .....	67
Slika 77: Merjenje in pozicioniranje pri CNC robilnem stroju.....	68
Slika 78: Industrijski robot.....	70
Slika 79: Učenje z vodenjem lahke učne roke .....	72
Slika 80: Vodno rezanje – VC .....	75
Slika 81: Vodno abrazivno rezanje – AVC.....	76
Slika 82: Laserki žarki .....	78
Slika 83: Rezalni proces pri laserskem rezanju .....	80
Slika 84: Fokusiranje laserskega žarka in rezalna glava.....	81
Slika 85: Primer stroja za lasersko rezanje .....	82
Slika 86: Skenirna naprava in skenirana 3D oblika v digitalni obliki .....	83
Slika 87: Stroj za laserski razrez in primera izdelka izdelana z laserskim rezanjem.....	85
Slika 88: Primeri uporabe laserskih meril in označevalnikov.....	86
Slika 89: Lasersko merjenje premera hloda.....	86
Slika 90: Valjni, verižni transporter in vakuumsko prijemalo z dvižno mizo.....	89
Slika 91: Primera strojne linije.....	90
Slika 92: Strojna linija za dolžinsko spajanje lesa .....	91
Slika 93: Enkratno žaganje (levo) in prizmiranje (desno) .....	93
Slika 94: Strojna linija v žagalnici s tračnim žagalnim strojem in polnojarmenikom .....	93
Slika 95: Strojna linija za razžagovanje hlodovine s tračnim žagalnim strojem .....	94

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Vrste rezalnega orodja glede na tehnološke operacije.....	12
Tabela 2: Priporočene rezalne hitrosti orodij in brusnega traku.....	14
Tabela 3: Kvaliteta obdelave lesa po kriteriju globine vala $r_v$ .....	16
Tabela 4: Uporabnost in lastnosti nekaterih lepil v lesarstvu.....	43
Tabela 5: Granulacija brusnih papirjev .....	54



## PREDGOVOR

Učbenik Tehnologija strojne obdelave lesa je namenjen študentom, ki se izobražujejo v višješolskem študijskem programu Oblikovanje materialov.


V učbeniku se prepletajo temeljna znanja s področja strojne obdelave lesa in sodobni postopki strojne obdelave lesa. Nekateri postopki se še žal niso popolnoma uveljavili na področju obdelave lesa. Pričakovati je, da se bo razvoj novih tehnologij še nadaljeval in stopnjeval.

Oblikovanje lesa je lahko enostavno ali pa zelo zapleteno opravilo. V vsakem primeru pa prijetno, ker je les naraven material, darilo narave, topel in prijeten za človekova čutila.

Podjetja težijo k zmanjševanju proizvodnih stroškov, povečevanju svoje učinkovitosti in dobičkov, zato vedno bolj težijo k uvajanju najsodobnejših tehnologij. Pri tem gre predvsem za lesnoobdelovalne stroje z višjo stopnjo zahtevnosti (CNC in roboti). Zaradi uvajanja zahtevnih tehnologij potrebujejo višje in visoko izobraženo delovno silo, ki bo fleksibilna in sposobna upravljati z zahtevnimi tehnologijami.

Velika pozornost v učbeniku se posveča povezavam na spletne vire, saj podrobno celotnega področja v takšnem gradivu ni mogoče zajeti. To tudi ne bi bilo smiselno, saj se strojna oprema in tehnologije strojne obdelave spreminjajo, dopolnjujejo, razvijajo, zato je potrebno temu razvoju slediti še na drugačne načine.


V gradivu so uporabljene nekatere ikone in pasice, ki imajo namen dopolnjevanja besedila, pomagajo pri razumevanju snovi, terjajo posebno pozornost glede varnosti, opozarjajo na zanimivost oz. posebnost ali vzpodbujajo študenta k aktivnostim.

 – posebna pozornost, zanimivost, posebnost,

 – vzpodbuda za aktivnost, dodatno raziskovanje,

 – kratek povzetek poglavja,

 – vaje ali vprašanja za ponavljanje,

 – povezave do spletnih virov.

Zahvaljujem se strokovnemu recenzentu, predavatelju g. Milanu Zamudi, univ. dipl. inž. les. za pomoč in nasvete pri izdelavi gradiva.

Prav tako se zahvaljujem tudi profesorici slovenskega jezika Elizabeti Potočnik za potrpežljivo lektorsko delo.

Avtor



## 1 UVOD

Obdelava lesa je ena najstarejših vrst obrti, ki zraven izkoriščanja naravno obnovljivega bogastva (gozd), prinaša še veliko drugih koristi. Ob vsem pa spada med najbolj ekološko sprejemljive industrije.

Temelj uspešne in kvalitetne strojne obdelave lesa so rezalna orodja, ki morajo biti ustrezna določeni vrsti obdelave lesa ter kvalitetno in pravilno brušena. Ostrina, geometrija rezalnega orodja in ustrezni tehnološki parametri vplivajo na strojno obdelavo lesa z vidika kvalitete, ekonomičnosti in varnosti pri delu.

Strojna obdelava lesa je nadgradnja ročne obdelave lesa. Sodobna tehnologija, ki teži k višji produktivnosti, učinkovitosti in ekonomičnosti, temelji na strojni obdelavi lesa. Po drugi strani so ročno izdelani predmeti še vedno zelo cenjeni in kar veliko postopkov obdelave lesa zahteva spretno ročno delo.

Vindšnurer (1988) navaja, da se tržne razmere lesne industrije nenehno spreminjajo. Povpraševanje po enolično masovno izdelanem pohištvo se zmanjšuje tudi zaradi zmanjšanja gradnje velikih stanovanjskih enot. Izdelava manjših serij in povečevanja učinkovitosti proizvodnje je lesarje prisilila, da smo začeli vpeljevati drugačne tehnologije strojne obdelave lesa. Pretežno vlogo pri tem igrajo lesnoobdelovalni stroji z višjo stopnjo zahtevnosti t.i. CNC lesnoobdelovalni centri.

Zraven najbolj običajnega odrezovanja lesa z orodjem v obliki klina, so se razvile še tehnologije odrezovanja materialov z vodo in z laserjem. Te tehnologije si v lesarstvu še utirajo pot, zato jih bomo obravnavali bolj obrobno.

Lepljenje lesa je eno od najpomembnejših in najzahtevnejših opravil pri obdelavi lesa, zato je pomembno, da poznamo osnovne zakonitosti lepljenja lesa.

Pri predmetu študent pridobi naslednje kompetence:

- pozna pomen strojne obdelave in vplive na poslovanje podjetja,
- zna izbrati ustrezno rezalno orodje,
- analizira in načrtuje parametre, ki vplivajo na kvaliteto obdelave lesa,
- zna izbrati ustrezen postopek in tehnološko opremo strojne obdelave lesa (žaganje, skobljanje, rezkanje, brušenje ...),
- pozna lepila in tehnologijo lepljenja lesa,
- pozna osnovne principe delovanja, programiranja in uporabe CNC strojev in robotov,
- pozna postopke odrezovanja z laserji in vodnim curkom,
- razvija sposobnost sledenja tehnološkim novostim in znanju na področju strojne obdelave lesa in lepljenju lesa,
- pozna osnovne principe povezovanja strojne opreme v tehnološke linije.

## 2 POMEN STROJNE OBDELAVE IN VPLIV NA POSLOVANJE PODJETJA

V tržnem gospodarstvu želijo sodobna podjetja s svojim poslovanjem dosegati predvsem čim večje dobičke oz. čim višjo dodano vrednost na zaposlene delavce.

Zraven tega želijo obdržati ali povečati tržne deleže na konkurenčnih trgih, kar lahko dosega samo s proizvodnjo, ki trajno oz. vsaj dolgoročno ustvarja večje prihodke od stroškov.

Dobiček verjetno ni edino in zveličavno merilo za uspešnost podjetja, zato mora uspešno podjetje svoje cilje zastaviti širše. Nekateri cilji, ki jih zasledujejo podjetja so:

- povečanje **produktivnosti** proizvodnje (izdelati čim več izdelkov na časovno enoto),
- **izboljševanje delovnih pogojev** za svoje zaposlene (čim manj poklicnih bolezni in odsotnosti od dela zaradi poškodb in bolezni),
- olajšanje ali odpravljanje **fizično napornih** delovnih postopkov,
- **skrb za okolje**, v kar so prisiljena tudi zaradi vedno strožjih okoljevarstvenih predpisov,
- **zmanjševanje stroškov**, kar je nenehni imperativ vsakega podjetja,
- **družbena odgovornost** (zmožnost sponzoriranja ali doniranja sredstev za potrebe širše skupnosti),
- **izboljševanje kakovosti** svojih izdelkov,
- **čim hitreje prilagajanje** razmeram na trgu (fleksibilnost), ko lahko tako rekoč čez noč spreminjajo proizvodne programe.

Zaradi neenakomerno razvitih področij v globalnem smislu se podjetja na trgu srečujejo s konkurenco, ki je včasih tudi nelojalna in temelji na izkoriščanju poceni delovne sile v nerazvitih ali slabo razvitih državah sveta.

Zaradi omenjenih razmer morajo podjetja vlagati velika sredstva v posodabljanje svoje proizvodnje v smislu skrajševanja časa izdelave, povečevanja produktivnosti in zmanjševanja stroškov na enoto proizvoda. Zraven tega pa naraščajo stroški marketinga, ker je pogosto produkt težje prodati, kot ga proizvesti.



### Naredi, premisli

Problematiziraj naslednjo situacijo.

Ukvarjamo se z razrezom ivernih plošč in maloprodajo le-teh naključnim kupcem. Tehnologija, ki jo imamo trenutno, je klasična in potrebujemo šest delavcev. Dva delavca za razrez plošč, dva za robno lepljenje trakov, enega skladiščnika, ki opravlja transport in prodajalca, ki izpisuje račune in opravlja plačila.

Ponudi se nam priložnost, da sklenemo dolgoročno pogodbo z večjim podjetjem, ki bi od nas prevzemalo večje količine razrezanih in robno obdelanih lesnih plošč. Trenutna tehnologija ne omogoča širjenja kapacitet, zraven tega kvaliteta trenutne proizvodnje ne zadostuje za industrijskega odjemalca.

Kaj moramo storiti, da bomo povečali produktivnost?

Kakšno tehnologijo bi potrebovali?

Kaj se zgodi s trenutno zaposleno delovno silo?

Kakšni so še drugi pomisleki, ki vplivajo na odločitev?

Na videz kontradiktorna situacija, ko moramo zmanjševati stroške in posodabljati proizvodnjo z višjimi denarnimi vložki, je lahko velika težava. Vedno je namreč potrebno tehtati med stroški nabave nove tehnologije in učinki, ki jih bo ta »strošek« prinesel v obliki večje učinkovitosti proizvodnje in vsemi drugimi pozitivnimi učinki. Eden od osnovnih principov gospodarjenja je ravno ta, da z minimalnimi sredstvi dosežemo maksimalne učinke.

Iz vsega kar smo spoznali do sedaj, sledi samo en logičen zaključek in to je, da je uvajanje novih tehnologij, ki temeljijo na najsodobnejših tehničnih dosežkih edino, kar zagotavlja dolgoročni obstoj ali celo rast podjetja.

**⚠** Nenehna rast in nenehno posodabljanje tehnologije je pomembno predvsem za večja in velika podjetja, ki so industrijsko naravnana in konkurirajo na globalnih trgih. Storitvena dejavnost manjših lokalnih podjetij (npr. servis) zahteva drugačne pristope in še bolj tehtne premisleke o uvajanju novih in predvsem dragih tehnologij.

Uvajanje sodobnejših tehnologij strojne obdelave lesa, zraven večje učinkovitosti (predvsem produktivnosti), pomeni tudi izboljšanje kakovosti izdelkov.

Povečevanje kakovosti in zanesljivosti ima posreden vpliv na stroške, saj večja kakovost povzroči zmanjšanje reklamacij, rabimo manjšo servisno mrežo, manjše zaloge rezervnih delov.

Strojna obdelava, zraven izboljšane kakovosti izdelkov, vpliva tudi na bolj humane delovne pogoje, saj lahko večino (žal še ne vseh) postopkov obdelave lesa mehaniziramo ali celo avtomatiziramo.

Strojna oprema zahteva izobraženo delovno silo, saj vedno več opravil namesto z rokami opravimo z glavo. Zato je izobraževanje za uporabo naprednih tehnologij ključnega pomena za nadaljnji osebni in družbeni razvoj. Krilatica, da je največji kapital podjetja izobražena delovna sila, ni več iz trte zvita.

Žal, ima lahko uvajanje novih tehnologij, zraven stroškovnih posledic, tudi še nekatere druge negativne vplive:

- poraba energij vseh vrst narašča, človeštvo pa je z viri omejeno,
- nekatere tehnologije imajo lahko negativni vpliv na onesnaževanje okolja,
- človekova delovna sila postaja odveč, zato se nekateri lahko počutijo ogrožene ali ostanejo brez zaposlitve (čeprav bi lahko bilo drugače, če bi splošna blaginja zaradi uporabe sodobnejših tehnologij naraščala),
- večja produktivnost lahko povzroči zasičenje trga s cenenimi izdelki, ki se uporabljajo v prevelikih količinah, kar povzroča kopičenje odpadkov, ki se težko reciklirajo.

#### Povzetek

Strojna obdelava lesa, predvsem pa uvajanje sodobnih tehnologij, ima za podjetje in njegovo poslovanje tako pozitivne (povečanje učinkovitosti, povečanje kakovosti ...) kot negativne vplive (velike investicijske stroške ...). Vedno je potrebno tehtati med stroški in koristi uvajanja novih tehnologij. Uvajanje sodobnejših postopkov vpliva tudi na zaposleno delovno silo (lažje delo, dvig potrebne izobrazbe in usposobljenosti ...).



### Vprašanja in vaje za ponovitev

1. Kaj pomeni pojem »družbeno odgovorno podjetje«?
2. Kritično osvetli smiselnost uvajanja tehnologij obdelave lesa z višjo stopnjo zahtevnosti.
3. Napovej in oceni pozitivne in negativne posledice prekomerne industrializacije človeštva.
4. Uspešnost podjetja lahko ocenimo glede na ekonomske kazalnike in ne samo glede na višino dobička. Oblikuj in definiraj ekonomske kazalnike uspešnosti podjetja kot so: produktivnost, ekonomičnost, denarnost (solventnost), donosnost (rentabilnost).
5. Oblikuj svoje osebne kriterije, po katerih bi definiral uspešno podjetje.



[http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti\\_dokumenti/Ekonomika\\_podjetja-Crnec.pdf](http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Ekonomika_podjetja-Crnec.pdf) (21. 1. 2011)

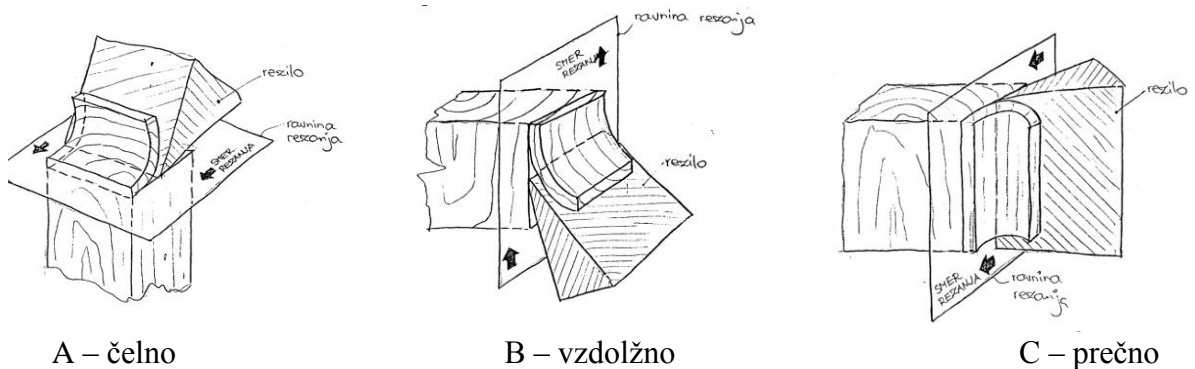
[http://baza.svarog.org/zgodovina/1789/proces\\_industrializacije.php](http://baza.svarog.org/zgodovina/1789/proces_industrializacije.php) (21. 1. 2011)

### 3 REZALNO ORODJE

Pri izbiri rezalnega orodja se prepletajo izkušnje in znanja s področja obdelave lesa ter izdelave in sestave rezalnega orodja.

Obdelava lesa je dokaj zapleten postopek, ker ima les nekatere lastnosti, po katerih se bistveno razlikuje od drugih materialov (kovina, kamen, plastika, steklo ...):

- je nehomogen (različne lastnosti v enem kosu),
- higroskopičen (vpija vlago),
- anizotropen (različne lastnosti v anatomskih smereh),
- različne smeri odrezovanja glede na potek rasti.



Slika 1: Smeri odrezovanja lesa  
Vir: Stegne, 2010, 5

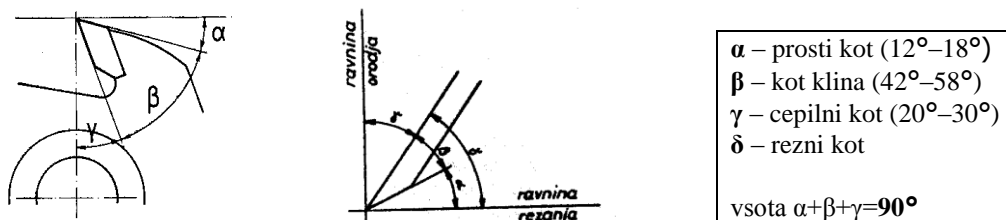
Rezalno orodje izberemo glede na naslednje parametre:

- **način obdelave** (žaganje, skobljanje ...),
- **smer obdelave** (vzdolžno, prečno, čelno) in
- **vrsta stroja** (mizni krožni žagalni stroj, mizni rezkalni stroj ...).

#### 3.1 GEOMETRIJA REZALNEGA ORODJA

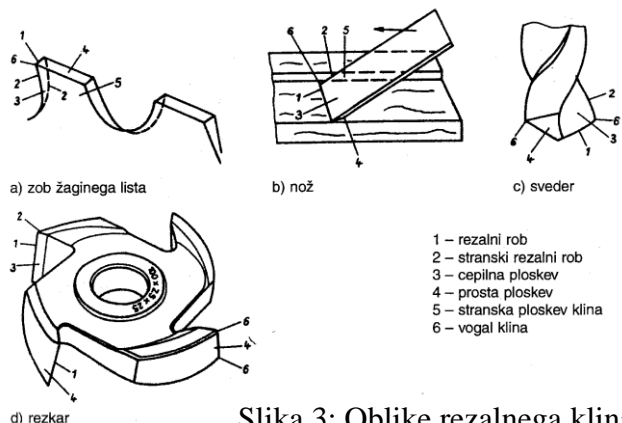
Geometrija rezalnega orodja je eden izmed bistvenih parametrov strojne obdelave lesa, ker neposredno vpliva na kvaliteto obdelane površine, obstojnost rezil in potrebne sile pri odrezovanju. Običajno rezalno orodje ima obliko klina, ki prodira skozi les, zato je geometrija podobna ne glede na vrsto in namen rezalnega orodja.

Z brušenjem rezalnega orodja ne smemo spreminjati osnovnih kotov rezil.



Slika 2: Koti rezalnega klina  
Vir: Grošelj, A., et al., 1999, 12

Velikost posameznih kotov je odvisna od vrste materiala, ki ga obdelujemo (masivni les, iverne plošče, MDF...), smeri odrezovanja, trdote lesa, vlažnosti lesa in vrste materiala, iz katerega je izdelano rezalno orodje.



Slika 3: Oblike rezalnega klina  
Vir: Grošelj, A., et al., 1999, 11

### 3.2 MATERIALI ZA REZALNA ORODJA

Rezalna orodja za obdelavo lesa so izdelana iz različnih materialov, ki morajo imeti določene lastnosti:

- visoko trdoto (odpornost na obrabo),
- odpornost na visoko temperaturo,
- ustrezno žilavost (odpornost na udarce),
- odpornost na korozijo.

Trdota in žilavost materiala sta med sabo v nasprotni korelaciji. To pomeni, da so tisti materiali, ki so zelo trdi, tudi precej krhki (nasprotno od žilavi), zato se krušijo. Materiali, ki so zelo žilavi, se hitreje obrabljajo.

Torej moramo najti ravnotežje med žilavostjo in trdoto, saj je šele takšen material primeren za rezalna orodja.



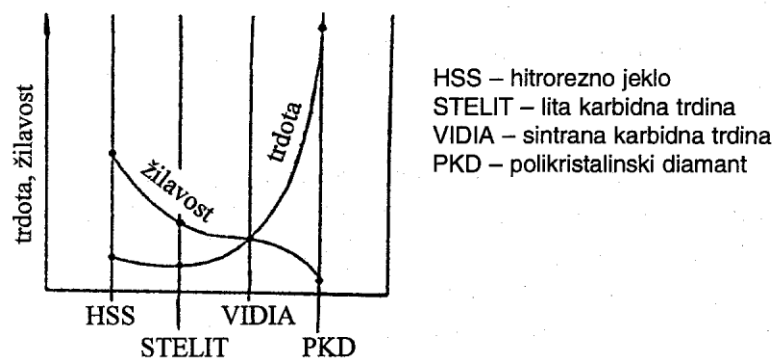
Slika 4: Pregled materialov za rezalna orodja

Vir: Stegne, 2010, 7

Orodna jekla predstavljajo najbolj poceni material za rezalna orodja, najdražji je polikristalinski diamant (PKD).

Karbidne trdine («hard metal» – HM) se uporabljajo v obliki ploščic, ki se nalotajo na konice žaginih listov ali rezkarjev, medtem ko je telo takega orodja iz cenejšega orodnega jekla.

Diamantna PKD-rezila uporabljamo za odrezovanje trdih, homogenih materialov v lesarstvu.

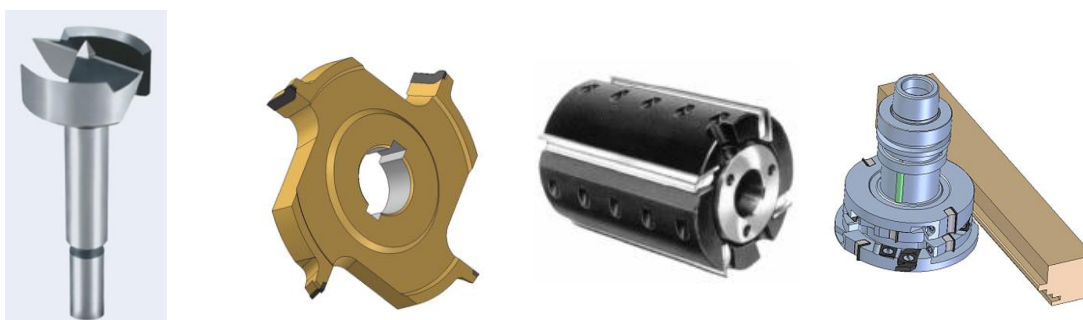


Slika 5: Korelacija trdote in žilavosti materialov  
 Vir: Geršak, M., 1997, 217

### 3.3 VRSTE REZALNEGA ORODJA

Potem, ko poznamo osnovne parametre strojne obdelave lesa, lahko izberemo orodje, ki ustreza našim zahtevam in določenemu cenovnemu razponu.

- 1. Monolitno (enodelno):** zgrajeno je iz enega kosa in enakega materiala, običajno iz legiranega jekla, npr. žagini listi, skobeljni noži, svedri.
- 2. Rezalno orodje z nalotanimi rezili:** telo je iz žilavega materiala (jeklo), rezilo v obliki ploščic (HM), nalotano na konice orodja.
- 3. Sestavljeno rezalno orodje:** zgrajeno je iz več delov. Telo je vedno isto, rezila se izmenjujejo.
- 4. Orodne garniture:** pri teh se orodja nalagajo ena na drugo in tvorijo sestav, s katerim naenkrat z različnimi profiliranimi ploščami oz. drugimi orodji obdelujemo les.






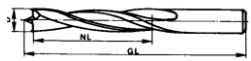

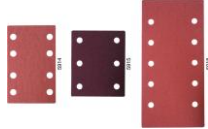


A – monolitno B – nalotana karb. trdina (HM) C – sestavljeno D – garnitura

Slika 6: Vrste rezalnega orodja  
 Vir: Katalog rezalnega orodja Hapro

Rezalna orodja delimo tudi glede na tehnološke operacije, kjer jih uporabljamo.


Tabela 1: Vrste rezalnega orodja glede na tehnološke operacije

Vrsta rezalnega orodja	Slika	Vrsta rezalnega orodja	Slika
Krožni žagini listi		Rezkalne glave	
Tračni žagini listi		Stebrni rezkarji	
Skobeljne glave		Svedri	
Rezkalne verige		Brusni papirji	

Vir: Lasten

Povzetek

V poglavju ste spoznali pravila, ki veljajo pri izbiri rezalnega orodja za strojno obdelavo lesa, ker je les specifičen material. Geometrija rezalnega orodja je bistveni podatek vsakega orodja. Materiali za rezalna orodja morajo biti dovolj žilavi in trdi. Ti dve lastnosti materialov se med sabo izključujeta, zato idealnega materiala za rezalno orodje ni. Pri strojni obdelavi lesa največkrat uporabljamo hitrorezno orodno jeklo (HSS) in karbidne trdine (HM).

 Vprašanja za ponovitev

1. Katere dejavnike moramo upoštevati pri izbiri rezalnega orodja?
2. Kateri koti so pomembni pri geometriji rezalnega klina?
3. Razčleni vrste rezalnega orodja, ki jih potrebuješ pri izdelavi okenskega okvirja.
4. Utemelji, zakaj so karbidne trdine primeren material za rezalna orodja.
5. Orodje se lahko vrta v smeri urnega kazalca ali v nasprotni smeri. V katerem primeru je orodje levo in katerem desno sučno?
6. Napovej področja strojne obdelave, kjer uporabljamo orodne garniture.



<http://www.prevent-tro.si/woodworkingtools.aspx> (21. 1. 2011)

[www.leitz.com](http://www.leitz.com) (21. 1. 2011)

## 4 GIBANJA PRI ODREZOVANJU

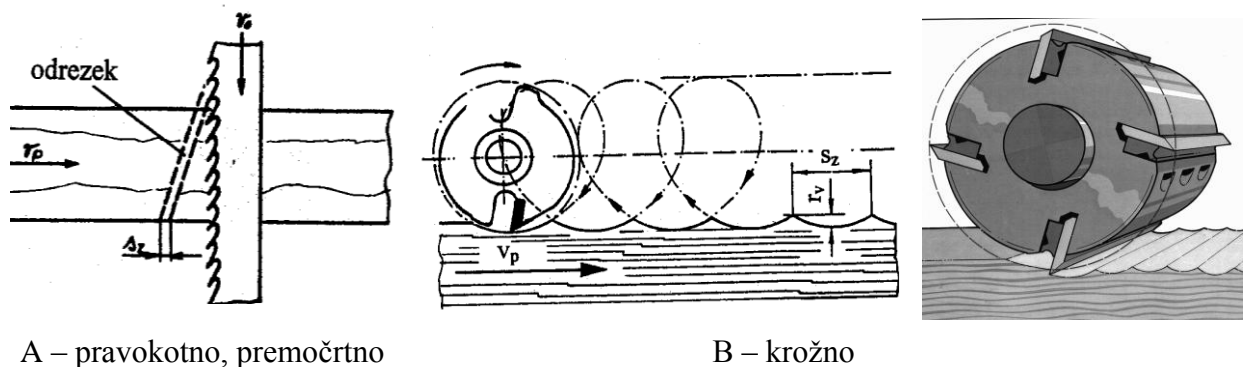
V prejšnjem poglavju smo spoznali dva dejavnika, ki vplivata na kvalitetno obdelavo lesa, geometrija rezalnega orodja in pravilna izbira rezalnega orodja.

Naslednji dejavnik je razumevanje zakonitosti gibanja orodja in obdelovanca.

Poznamo več vrst gibanja orodja in obdelovanca:

- **pravokotno** gibanje orodja in obdelovanca (mizarski tračni žagalni stroj, električna ročna vbodna žaga),
- **krožno gibanje** orodja in premočrtno gibanje obdelovanca (mizni krožni žagalni stroj, mizni rezkalni stroj ...),
- **premočrtno gibanje orodja in krožno gibanje obdelovanca** (struženje lesa).

Od vseh načinov gibanja je krožno gibanje orodja in premočrtno gibanje obdelovanca pri strojni obdelavi lesa najpogostejše (žaganju s krožnimi žagalnimi stroji, rezkanju, skobljanju ...).



Slika 7: Gibanja pri odrezovanju

Vira: Grošelj, A., et al., 1999, 21–22 in reklamni material Weinig

### 4.1 REZALNA HITROST

Pri skobljanju in rezkanju lesa na površini nastane valovita površina, ki ima pri pogledu od strani obliko **cikloide**. Valovi predstavljajo neravnine, slabo obdelano površino, zato si jih želimo čim manj globoke. Kaj vpliva na velikost teh valov?

Ti valovi so globlji in daljši, če obdelovanec potiskamo z veliko hitrostjo skozi stroj. Temu strokovno rečemo **podajalna hitrost** ( $v_p$ ).

Drugi dejavnik je hitrost rezila na obodu. Večja je **rezalna hitrost** ( $v_o$ ), bolj gladka je površina lesa.

Rezalna hitrost je odvisna od **premera orodja** ( $d$ ) in števila obratov gnane gredi na minuto oz. **vrtilne hitrosti** ( $n$ ). Rezalna hitrost je večja, če je število obratov gredi večje, in če je premer orodja večji.

To lahko zapišemo na naslednji način:

$$v_o = \pi \times d \times n$$

$v_o$  = rezalna hitrost (m/s)  
 $\pi = 3,14$   
 $d$  = premer orodja (m)  
 $n$  = vrtilna hitrost (obr./min)

*Primer*

Žagamo les z žaginim listom premera 250 mm, delovno vreteno se vrti s 4000 /min. S kakšno hitrostjo se giblje rezilo krožne žage?

$$d = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$$

$$n = 4000 \text{ min}^{-1}$$

-----

$v_o = ?$

$$v_o = 3,14 \times 0,25 \text{ m} \times 4000 \text{ min}^{-1} = 3140 \text{ m/min oz. } \frac{3140 \text{ m/min}}{60 \text{ s}} = 52,3 \text{ m/s}$$

Tabela 2: Priporočene rezalne hitrosti orodij in brusnega traku

Rezalno orodje	$v_o$ (m/s)
List krožne žage	60–100
List tračne žage	20–30
Rezkar	30–70

Brusni trak	$v_o$ (m/s)
Brušenje lesa	16–22
Brušenje laka	7–11

Vir: Lasten

Rezalne hitrosti lahko določimo tudi s pomočjo diagramov, ki jih v svojih katalogih ponavadi prilagajo proizvajalci rezalnega orodja.

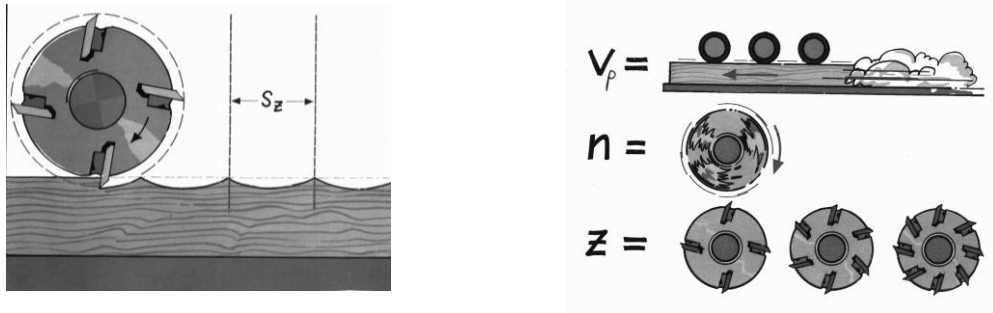
## 4.2 PODAJALNA HITROST

Kako podajalna hitrost vpliva na kvaliteto obdelave? Podajalna hitrost vpliva na dolžino in globino valov na površini lesa:

$$v_p = \frac{s_z \times n \times z}{1000}$$

$v_p$  = podajalna hitrost (m/min)  
 $s_z$  = podajanje na zob (mm)  
 $n$  = vrtilna hitrost ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $z$  = število rezil (zob)

$$s_z = \frac{v_p \times 1000}{n \times z}$$



Slika 8: Podajanje na zob  $s_z$   
Vir: Prirejeno po reklamnem materialu Weinig

⚠️ **Maksimalna vrtilna hitrost orodja ( $n_{max}$ ) je pomemben podatek, ki je vtisnjen na telo rezalnega orodja. To vrtilno hitrost ne smemo prekoračiti, ker lahko pride do loma orodja in posledično težkih poškodb delavca.**

### Primer

Skobljamo žaganico na debelinskem skobeljnem stroju. Podajalna hitrost stroja je 12 m/min, skobeljno vreteno ima štiri rezila in se vrti s 4500 obrati na minuto. Kolikšna je dolžina vala oz. podajanje na zob.

$$v_p = 12 \text{ m/min}$$

$$n = 4500 \text{ min}^{-1}$$

$$z = 4$$

$$s_z = \frac{12 \text{ m/min} \times 1000}{4500 \text{ min}^{-1} \times 4} = 0,7 \text{ mm}$$

$$s_z = ?$$

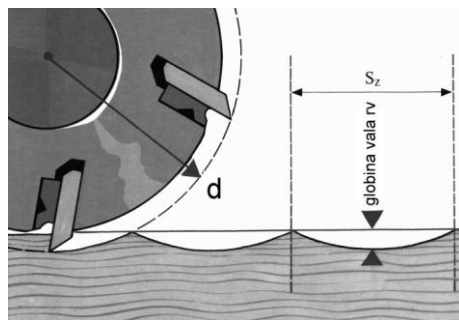
Podajanje na zob ( $s_z$ ) po izkušnjah znaša največ od **0,1 mm do 1,0 mm**. V našem primeru je kvaliteta obdelave ustrezna.

### 4.3 GLOBINA VALA CIKLOIDE

Naslednji kriterij kvalitete strojne obdelave lesa je **globina vala cikloide ( $r_v$ )**, ki je odvisna od dolžine vala in premera rezalnega orodja. Čim večji je premer orodja ( $d$ ), manjša je globina vala.

$$r_v = \frac{s_z^2}{4 \times d}$$

$r_v$  = globina vala (mm)  
 $s_z$  = podajanje na zob (mm)  
 $d$  = premer orodja (m)



Slika 9: Globina vala cikloide  $r_v$   
Vir: Prirejeno po reklamnem materialu Weinig

*Primer*

Pri rezkanju okenskega profila smo izračunali, da je podajanje na zob ustrezno, in sicer 0,4 mm. Rezkanje izvajamo z orodjem premera 100 mm. Kolikšna je globina vala cikloide?

$s_z = 0,4 \text{ mm}$

$d = 100 \text{ mm}$

-----  $r_v = \frac{0,4\text{mm}^2}{4 \times 100\text{mm}} = 0,001\text{mm}$  oz. **1,0  $\mu\text{m}$**

$r_v = ?$

Tabela 3: Kvaliteta obdelave lesa po kriteriju globine vala  $r_v$

Vrsta obdelave	$r_v$ ( $\mu\text{m}$ )
Pohišstvo	0,5–5
Gradbene letve	5–10
Trami ostrešja	10–50

Vir: Lasten

#### 4.4 SILE PRI ODREZOVANJU LESA

Pri odrezovanju lesa rezilo z določeno silo deluje na obdelovanec. Sile čutimo tudi mi, ko obdelujemo les, in sicer kot udarce, tresljaje in upiranje obdelovanca pri pomikanju skozi stroj. Pri odrezovanju se lesna tkiva upirajo prodiranju rezila, kar povzroči upor in nastanek rezalnih sil. Za uspešno obdelavo lesa mora biti sila rezanja večja od sile, s katero se les upira rezilu.

Na sile odrezovanja vpliva več dejavnikov:

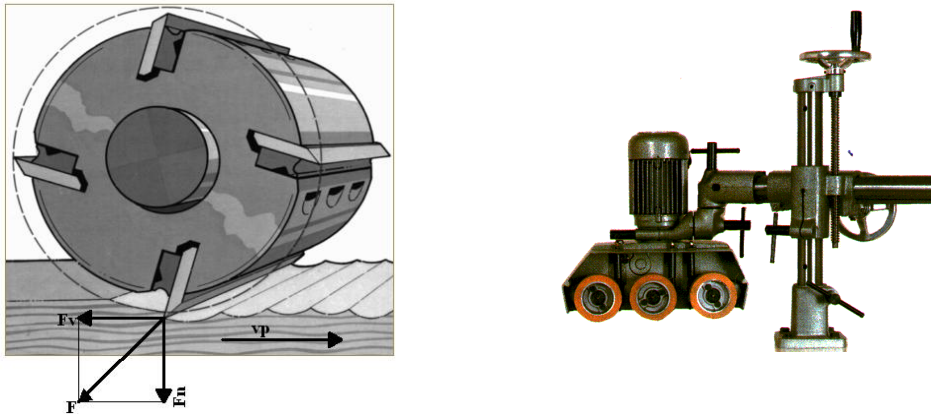
- vrsta lesa,
- gostota lesa,
- smer rezanja (vzdolžno, prečno, proti lesnim vlaknom),
- globina odzema lesa,
- rezalna in podajalna hitrost,
- ostrina oz. topost orodja.

Sile odrezovanja moramo poznati zaradi dimenzioniranja strojev in orodij. Pri prevelikih silah se lahko stroj ali njegov sestavni del zlomi ali preobremeni. To lahko povzroči lom orodja in je smrtno nevarno za delavca.

Katere sile delujejo pri odrezovanju lesa?

Pri vrtečem se orodju deluje **sila rezanja (F)** v smeri rezanja, ki jo lahko razstavimo na vodoravno in navpično komponento. Vodoravna komponenta ( $F_v$ ) odrezuje iveri, navpična ( $F_n$ ) pa pritiska obdelovanec na podlago.

Za podajanje obdelovanca proti vrtečemu se orodju (krožna žaga, rezkar) je potrebna sila podajanja. Na nekaterih strojih lahko ročno podajanje nadomestimo z mehanskim (podajalni agregat).



Slika 10: Sile pri odrezovanju lesa in podajalni agregat

Vir: Reklamni material Weinig in Samstag, K. et al., 1993, 276

#### Povzetek

Gibanja rezalnega orodja in obdelovanca pri strojni obdelavi lesa so različna. Največkrat se obdelovanec giblje premočrtno, orodje pa krožno. Zaradi tega nastane na površini lesa neravna površina v obliki cikloide. Kvaliteto obdelane površine lahko predvidimo vnaprej, tako da si na podlagi premera in vrste rezalnega orodja, hitrosti podajanja, vrtilne in rezalne hitrosti izračunamo dolžino in globino valov cikloide, ki jo primerjamo z izkustvenimi podatki.

Sile odrezovanja moramo upoštevati zaradi načrtovanja podajanja obdelovancev in varnosti pri delu.

#### Vprašanja in vaje za ponovitev

1. Izračunaj število obratov delovnega vretena mizarskega krožnega žagalnega stroja, če ima orodje premera 400 mm rezalno hitrost 60 m/s.
2. Les obdelujemo z operacijo skobljanja na skobeljnem stroju. Konica orodja ima rezalno hitrost 45 m/s in premer 100 mm. Vpete imamo 3 skobeljne nože. Določi podajalno hitrost, če želimo doseči podajanje na zob 0,6 mm.
3. Na osnovi podatkov iz druge naloge izračunaj še globino vala in oceni kvaliteto obdelane površine.
4. Pri izračunih smo po kriterijih kvalitete strojne obdelave izračunali, da so v redu. Predlagaj izboljšave na rezalnih orodjih, s katerimi bi lahko enako kvaliteto strojne obdelave dosegali, čeprav bi podajalno hitrost podvojili.
- 5.

6. Pri izračunih smo po kriterijih kvalitete strojne obdelave izračunali, da so v redu. Predlagaj izboljšave na rezalnih orodjih, s katerimi bi lahko enako kvaliteto strojne obdelave dosegali, čeprav bi podajalno hitrost podvojili.
7. Oceni vse vidike nevarnosti, ki izhajajo iz sil, ki nastajajo pri strojni obdelavi lesa.

## 5 OTOPITEV REZIL IN OSTRENJE REZALNEGA ORODJA

Obstojnost rezil je najpomembnejša lastnost rezalnega orodja. Orodje moramo zamenjati še preden popolnoma otopi, kajti zelo otopelo orodje ima pri ostrenju večji odvzem, kar zmanjša število možnih ostrenj. Čas obstojnosti rezalnega orodja je odvisen od naslednjih faktorjev:

- materiala, iz katerega je izdelano orodje,
- geometrije rezalnega orodja,
- materiala, ki ga obdelujemo (trdota, smer vlaken, vlažnost, grčavost ipd.),

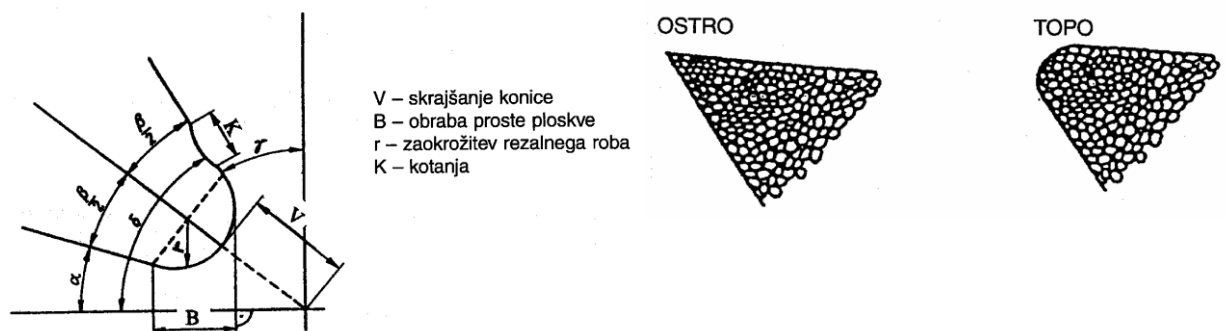
rezalne in podajalne hitrosti.

Najpomembnejši vzrok za otopitev rezil je **mehanska obraba** rezilne konice zaradi trenja in posledično segrevanje pri prehajanju rezila skozi obdelovanec.

Drugi vzrok so **fizikalno-kemični procesi**, ki nastanejo zaradi prisotnosti kislin v lesu.

Otopitev je lahko tudi posledica **loma rezalne konice** zaradi prekoračitve trdnosti materiala (npr. kovinski tujki v lesu). Orodje je topo in ga moramo zamenjati oz. nabrusiti:

- če je orodje izgubilo rezalne sposobnosti in nadaljnja obdelava ni več možna,
- kadar je slaba kvaliteta obdelane površine,
- če je poraba električne energije prevelika.



Slika 11: Topost rezila

Vir: Grošelj, A., et al., 1999, 44–45

Ostrenje rezalnega orodja izvajamo z brušenjem po prosti in/ali cepilni ploskvi rezila. Za merjenje geometrije rezalnega orodja uporabljamo različne pripomočke:

- šablone,
- kljunasto merilo,
- merilne ure,
- sodobne optične mikroskope s kamerami, ki na zaslon prenesejo povečano sliko rezalnega kroga in naredijo celotno izmero profilirnih glav.

Merjenje otopelosti rezalnega orodja, predvsem rezkalnega orodja, se lahko izvaja optično med obratovanjem stroja. Potrebujemo posebno optično merilno napravo, ki svetlobne žarke usmerja na rezilni rob. Fotodioda pretvori svetlobne žarke v električne signale. Na osciloskopu ali monitorju nastane slika otopelosti orodja.

Ostrenje rezalnega orodja izvajamo s posebnimi **brusnimi ploščami**, ki so vpete v brusilne stroje. Brusilni stroji so posebej konstruirani za ostrenje posamezne vrste rezalnega orodja, obstajajo pa tudi univerzalni, kjer lahko z enim strojem brusimo različna orodja.

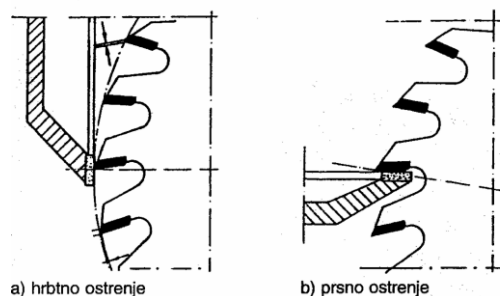
Brusne plošče so sestavljene iz abrazivnih (brusnih) zrn in veziva (keramika ali bakelit), ki brusna zrnca veže v kompaktno obliko.

Brusna zrnca so najpogosteje izdelana iz naslednjih materialov:

- elektrokorund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),
- silicijev karbid (SiC),
- kubični borov nitrid (CBN),
- sintetični diamant (DIA).

### Naredi, poišči

Geometrija rezalnega orodja se meri s posebnimi merilnimi pripomočki. Optični mikroskop je sodobna naprava za merjenje geometrije rezalnih orodij. Poišči podatke o tem pripomočku, npr. The Weinig **OptiControl** tool measuring system.



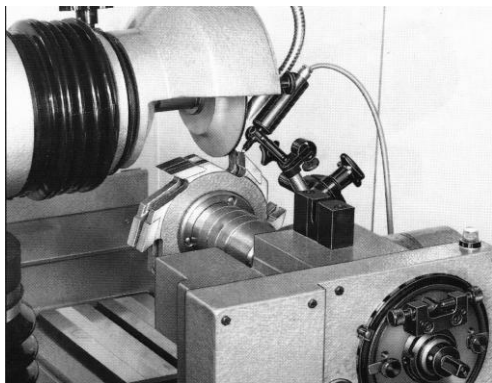
Slika 12: Ostrenje rezalnega orodja

Vir: Grošelj, A., et al., 1999, 53

Za brušenje različnih vrst rezalnega orodja moramo izbrati ustrezno brusno ploščo, saj se brusni med sabo ločijo po velikosti brusnih zrn, trdoti (trdnosti vezanja zrn) in strukturi brusa.

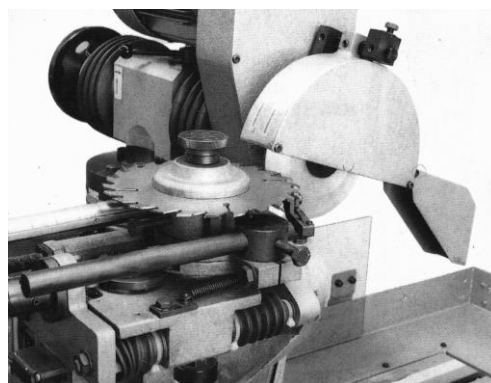
Premehak brus se hitro obrabi, spremeni se njegova geometrija, pretrd brus pa povzroča prekomerno segrevanje (zažganine), hitro se mu zamašijo pore in slabo brusijo. Trdota brusa je odvisna od veziva, trde materiale brusimo z mehkejšim vezivom in trdimi brusnimi zrci.

Elektrokorund in silicijev karbid sta primerna za brušenje orodnih jekel. Diamantne PKD-brusne plošče uporabljamo za brušenje karbidnih trdin (HM).



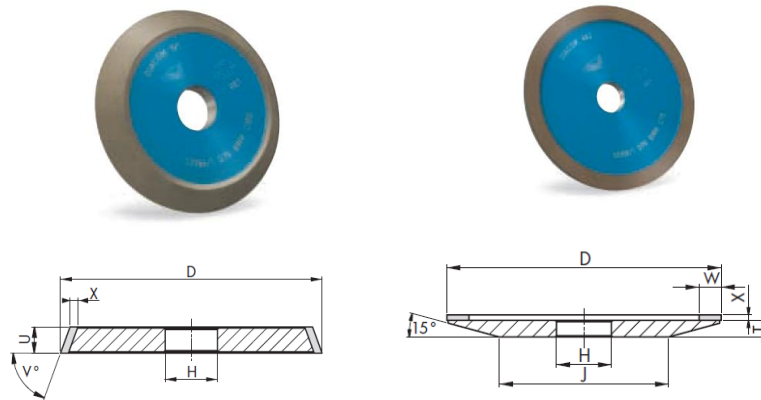
Slika 13: Ostrenje rezalnega orodja

Vir: Katalog orodja Stehle



Slika 14: Ostrenje krožnih žag

Vir: Katalog orodja Stehle



Slika 15: Oblike diamantnih brusnih kolutov

Vir: [http://www.swatycomet.si/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet\\_Katalog\\_SLO.pdf](http://www.swatycomet.si/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet_Katalog_SLO.pdf)

(20. 12. 2010)

#### Povzetek

Otopitev rezil nastane zaradi mehanske obrabe, kislin v lesu ali loma rezila (krhkost). Pri brušenju ne smemo spremeniti geometrije rezalnega orodja. Za ostrenje rezil uporabljamo posebne brusilne stroje in brusilne plošče.

#### Vprašanja za ponovitev

1. Napovej oz. oceni posledice obdelave lesa s topim rezalnim orodjem.
2. Določi vrste brusilnih plošč, s katerimi bi lahko brusili krožno žago, ki ima nalotane ploščice iz karbidnih trdin (HM).



<http://www.weinig.com/C1256F98005C541E/vwContentByKey/W269AGYW695ALPAEN>

(26. 1. 2011)

<http://www.swatycomet.com/> (15. 2. 2011)

## 6 MERJENJE IN ZARISOVANJE LESA

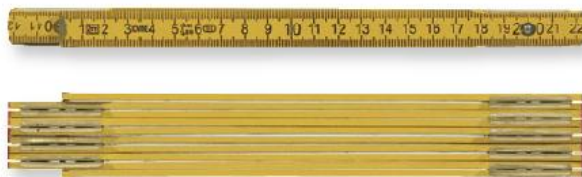
Preden se lotimo kakršnekoli obdelave lesa, moramo les izmeriti in si zarisati črte, po katerih bomo obdelovali les.

Običajna merska enota pri lesarskem delu je milimeter (**mm**). Osnovni pripomočki za merjenje in zarisovanje so:

- ⇒ merila (tračna, členkasta),
- ⇒ kljunasto merilo,
- ⇒ kotna merila,
- ⇒ pomični poševnik,
- ⇒ črtalniki,
- ⇒ šestila.



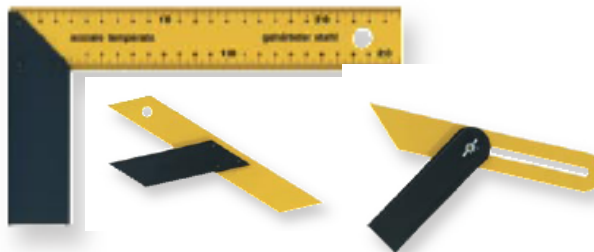
Slika 16: Tračno merilo  
Vir: Lasten



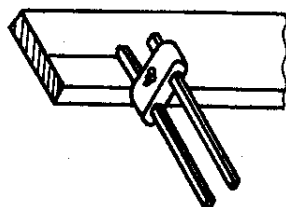
Slika 17: Členkasto merilo  
Vir: Lasten



Slika 18: Kljunasto merilo  
Vir: Lasten



Slika 19: Kotna merila  
Vir: <http://sl.tm-kovine.si> (6. 1. 2011)



Slika 20: Črtalnik  
Vira: Likavec, A., 1983, 21

⚠ Tračna in zložljiva merila se uporabljajo za merjenja natančnosti 1 mm, za bolj natančna merjenja se uporablja **kljunasto merilo**, s katerim lahko merimo 1/10 mm ali celo 1/100 mm.



Slika 21: Mikrometer  
Vir: Lasten

Potrebna natančnost merjenja je odvisna od zmožne natančnosti obdelave posamezne strojne opreme. Tako, npr. ni smiselno meriti širino odrezane deske v  $1/10$  mm, če vemo, da je natančnost krožne žage  $\pm 1$  mm. Drugače je pri izdelavi lesnih vezi, kjer mora biti natančnost  $1/10$  mm, drugače lesa ni možno spojiti.

Natančnost obdelave je odvisna od več dejavnikov:

- nabrušenosti in vpetja rezalnega orodja,
- kvalitete in stabilnosti stroja (lažje konstrukcije stroja povzročajo večje vibracije),
- stanja stroja (izrabljeni ležaji, vodila),
- človeški faktor (natančnost in zavzetost delavca pri delu).

Glede na stopnjo natančnosti merjenja, ki se pojavlja v lesarstvu, ločimo:

- zelo groba merjenja: natančnost 10 mm (merjenje hlodovine),
- groba merjenja: natančnost 1–10 mm (merjenje žaganic),
- srednje groba merjenja: natančnost 1 mm (merjenje suhega lesa),
- natančna merjenja: natančnost  $1/10$  mm (merjenje skobljanega lesa, nastavitve vodil strojev) in
- zelo natančna merjenja: natančnost  $1/100$ – $1/1000$  mm (merjenja rezalnega orodja, debeline filma laka).

#### Povzetek

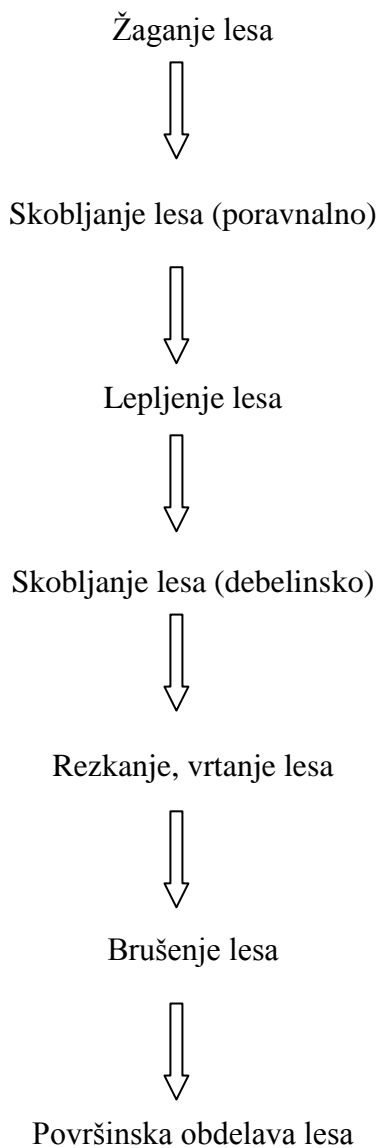
Za merjenja dimenzij in kotnosti uporabljamo različna merila, ki omogočajo različne stopnje natančnosti merjenja. Osnovna merska enota v lesarstvu je »mm«, čeprav se včasih pojavi potreba po večji ali manjši natančnosti merjenja lesa.

#### Vprašanja za ponovitev

1. Oceni, kakšna merila bi potreboval pri naslednjih vrstah obdelave lesa:
  - krojenju lesa,
  - merjenje debeline furnirja,
  - merjenje ostrega kota  $31^\circ$ .
2. Kateri faktorji vplivajo na natančnost strojne obdelave lesa?

## 7 TEHNOLOGIJA STROJNE OBDELAVE LESA Z OSNOVNIMI LESNOOBDELOVALNIMI STROJI

Strojna obdelava z osnovnimi lesnoobdelovalnimi stroji je še vedno najbolj razširjen način obdelave lesa. Tehnološke operacije si sledijo po določenem vrstnem redu.



Pri vsaki strojni obdelavi morajo biti na prvem mestu varnostni ukrepi, ki zagotavljajo varno delo. Pri posameznih strojih ne bomo podrobno obravnavali vseh varnostnih naprav, ker se to najlažje naredi pri laboratorijskih vajah, ko imamo konkreten stroj pred seboj. Na splošno pa velja, da so osnove varnega dela:

- varnostne naprave na strojih (tehnično varovanje),
- uporaba osebnih zaščitnih sredstev,
- urejeno delovno okolje.

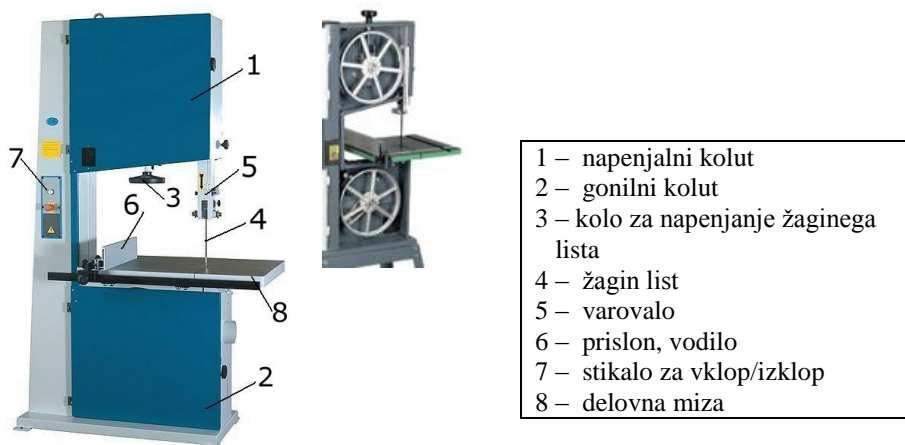
## 7.1 ŽAGANJE LESA

Žaganje lesa je prva operacija strojne obdelave lesa. Izbiramo lahko med različnimi žagalnimi stroji:

- mizarski tračni žagalni stroji,
- mizni krožni žagalni stroji.

Mizarski tračni žagalni stroji so lahko širokolistni ali ozkolistni. Širokolistne uporabljamo za vzdolžno razžaganje lesa, medtem ko so ozkolistni primerni za žaganje krivih oblik ali okroglin.

### 7.1.1 Žaganje lesa s tračnimi žagalnimi stroji

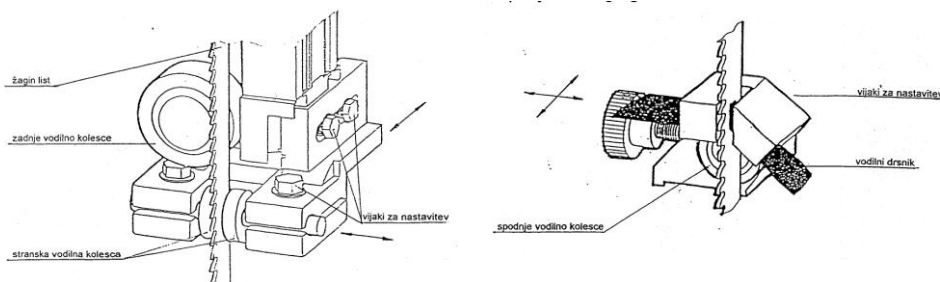


Slika 22: Tračni žagalni stroj

Vir: Lasten

Tračni žagalni stroj, zraven ravnega in krivuljnega žaganja, uporabljamo za:

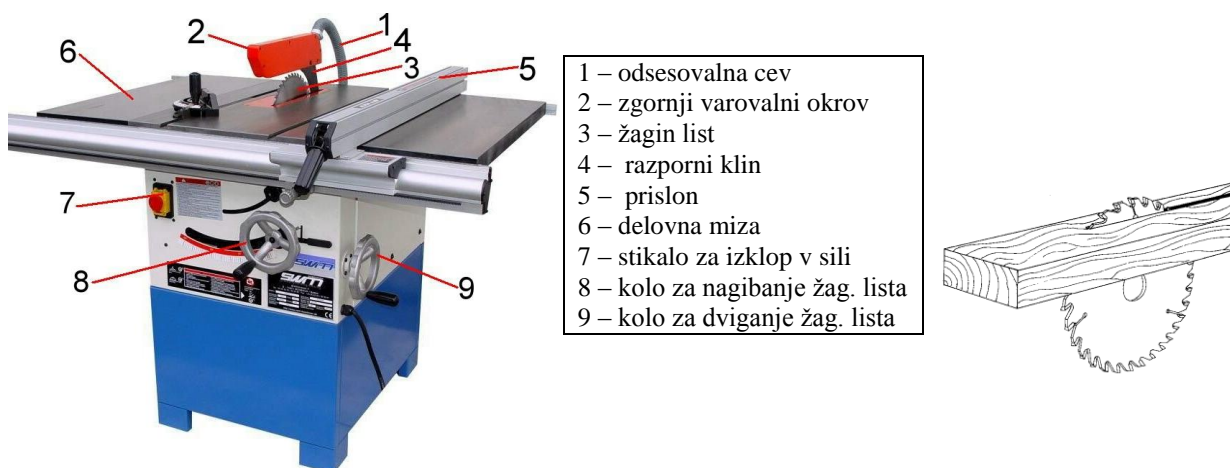
- prežagovanje valjastih obdelovancev,
  - zažaganje čepov in zarez,
  - »cepljenje« lesa.
- Žagin list je napet med dva koluta, od katerih je spodnji gonilni. Obodna hitrost je okrog 20 m/s.
  - Žagin list ima nad in pod delovno mizo vodila, ki nudijo oporo med žaganjem (varnost). Zgornje vodilo je premično in se nastavlja glede na debelino obdelovanca.
  - Varnost dela je zagotovljena z varovali, ki pokrivajo žagin list po celi dolžini, razen dela lista, ki žaga obdelovanec.
  - Delovna miza se nagiba, zato je možno poševno žaganje obdelovanca.



Slika 23: Zgornje in spodnje vodilo žaginega lista  
Vir: Lasten

- Tračni žagin list je tanek, brezkončni jekleni trak, enostransko ozobljen in razperjen.
- Zgornji gnani kolut je pomičen in nagiben. S pomikanjem navzgor napenjamo žagin list, z nagibanjem pa uravnavamo tek žaginega lista. Novejši stroji imajo merilce napetosti žaginega lista, ki nam pomagajo, da žagin list ne napnemo preveč, ker bi lahko počil.

### 7.1.2 Žaganje lesa z miznimi krožnimi žagalnimi stroji

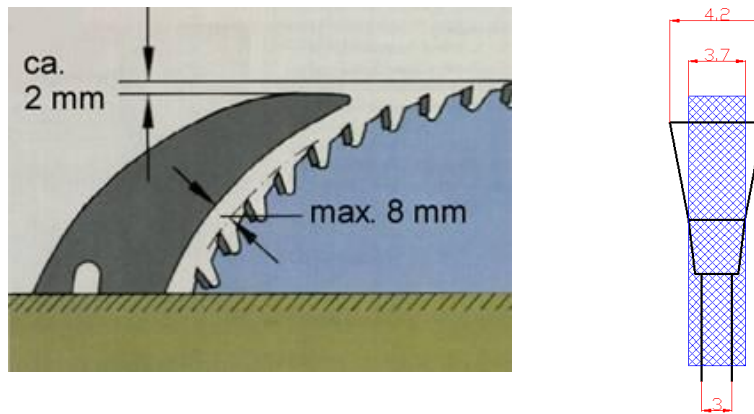


Slika 24: Mizni krožni žagalni stroj

Vir: Prirejeno po: [http://www.swm-maschinen.de/assets/Tischkreissaege\\_tks250g.jpg](http://www.swm-maschinen.de/assets/Tischkreissaege_tks250g.jpg)  
(22. 2. 2011)

Mizne krožne žagalne stroje uporabljamo za vzdolžna in prečna žaganja lesa.

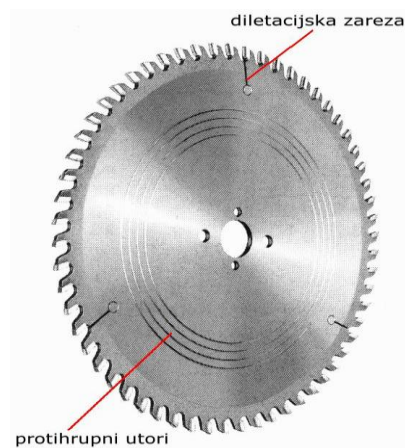
- Žagin list se nagiba do kota  $45^\circ$ , zato lahko les poševno žagamo.
- Žagin list lahko nad obdelovanec sega največ 10 mm.
- Razporni klin preprečuje pritisk lesa v reži ob žagin list. Razporni klin mora biti tanjši od širine razperitve oz. debeline nalotanih ploščic in debelejši od debeline žaginega lista.



Slika 25: Nastavitev razpornega klina

Vir: <http://www.schreiner-seiten.de/maschinen/kreissaege.php> (11. 1. 2011) in lasten

- Zgornji varovalni okrov je lahko zaradi varnosti dvignjen nad obdelovanec največ za polovico debeline prsta. Delavca ščiti tudi pred letečimi odrezki, ki nastajajo pri žaganju.
- Krožne žagine liste izberemo glede na:
  - vrsto lesa (trde ali mehke drevesne vrste),
  - smer žaganja (prečno, vzdolžno),
  - vrsto podajanja (ročno ali mehansko).
- Krožni žagini listi imajo po obodu **diletacijske zareze**, ki preprečujejo veženje zaradi raztegovanja kovine kot posledice segrevanja med žaganjem.
- Dušenje hrupa zaradi vrtenja žaginih listov se doseže s **protihrupnim utorom** po obodu žaginega lista.



Slika 26: Diletacijska zareza in protihrupni utori na krožnem žaginem listu

Vir: Lasten

- Formatni mizni krožni žagalni stroj ima dodano pomično delovno mizo in prečni prslon, s katerim lahko obdelovance natančno razžagamo v prečni smeri. Prslon se lahko nastavi pod kotom do  $45^\circ$ , kar omogoča čeljenje lesa pod različnimi koti.

Formatni mizni krožni žagalni stroj se uporablja tudi za formatni obrez lesnih plošč. Ker je večina lesnih plošč oplemenitena s tankim furnirjem ali folijo, žagin list pri izhodu na spodnji

strani oblogo strga in dobimo nekvaliteten odrez. Trganje materiala pri izhodu žaginega lista preprečujemo z dodatnim manjšim žaganim listom, ki je pod delovno mizo pred glavnim žaganim listom. Vrta se v nasprotni smeri in ploščo zažaga do male globine.



Slika 27: Formatni mizni krožni žagalni stroj

Vir: Lasten

Pri obdelovanju lesa se vedno srečujemo z **nadmerami**. Zato moramo razlikovati med merami obdelanega in merami neobdelanega lesa. Nadmera je v bistvu dodatek mere na začetku obdelave, ki v postopkih obdelave odpade (žaganje, skobljanci, ostanki), da lahko dobimo izdelek v končnih dimenzijah.

Velikost nadmere je odvisna od:

1. vrste operacij, ki jih bomo izvajali,
2. natančnosti obdelave,
3. stanje lesa (ukrivljenost lesa),
4. smeri lesa (nadmere po dolžini, širini in debelini so različne).

V splošnem težimo k temu, da je nadmera čim manjša oz. optimalna, ker zelo vpliva na izkoristek lesa med obdelavo.

#### Povzetek

V prejšnjih dveh poglavjih ste spoznali pripomočke za zarisovanje in merjenje ter tehnologijo razžagovanja lesa. Osnovna merska enota pri obdelavi lesa je »mm«, za bolj natančna merjenja uporabimo kljunasta merila. Najpomembnejša stroja za razžagovanje lesa sta mizarski tračni in mizni žagalni stroj. Tračni žagalni stroji omogočajo zraven ravnega žaganja tudi žaganje krivulj in lokov. Na formatnem krožnem žagalnem stroju lahko razžagujemo oplemenitene lesne plošče, ker ima žagalni stroj predrezilo.

#### Vprašanja za ponovitev

1. Narediti moramo krivuljni rez lesa. Kateri stroj bi bil primeren za to operacijo?
2. Kakšna je funkcija razpornega klina pri krožnih žagalnih strojih in kako se določi debelina razpornega klina?
3. Materiali za rezalna orodja se pri trenju z lesom segrevajo, kako se preprečuje veženje žaginskih listov zaradi segrevanja?
4. Oplemenitene lesne plošče razžagujemo na formatnem krožnem žagalnem stroju. Utemelji razloge, zakaj jih ne moremo kvalitetno razžagovati na miznem krožnem žagalnem stroju.

5. Razžagovanja lesa se lotimo na osnovi načrtov razžagovanja, drugače bi dosegli slabe izkoristke. Kakšen načrt razžagovanja rabimo za razžagovanje masivnega lesa in kakšen za razžagovanje lesnih plošč?



<http://www.felder.at/> (22. 2. 2011)

<http://www.altendorf.de/> (16. 2. 2011)

## 7.2 SKOBLJANJE LESA

Pri prejšnji fazi strojne obdelave lesa krojimo, odstranimo napake in ga razžagamo v dimenzije z nadmero (neobdelane mere). S skobljanjem poskobljamo nadmere po širini in debelini, les poravnamo in zgladimo. V teoriji odrezovanja smo spoznali, da s strojnim skobljanjem na površini nastane valovita površina v obliki cikloide, ki jo izravnamo šele z brušenjem. Zaradi tega po skobljanju pustimo približno 0,5 mm nadmere.

Osnovna lesnoobdelovalna stroja za skobljanje lesa sta:

- poravnalni skobeljni stroj in
- debelinski skobeljni stroj.

### 7.2.1 Poravnalno skobljanje lesa



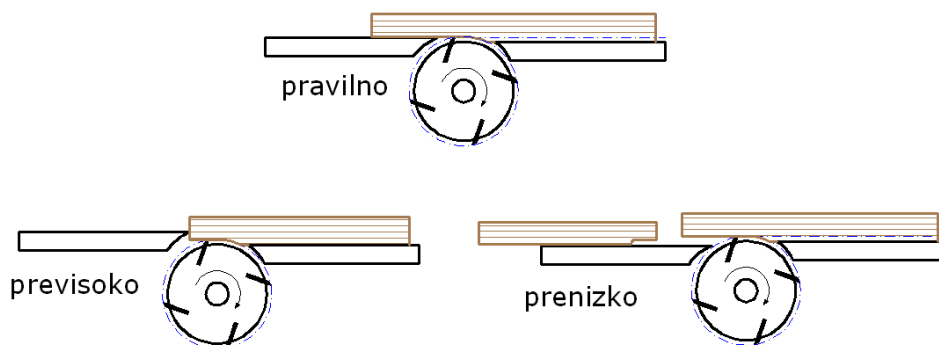
Slika 28: Poravnalni skobeljni stroj

Vir: Lasten

- Poravnalni skobeljni stroji služijo za poravnavanje lesa po dveh ploskvah. Tako dobimo dve pravokotni ploskvi, ki predstavljata obdelovalno bazo za nadaljnjo obdelavo lesa.
- Pri poravnavanju lesa na poravnalnem skobeljnem stroju moramo paziti na položaj sprejemne in odvzemne mize.
- Višina sprejemne mize vpliva na **debelino odvzema**, ki je odvisna od vrste in zmogljivosti stroja.
- Odvzemna miza se prav tako nastavlja po višini. Nastavitev višine odvzemne mize vpliva na **poravnano obdelovancev**. Premočno dvignjena odvzemna miza nad skobeljnim vretenom povzroča zadevanje obdelovanca ob rob, zato je skobljanje nemogoče. Če je odvzemna miza preveč znižana, to opazimo tako, da nam poravnane kose lesa na koncu nekaj

centimetrov preveč stanjša, tako da nastanejo vdolbine, ki jih opazimo pri širinskem spajanju lesa kot reže. Najbolj primerna nastavitev višine odvzemne mize je za en list oz. **0,1 mm** pod rezilnim krogom skobeljnega vretena. Takrat dobimo popolnoma ravne obdelovance.

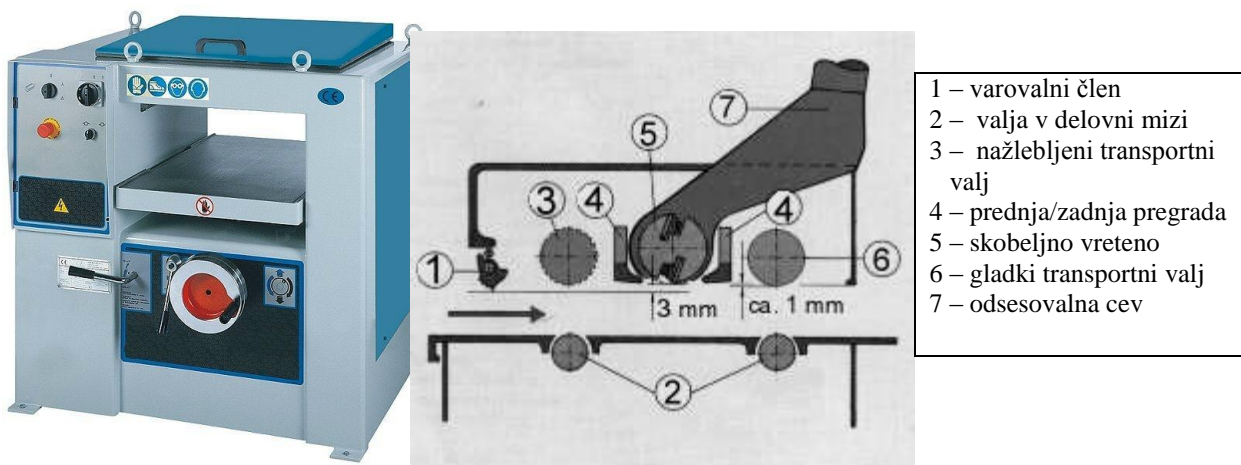
➤ Praktično naredimo to tako, da vzamemo raven kos lesa, na katerega na sredini narišemo dve črtici v razmiku 3–5 mm. Kos lesa močno pritisnemo na odvzemno mizo, prvo črtico poravnamo z robom mize. Z roko zavrtimo skobeljno vreteno za eno rezilo. Višina je pravilno nastavljena, če s tem gibom rezilo pomakne letvico do druge črtice (3–5 mm).



Slika 29: Nastavitev višine odvzemne mize poravnalnega skobeljnega stroja  
Vir: Stegne, 2010, 33

➤ Varovala so lahko različnih izvedb. Preprečujejo stik roke z vrtečim se skobeljnim vretenom in morebitne poškodbe delavca.

## 7.2.2 Debelinsko skobljanje lesa



Slika 30: Debelinski skobeljni stroj  
Vir: Lasten

➤ Na poravnalnem skobeljnem stroju smo izravnali spodnjo in stransko ploskev lesa. Dobili smo dve ploskvi, ki sta pravokotni. Ti dve ploskvi služita kot osnova za nadaljnjo skobljanje lesa na debelinskem skobeljnem stroju, kjer les dokončno posobljamo po širini in debelini.

➤ Varovalne naprave so vgrajene v stroju. Varovalni člen preprečuje povratno gibanje obdelovanca.

- Gibanje obdelovanca skozi stroj je mehansko preko transportnih valjev. Zadnji transportni valj je gladek, da ne poškoduje poskobljane površine.
- Debelino odzema nastavljamo z dviganjem in spuščanjem delovne mize. Valja v delovni mizi zmanjšujeta trenje med lesom in kovino pri prehajanju lesa skozi stroj.

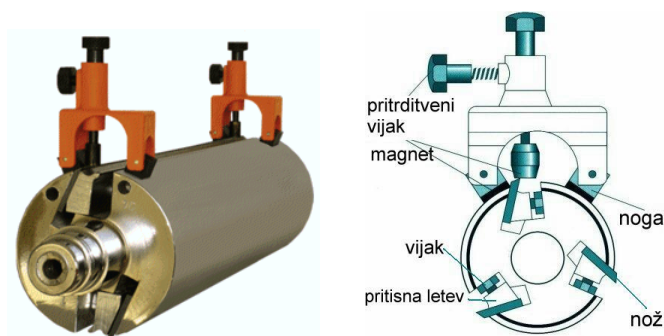
### 7.2.3 Menjavanje skobeljnih nožev

- Skobeljno vreteno pri skobeljnih strojih ima v žlebovih vpete skobeljne nože, ki jih je več (najmanj dva).

Skobeljni noži izdelani iz HSS jekla sčasoma otopijo, kar najprej opazimo, ko na površini ostajajo neposkobljane raze, les se začne trgati ali je površina hrapava. Nože je potrebno vzeti iz delovnega orodja in jih pobrusiti.

- Pritrjevanje nožev v žlebove je lahko različno. Najbolj pogosto se vpenjo z vijaki in s pritiskno letvijo. Ko vijake popustimo, vzmet potiska nož iz vretena, pri vstavljanju vzmet enakomerno potiska nož proti šabloni. Pri vstavljanju moramo paziti, da so vsi noži enakomerno vstavljeni po krožnici. Vsi skobeljni noži morajo biti enakomerno pobrušeni in imeti enako maso. Drugi način vpetja noža je s pomočjo hidravlike, kjer z oljnim pritiskom vse letve hidravlično stisnemo. Ta način omogoča hitra menjavanja skobeljnih nožev.

Pri tem si pomagamo s posebnimi šablonami, ki jih dobimo ob nakupu stroja.



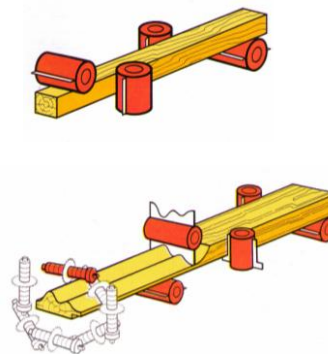
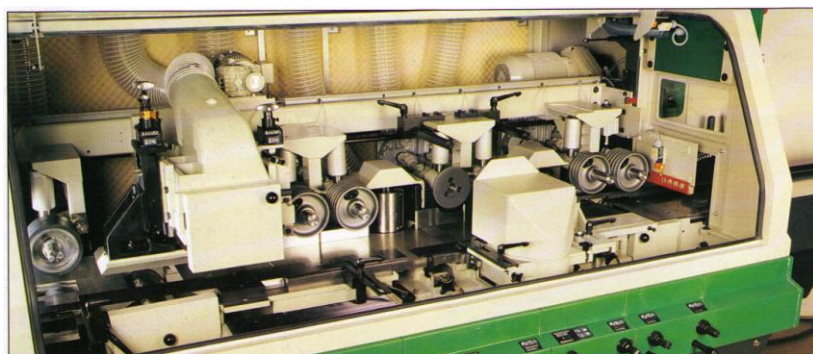
Slika 31: Šablona za vpenjanje skobeljnih nožev v skobeljno vreteno

Vir: prirejeno po: <http://www.barke.de/web-content/de/barkomat.html> (11. 1. 2011)

### 7.2.4 Štiristranski skobeljni stroji

Štiristranski skobeljni stroji poskobljajo les po vseh štirih ploskvah z enim prehodom skozi stroj. So zelo robustni, z visoko kapaciteto skobljanja in zraven skobljanja omogočajo tudi vzdolžno profilno rezkanje, npr. izdelava opažev in izžagovanje utorov ter brazd.

- Podajalne hitrosti štiristranskih skobeljnih strojev so običajno do 30 m/min.



Slika 32: Štiristranski skobeljni stroj  
Vir: Reklamni materiali Weinig

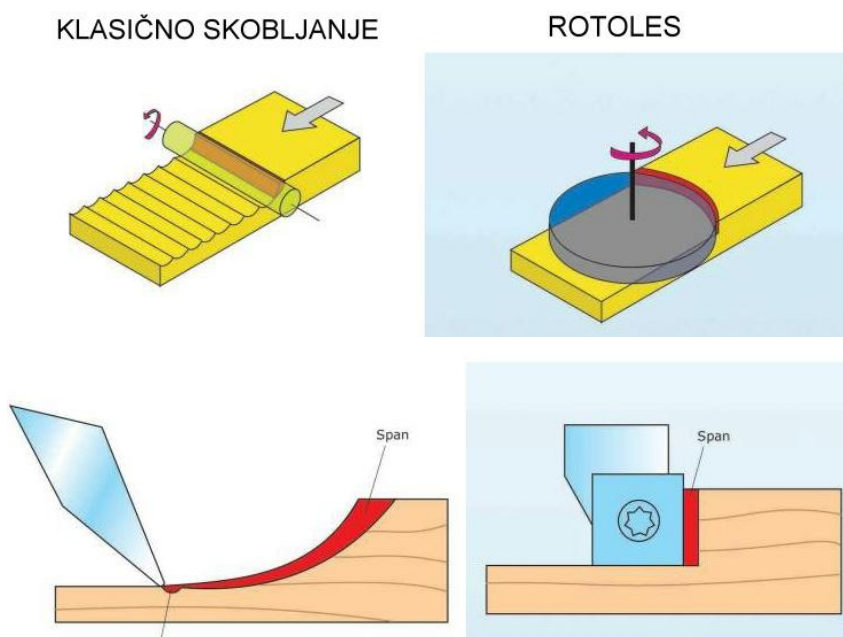
### Naredi, poišči

Kot zanimivost si lahko na internetni strani <http://www.ledinek.com/slo/product/01/s300.html> ogledaš izdelek slovenskega proizvajalca lesnoobdelovalnih strojev Ledinek, ki dosega skoraj neverjetno podajalno hitrost **600 m/min.**

## 7.2.5 Sistem skobljanja Rotoles

Omenili smo že slovenskega proizvajalca lesnoobdelovalnih strojev Ledinek. Tovarna je že pred časom razvila inovativen način skobljanja lesa.

Pri sistemu Rotoles so rezila vpeta po obodu diskov različnih premerov, ki se vrtijo in odrezujejo les v prečni smeri. Na površini ne nastajajo valovi kot pri klasičnem načinu skobljanja lesa. Podajanje obdelovancev je preko gnanih valjev ali preko transportnih trakov.



Slika 33: Primerjava klasičnega skobljanja in sistema Rotoles  
Vir: Reklamni materiali Ledinek

Sistem skobljanja Rotoles se največkrat uporablja za kalibriranje lesa in širinsko lepljenih lesnih plošč.



### Naredi, poišči

Več o tem inovativnem načinu skobljanja si lahko ogledaš na internetnih straneh podjetja Ledinek: <http://www.ledinek.com>, 20. 1. 2011 .



### Povzetek

S skobljanjem lesene površine poravnamo in grobo zgladimo. Zraven običajnega skobljanja z vrtečim valjastim delovnim vretenom, poznamo tudi sistem skobljanja Rotoles.

Osnovna stroja za skobljanje lesa sta poravnalni in debelinski skobeljni stroj. Za serijska skobljanja velikih količin lesa je namenjen štiristranski skobeljni stroj, ki zraven skobljanja lahko les tudi rezka oz. profilira. Pri menjavi skobeljnih nožev si pomagamo s posebnimi šablonami.



### Vprašanja za ponovitev

1. Kako pravilno nastavimo položaj sprejemne in odvzemne mize pri poravnalnem skobeljnem stroju? Kakšne so težave, če mizi nista pravilno nastavljeni?
2. Opiši sistem podajanja obdelovancev skozi debelinski skobeljni stroj.
3. Iz kakšnega materiala so izdelani skobeljni noži?
4. Predlagaj izboljšave tehnološkega postopka skobljanja lesa, če želimo skobljati velike količine lesa, npr. opazne letve različnih dolžin. Kakšno strojno opremo bi potrebovali?
5. Sooči klasični način skobljanja s sistemom Rotoles in opredeli prednosti in pomanjkljivosti enega in drugega načina.



<http://www.martin.info/> (13. 1. 2011)

<http://www.weinig.com/> (13. 1. 2011)

## 7.3 REZKANJE LESA

➤ Z rezkanjem lesa les največkrat **vzdolžno profiliramo** z naslednjimi tehnološkimi postopki:

- utorjenje,
- brazdanje,
- posnemanje in zaokroževanje robov,
- vzdolžno profiliranje, izdelava širinskih vezi,
- obploščevanje,
- izdelava okrasnih utorov in brazd (okrasne letve).

➤ S prečnim rezkanjem lesa izdelujemo različne konstrukcijske vezi, npr. čepljenje.

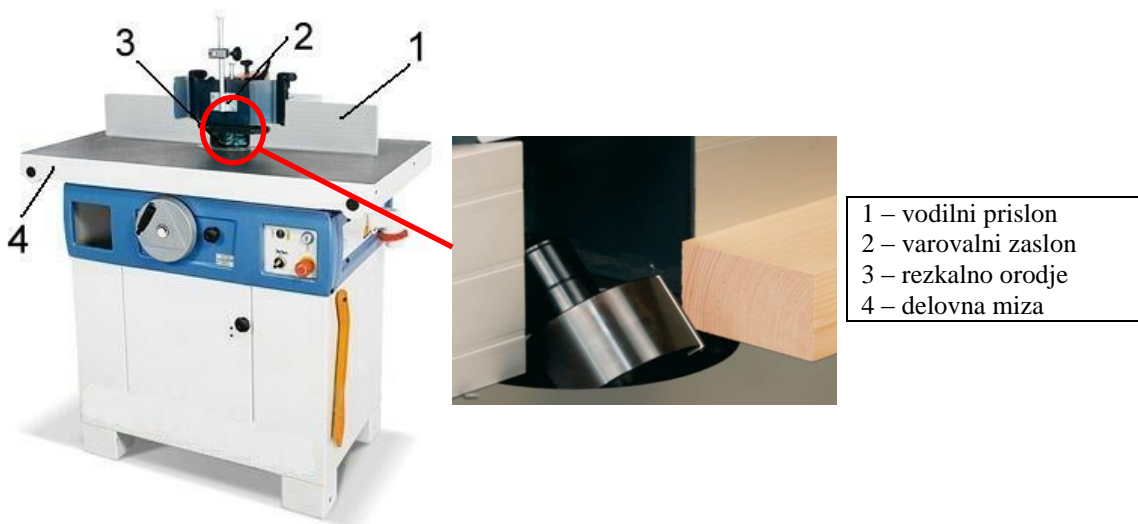
Za rezkanje lesa na osnovnih mizarskih strojih mora biti les predhodno poskobljan. Osnovni vrsti rezkalnih strojev:

- mizni rezkalni stroj,
- nadmizni rezkalni stroj.

Nadmizni rezkalni stroji se vedno manj uporabljajo, ker ga nadomeščajo CNC obdelovalni stroji.

**⚠** Rezkalni stroji so zelo nevarni, ker se orodja vrtijo z velikimi rezilnimi hitrostmi. Poškodbe zaradi nepravilnega dela na miznih rezkalnih strojih so precej pogoste in izjemno hude.

### 7.3.1 Rezanje lesa z miznim rezkalnim strojem



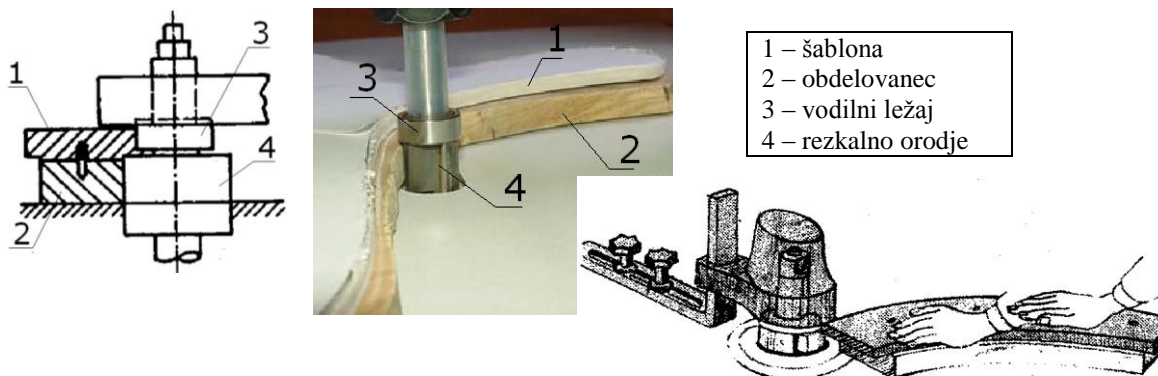
Slika 34: Mizni rezkalni stroj

Vir: Lasten

➤ Na miznem rezkalnem stroju je mogoče les obdelovati še na druge načine in s številnimi oblikami profilnih rezkalnih glav. Značilne vrste rezkanj lesa, ki jih omogoča ta stroj, so:

- krivuljno rezkanje (kopiranje oblike),
- rezkanje v polno.

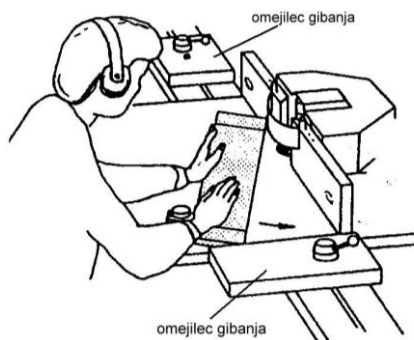
➤ Pri krivuljnem rezkanju odstranimo zaščito delovnega vretena in vodilni prislon ter namestimo zaščito za krivuljno rezkanje. Pod ali nad rezkalnim orodjem rezkalni trn vpnemo v vodilni ležaj, po katerem vodimo šablono, na katero je vpet obdelovanec.



Slika 35: Krivuljno rezkanje

Vir: Grošelj, A., et al., 1999, 132

- Delovno vreteno se lahko nagiba pod kotom. Vrtljaji delovnega vretena se pri novejših strojih nastavljajo brezstopenjsko do 12.000/min.
- Rezkanje v polno je vzdolžno ali prečno rezkanje, ki se ne izvaja po celi dolžini ali širini obdelovanca. Začne in konča se pred začetkom in koncem obdelovanca. To rezkanje je precej nevarno, če si ne naredimo posebnih zaustavljaj, ob katere naslonimo obdelovanec, da ga nekontrolirano ne vrže nazaj, ko pride v stik z vrtečim se orodjem ter ga ne potegnemo dlje, kot nameravamo rezkati.



Slika 36: Rezkanje v polno  
Vir: Grošelj, A., et al., 1999, 126

#### Povzetek

Z rezkanjem lesa izdelujemo različne profile in konstrukcijske vezi. Najprimernejši stroj je mizni rezkalni stroj. Na njem lahko zraven ravnega rezkanja lesa opravljamo tudi krivoljno rezkanje s pomočjo šablon in vodilnih ležajev. Nadmizne rezkalne stroje so praktično v celoti zamenjali CNC obdelovalni centri. Vrtilne hitrosti rezkalnih strojev so velike, zato so rezalni deli stroja dobro zaščiteni.

#### Vprašanja za ponovitev

1. Kakšna rezalna orodja uporabljamo za rezkanje lesa?
2. Zamisli si primer rezkanja lesa, kjer bi morali rezkati v polno.
3. Kako izvajamo mehanizirano podajanje obdelovancev na miznem rezkalnem stroju?
4. Načrtuj vsa potrebna osebna in tehnična zaščitna sredstva za varno delo na miznem rezkalnem stroju.



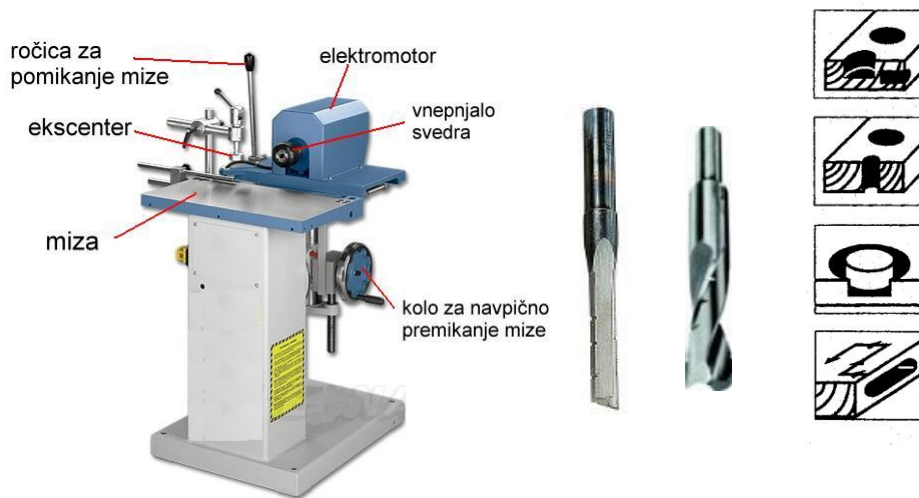
<http://www.scheppach.com/> (16. 2 2011)

## 7.4 VRTANJE IN DOLBENJE LESA

Z vrtanjem lesa izdelujemo različne izvrtine, dolbemo izdolbitve (npr. za čepe), odstranjujemo in krpamo grče.

### 7.4.1 Vrtanje lesa na horizontalnem vrtalnem stroju

Na tem stroju dolbimo izdolbitve v les. V vpenjalo svedra je vpet posebej oblikovan žlebasti ali spiralni sveder.



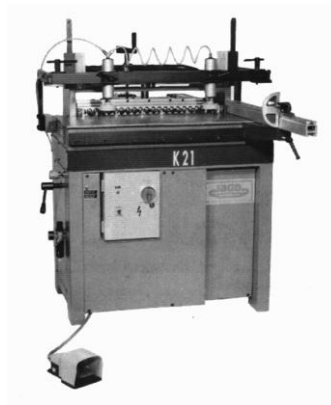
Slika 37: Horizontalni vrtalni stroj in svedra  
Vira: Lasten in Grošelj, A., et al., 1999, 137

➤ Obdelovanec je vpet na mizo s pomočjo ekscentričnega vpenjala. Z ročico primikamo sveder in vrtamo luknje v les. S pomikanjem mize v pravokotni smeri na smer vrtnja izdelujemo podolgovate izdolbine. Dolžino luknje omejimo z omejevalcem pomika mize.

➤ Dolbenje globokih izdolbin moramo izvajati postopoma. Najprej zvrtnemo luknje eno ob drugi do končne globine. Prečno »čiščenje« izdolbine izvajamo postopoma, tako da sveder pri vsakem gibu potisnemo v les za nekaj mm in mizo pomaknemo v vzdolžni smeri. Če sveder pri posameznem gibu preveč potisnemo v les, se pojavijo prevelike sile vrtnja. Sveder se ustavi, lahko pa tudi počí.

### 7.4.2 Vrtanje lesa na večvretenskih vrtalnih strojih

Z večvretenskimi vrtalnimi stroji vrtamo več lukenj naenkrat. Uporabljajo se pri mozničenju in vrtanju večjega števila lukenj za vgradnjo okovja.



Slika 38: Večvretenski vrtalni stroj  
Vir: Samstag, K., et al., 1993, 67

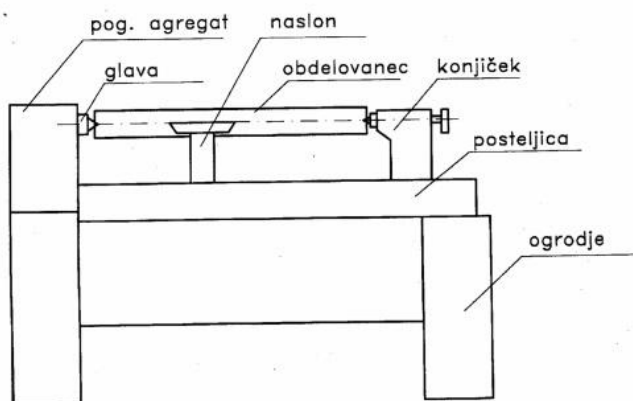
- Vrtalni stroj ima več vrtalnih vreten, ki so med sabo razmaknjene v rastru 32 mm. **Sistem vrtnja 32** najdemo na veliko področjih vrtnja lukenj pri izdelavi pohištva in velja kot nek standard pri rastru vrtnja več lukenj.

### Naredi, poišči

Sistem vrtnja lukenj po rastru 32 mm najdemo pri vgrajevanju okovja pri omarah in posteljah.  
Poišči vsaj pet primerov okovja, kjer je potrebno upoštevati raster vrtnja 32 mm.

## 7.5 STRUŽENJE LESA

S struženjem lahko izdelujemo različne okrasne in uporabne izdelke, na primer spominke, krožnike, palice ipd..



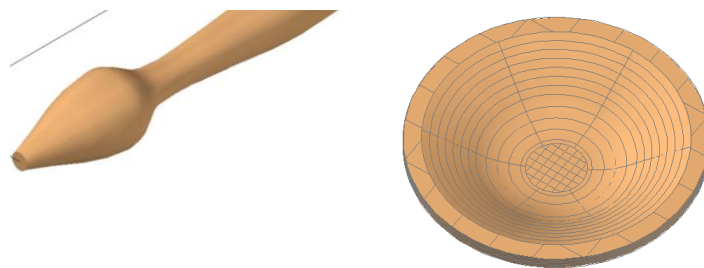
Slika 39: Stružnica in sestavni deli stružnice

Vir: Stegne, 2010, 58

- Struženje lesa je posebna vrsta obdelave lesa. Orodje se giblje premočrtno, obdelovanec pa se vrti. Stružimo lahko vzdolžno glede na lesna vlakna, kjer dobimo paličaste izdelke ali čelno na lesna vlakna, kjer dobimo obliko krožne plošče.
- Nekatere lesove se lažje struži kot druge. Najlažje stružimo drevesne vrste, ki imajo homogeno zgradbo – predvsem listavci.

### Naredi, poišči

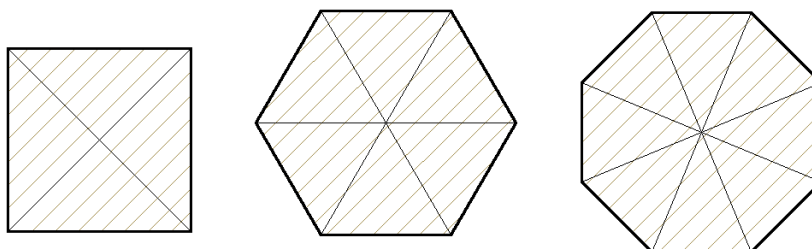
Pozanimaj se, katere drevesne vrste so bolj in katere manj primerne za struženje. Utemelji, zakaj je tako.



Slika 40: Vzdolžno in čelno stružen element

Vir: Lasten

➤ Pred struženjem je potrebno les pripraviti z mehansko obdelavo. Predpripravljeni kosi se poskobljajo v kvadratno, šesterokotno ali osmerokotno obliko. S pomočjo konjička jih vpneemo v stružnico. Vpenjanje mora biti centrično, zato na obeh koncih zarišemo središče obdelovanca (diagonale).



Slika 41: Oblike obdelovancev pred struženjem in določanje centra za vpenjanje

Vir: Stegne, 2010, 58

➤ Vlažnost lesa mora biti nekoliko višja kot pri izdelavi pohištva, in sicer 15–20 %, ker je zelo suh les težje stružiti.

➤ Pri čelnem struženju moramo les na grobo obžagati v okroglo obliko. To naredimo na mizarskem ozkolistnem tračnem žagalnem stroju. Vpenjanje obdelovancev v tem primeru je drugačno. Okroglo obžagan kos se najprej vpne v posebno glavo z navojem, da se na drugi strani zastruži posebna vdolbina (konusna) in zunanja oblika. Vdolbina služi za vpenjanje v posebno čeljust .

Stružna dleta so različnih oblik in se uporabljajo za točno določen namen:

- široko žlebasto dleto (grobo struženje),
- ravna dleta (izravnavanje, zarezovanje),
- manjša žlebasta dleta (oblikovanje),
- kljuge (dolbenje).



Slika 42: Vzdolžno in prečno struženje lesa  
Vir: Stegne, 2010, 59



Slika 43: Vpenjalna čeljust in stružna dleta  
Vir: Stegne, 2010, 59

➤ Pri vzdolžnem struženju lesa stružno dleto vodimo po naslonu, ki mora biti ustrezno blizu vrtečemu se kosu. Orodje izbiramo glede na fazo struženja, obliko profila si nanesimo po dolžini v obliki črt, do katerih nato stružimo določen profil. Ko končamo s struženjem, vzamemo v roko brusni papir in zgladimo profil. Za zelo fino površino lahko vzamemo v dlan ostružke in fino zgladimo obdelovanec.

Včasih se zgodi, da stružimo zelo tanke in dolge kose lesa. Obstaja nevarnost, da se zaradi zmanjšanja premera uklonijo ali celo zlomijo. Da se to ne zgodi, si pomagamo s posebnim pripomočkom, ki se imenuje **lineta**, s katerim podpremo obdelovanec.



Slika 44: Lineta  
Vir: Lasten

### Povzetek

Z vrtnjem v les izdelujemo različne luknje in vdolbine. Večvretenski vrtni stroj je namenjen vrtnju več lukenj naenkrat. V lesarstvu velja standardni raster vrtnja lukenj 32 mm.

Struženje je prav posebna operacija strojne obdelave lesa, kjer se obdelovanec vrti in se orodje giblje premočrtno. Poznamo prečno in vzdolžno struženje lesa.

Nekatere drevesne vrste je lažje stružiti kot druge, kar je odvisno od homogenosti strukture in gostote lesa. Pri struženju tanjših obdelovancev si pomagamo z lineto.



### Vprašanja za ponovitev

1. Kakšne svedre uporabljamo za vrtnje lesa?
2. Zamisli si struženje okrasnega stebrička. Kakšna bi bila priprava in vpetje obdelovanca? Načrtuj potrebno orodje.
3. Primerjaj tehnologijo vzdolžnega in prečnega struženja lesa.



<http://jowinter.de/pdf/WITCH.pdf> (20. 2. 2011)

[http://www.verlag-th-schaefer.de/downloads/Leseprobe Trad Holzspielzeug.pdf](http://www.verlag-th-schaefer.de/downloads/Leseprobe_Trad_Holzspielzeug.pdf)

(15. 2. 2011)

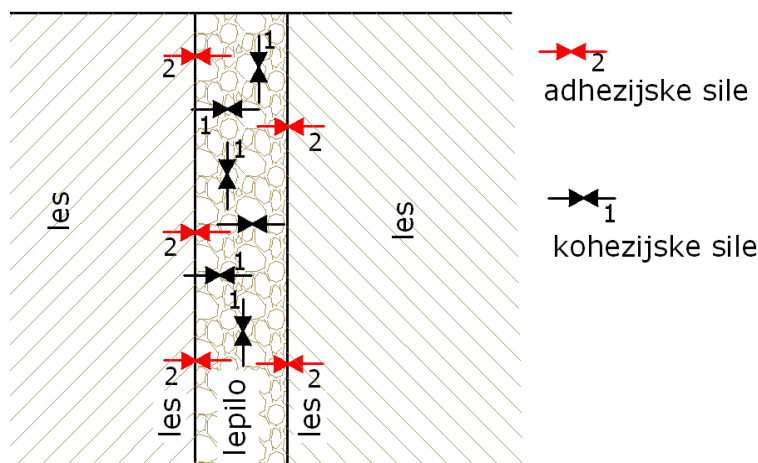
## 7.6 LEPLJENJE LESA

Pred lepljenjem moramo les ustrezno pripraviti:

- les za lepljenje mora biti vsaj zračno suh (12 % –15 %), še bolje je, če je tehnično suh (5 % –12 %),
- ustrezna temperatura lesa okrog 20 °C,
- les mora biti raven in gladek, kar dosežemo s skobljanjem in/ali brušenjem,
- površina mora biti čista, brez prahu, smole ali oljnih madežev,
- robovi morajo biti pravokotno poskobljani.

### 7.6.1 Mehanizem lepljenja

V lepilnem spoju nastanejo močne kohezijske sile (med enakimi molekulami), ki preprečujejo trganje spoja v lepilu. Med lesom in lepilom nastanejo adhezijske sile, ki vežejo med sabo različne vrste materialov (različne molekule), v našem primeru je to lepilo in les.



Slika 45: Sile v lepilnem spoju  
Vir: Stegne, 2010, 77

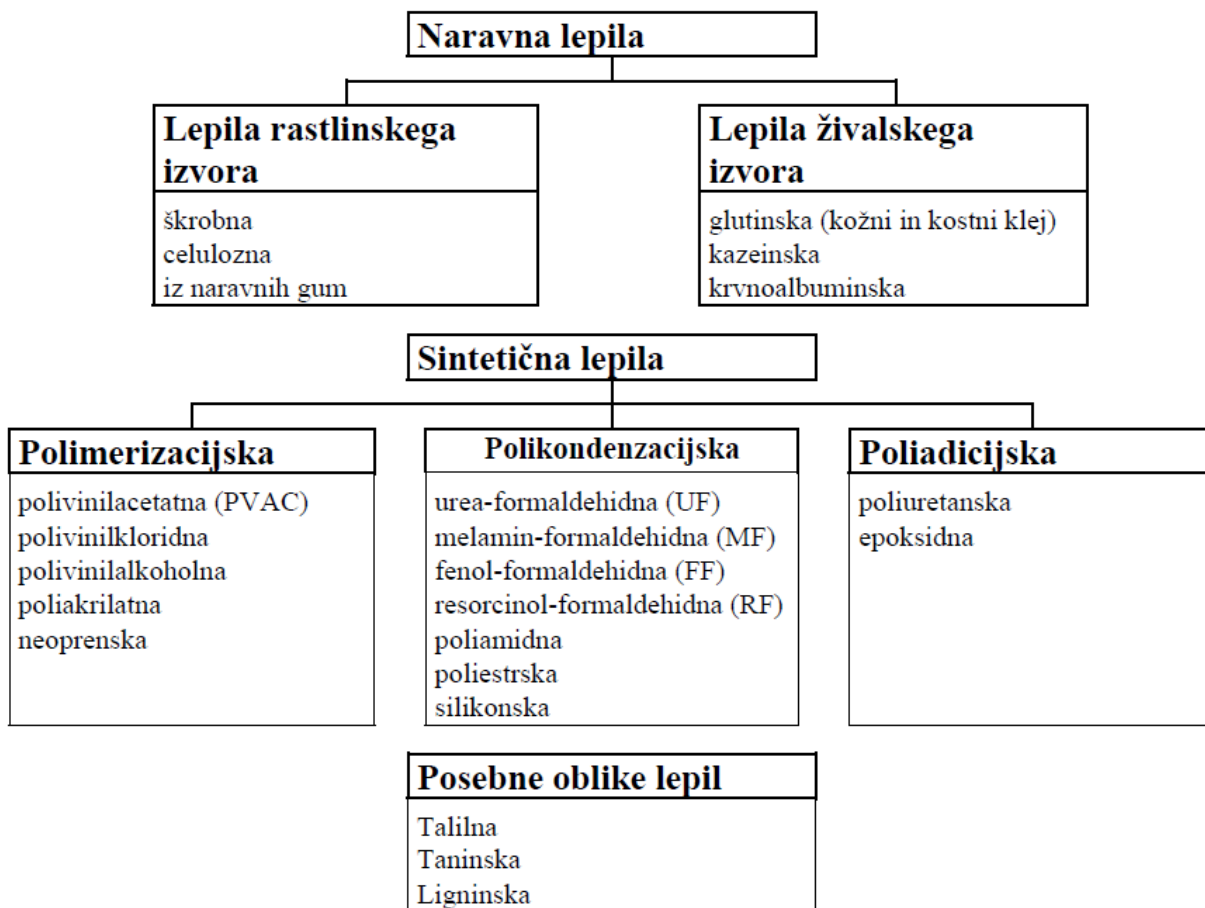
Za uspešno lepljenje je pomembno, da se v lepilnem spoju vzpostavijo dovolj močne kohezijske sile v lepilu, ki s strjevanjem naraščajo in na koncu dosežejo največjo moč. Če niso dovolj močne (staro ali zmrznjeno lepilo), lepilna vez razpade po lepilnem spoju.

Prav tako morajo biti adhezijske sile (oprijemnost) dovolj močne. Na to imamo velik vpliv z ustrezno pripravo lesa, izbiro in pripravo lepila.

### 7.6.2 Vrste lepil

Izbira ustreznega lepila je ključnega pomena, saj z napačno izbranim ali napačno pripravljenim lepilom ne bomo dosegli želenega rezultata.

V sodobni lesarski proizvodnji prevladujejo sintetična lepila, medtem ko se nekatera naravna lepila še vedno uporabljajo v posebnih primerih (npr. restavriranje starinskega pohištva). Nekatera lepila so primerna samo za lepljenje poroznih materialov, med katere spada tudi les. Druga so primerna za univerzalna lepljenja in lepljenja različnim materialov med seboj, npr. steklo na les.



Slika 46: Skupine in vrste lepil  
Vir: Čermak, 1998, 22

Od vseh naštetih najpogosteje uporabljamo naslednja lepila:

- polivinilacetatna (PVAC),
- neoprenska,
- urea-formaldehidna (UF),
- fenol-formaldehidna (PF),
- resorcinol-formaldehidna (RF),
- epoksidna,
- poliuretanska (PU),
- talilna.

Tabela 4: Uporabnost in lastnosti nekaterih lepil v lesarstvu

Vrsta lepila	Uporaba	Prednosti	Pomanjkljivosti	Komercialni izdelki
Neoprensko lepilo	Lepljenje umetnih mas, stekla, keramike na les	Vodoodporen, že pripravljen za uporabo, univerzalno	Zdravju škodljivo, termoplastično, obojestransko nanašanje	Neostik SK-101, UHU
Urea-formaldehidno lepilo	Furniranje, izdelava ivernih plošč	Dokaj poceni, brezbarvni lepilni spoji	Sproščajo formaldehid, obrabljajo orodja	Lendur
Fenol-formaldehidno lepilo	Lepljenje vlažnega lesa, vodoodporna lepljenja	Elastični spoji, odpornost proti kemikalijam, glivam ...	Temna barva spoja, kratek čas skladiščenja	Fenolit, Lendafen
Melamin-formaldehidno lepilo	Ploskovna lepljenja, vodoodporne vezane plošče, leseni nosilci	Vsestranska uporaba, zelo odporni spoji proti vodi, kemikalijam, ostrim klimi	Visoka cena, krhki spoji, ki krhajo rezila, kratek čas skladiščenja	Meldur, Lendamin
Epoksidno lepilo	Lepljenje različnih materialov med sabo	Visoka vezivna trdnost, hitro utrjevanje	Majhna elastičnost, visoka cena	Toolcraft, Neostik epoxy
Talilno lepilo	Oblepljanje robov lesnih plošč	Vodoodpornost, hitro utrjevanje, elastični spoji	Termoplastičnost, potrebujemo posebno strojno opremo, omejena uporaba	Rakoll K2/486 C, Dorus

Vir: Lasten

### 7.6.3 Tehnologija lepljenja lesa

Obravnavali bomo nekatere postopke lepljenja, ki uporabljajo naprednejšo tehnologijo.

Delovni postopki si morajo slediti po določenem vrstnem redu:

- priprava lepilnih površin,
- izbira lepila,
- priprava lepila,
- nanašanje lepila,
- stiskanje lepljencev,
- kondicioniranje po lepljenju.

#### Priprava lepilnih mešanic

Lepila se pripravljajo na različne načine. Nekatera so že pripravljena za uporabo in jih samo premešamo, ostala pa pripravimo po navodilih proizvajalca.

Nekatere lastnosti lepila neposredno vplivajo na potek in kvaliteto lepljenja, zato jih moramo še posebej omeniti.

➤ **Viskoznost lepilne mešanice** vpliva na nanašanje in preboj lepila. Predpiše jo proizvajalec. Prenizka viskoznost lahko povzroča prevelik vnos vode v lepilni spoj ali preboj lepila skozi tanek furnir. Previsoka viskoznost otežuje enakomeren nanos lepila in slabo omočitev površine in zato kasneje slabo oprijemnost lepila. Najenostavneje izmerimo viskoznost s Fordovo čašo. Tu merimo viskoznost posredno, in sicer z iztočnim časom določene količine lepilne mešanice skozi šobo določenega premera in določeni temperaturi. Za takšno merjenje

uporabimo iztočno čašo in kronometer. Krajši iztočni čas pomeni, da ima lepilna mešanica manjšo viskoznost, daljši pa večjo.

Viskoznost uravnavamo s temperaturo in dodajanjem polnil in razredčil.



Slika 47: Fordova čaša  
Vir: Lasten

➤ **pH vrednost lepila** je različna. Nekatera so rahlo, druga močno kislá. Ker imajo tudi lesovi različne pH-vrednosti, lahko pride do neželene reakcije med lesom in lepilom, kar povzroči različne barvne spremembe ali nekvalitetne lepilne spoje.



**Naredi, poišči**

Poišči podatke o različnih viskozimetrih, ki jih lahko uporabljamo tudi za merjenje pH lepilnih mešanic.

Dvokomponentna lepila pripravljamo po navodilih proizvajalca, ki ponavadi predpiše, koliko **utežnih delov** posameznih komponent mora vsebovati lepilna mešanica. Posamezne utežne dele najlažje izračunamo po križnih računih oz. sorazmernih deležih posameznih komponent. Pri tem moramo upoštevati čas uporabnosti lepilne mešanice (»pot life«), ki ga predpiše proizvajalec lepila.

*Primer*

Proizvajalec predpisuje, da moramo lepilno mešanico urea formaldehidnega lepila pripraviti tako, da lepilu v prahu primešamo vodo in trdilec v razmerju 100:40:15. Potrebujemo 7 kg lepila.

Lepilna mešanica bo sestavljena iz 155 utežnih delov (100 delov prahu, 40 delov vode in 15 delov trdilca).

$$\begin{array}{l} 155 \text{-----} 7 \text{ kg} \\ 100 \text{-----} x_1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 155 \text{-----} 7 \text{ kg} \\ 40 \text{-----} x_2 \end{array}$$

$$x_1 = \frac{100 \times 7 \text{ kg}}{155} = 4,5 \text{ kg}$$

$$x_2 = \frac{40 \times 7 \text{ kg}}{155} = 1,8 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{l} 155 \text{-----} 7 \text{ kg} \\ 15 \text{-----} x_2 \end{array}$$

$$x_3 = \frac{15 \times 7 \text{ kg}}{155} = 0,7 \text{ kg}$$

**Preizkus:**  $x_1 + x_2 + x_3 = 4,5 \text{ kg prahu} + 1,8 \text{ kg vode} + 0,7 \text{ kg trdilca} = 7 \text{ kg}$

#### 7.6.4 Tehnologije nanašanja lepila na lepilne površine

Zraven osnovnih ročnih nanašalnih sredstev (valjček, čopič, glavnik) lahko lepilo nanašamo s pnevmatsko napravo, ki pritiska lepilo skozi cev, in različne nastavke. Uporablja se za nanos lepila v utore, zareze, čepe, luknje ipd..



Slika 48: Pnevmska naprava za nanašanje lepila in različni nastavki

Vir: Stegne, 2010, 86

Možnosti strojnega nanašanja lepila so:

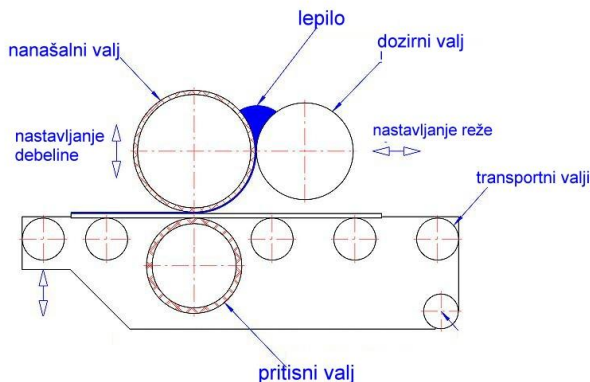
- valjčno nanašanje lepila,
- brizganje,
- polivanje,
- ekstruzijsko nanašanje.

**Valjčno nanašanje** lepila se uporablja pri nanašanju lepila na ravne plošče, npr. ploskovno furniranje. Omogoča enakomeren nanos na večje površine. Sestavljen je iz nanašalnih in dozirnih valjev.

Nanašalni valji imajo profilirano, gumirano površino, ki zraven nanašanja lepila tudi pomikajo ploščo skozi stroj.

Dozirni valji uravnavajo količino nanosa s tem, koliko so odmaknjeni od nanašalnega valja. So manjšega premera, jekleni, gladki ali gumirani.

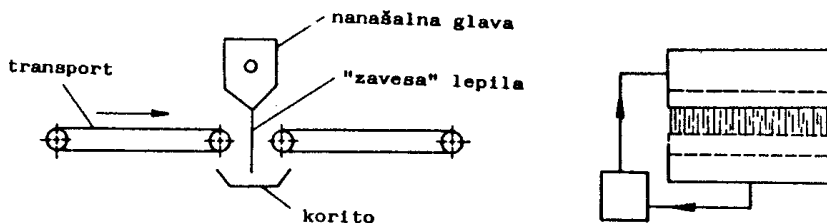
Stroji omogočajo tudi obojestranski nanos lepila.



Slika 49: Stroj za valjčno nanašanje lepila  
Vir: Stegne, 2010, 87

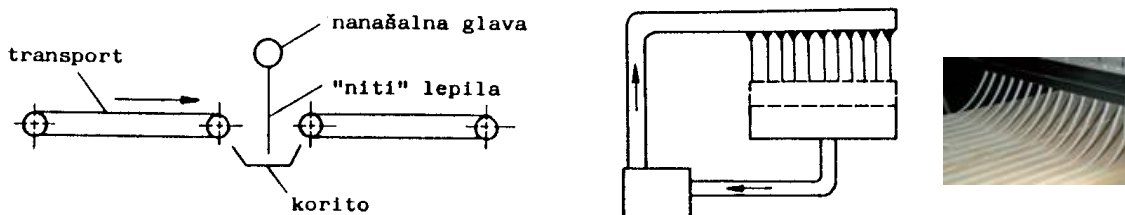
**Brizganje** je tehnika nanašanja lepila na površine, ki so nepravilnih ali reliefnih oblik, npr. v tapetništvu. Pogosto se brizga neoprensko lepilo (npr. lepljenje pene na ogrodja pri tapeciranih stoli in foteljih). Pri dvokomponentnih lepilih ima pištola dva izhoda, skozi enega izhaja lepilo, skozi drugega pa trdilec, ki se v snopu zmešata.

**Polivanje** je postopek nanosa lepila na ravne ali rahlo valovite površine. Količina nanosa se določa s premerom iztočne šobe na polivalni glavi in hitrostjo pomika transporterja. Odvečno lepilo se zbira v koritu in ga ponovno prečrpavamo v nanašalno glavo.



Slika 50: Nanašanje lepila s polivanjem  
Vir: Resnik, 1989, 61

**Ekstruzijsko** nanašanje je podoben postopek kot polivanje, razlika pa je v tem, da pri polivanju lepilo pada na ploščo v obliki zavesa, pri ekstruzijskem pa v obliki niti. Poraba lepila je ustrezno manjša. Ni toliko težav s trganjem zavesa kot pri polivanju.



Slika 51: Ekstruzijsko nanašanje lepila  
Vir: Resnik, 1989, 60

Pri nanašanju lepila moramo izračunati ali določiti količino nanosa. Ta podatek potrebujemo zato, da vemo, koliko lepila moramo pripraviti in kakšni so materialni stroški lepila. Ni smiselno nanašati preveč lepila, ki ga potem iztisnemo iz spoja. Po drugi strani pa premajhen nanos povzroči nekvalitetno lepljenje lesa. Računati moramo tudi na izgube, ker nekaj lepila ostane na stenah posode in nanašalnih sredstvih, nekaj ga izhlapi, nanos je lahko neenakomeren ipd..

Nanos lepila izračunamo po naslednjem obrazcu:

$$m_n = \frac{m}{S}$$

$m_n$ = nanos lepila ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) $m$ = masa lepila (g) $S$ = površina lepilnega spoja ( $\text{m}^2$ )
--

### Primer

Proizvajalec PVAC-lepila je predpisal nanos lepila pri strojnem širinskem lepljenju  $140 \text{ g}/\text{m}^2$ . Koliko lepila bomo potrebovali za lepljenje 100 kos masivnih plošč dimenzij  $1500 \times 750 \times 40 \text{ mm}$ . Plošča je sestavljena iz desetih lamel širine 75 mm. Po izkušnjah izgubimo okrog 8 % lepila.

$$m_n = 140 \text{ g}/\text{m}^2$$

$$S = 1.5 \text{ m} \times 0.04 \text{ m} \times 100 \text{ kos} \times 9 \text{ spojev} = 54 \text{ m}^2.$$

$$\text{izkoristek} = 92 \%$$

$$\text{št. nanosov} = 1 \text{ (enostransko)}$$

$$m = ?$$

$$m = ((m_n \times S) / 0,92) \times 1 = ((140 \text{ g}/\text{m}^2 \times 54 \text{ m}^2) / 0,92) \times 1 = \underline{\underline{8217 \text{ g} = 8,3 \text{ kg}}}$$

Po nanosu lepilne mešanice moramo upoštevati nekatere čase.

**Vmesni čas** je čas od nanosa lepila do začetka stiskanja obdelovancev.

**Čas stiskanja** je čas, v katerem se lepilo popolnoma strdi in veže lepljenca.

**Odprti čas** je čas od nanosa lepila do sestave lepljenca. Pri nekaterih lepilih lahko začnemo stiskati takoj po nanosu. Eno takšnih je polivinilacetatno lepilo. Pri nekaterih drugih pa morajo topila in razredčila skoraj popolnoma izhlapeti iz lepila, šele nato lahko staknemo lepljenca skupaj.

**Zaprti čas** je čas od sestave lepljenca do vzpostavitve tlaka v stiskalnici.

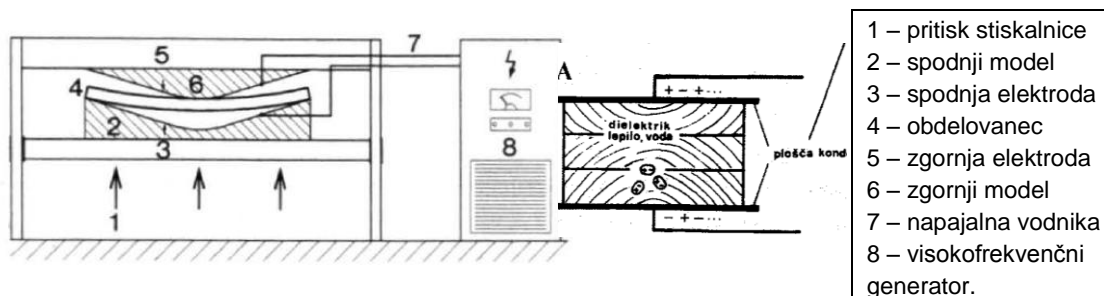
## 7.6.5 Stiskanje obdelovancev

Stiskanje lepljenca je potrebno, da se lepilne površine dobro stikajo, da se lepilo enakomerno porazdeli po lepilni površini in da deluje ustrezen tlak na lepilni spoj (prodiranje lepila v les). Stiskanje lepilnih spojev temelji na treh postopkih:

- mehansko stiskanje (svore),
- pnevmatsko stiskanje (stisnjen zrak, montažna lepljenja),
- hidravlično stiskanje (stisnjeno olje).

Stiskanje je lahko hladno ali s segrevanjem lepilnega spoja. Pri segrevanju se lepilo hitreje utrdi. Segrevanje je lahko klasično (elektrika, vroča voda) ali visokofrekvenčno.

**Visokofrekvenčno segrevanje** temelji na principu notranjega segrevanja snovi. Lepilo se segreje po principu trenja med polariziranimi molekulami v lepilu (voda). Visokofrekvenčni generator izmenično (3–30 MHz) spreminja naboj zgornje in spodnje elektrode. Molekule vode (+−) se poskušajo orientirati glede na nasprotno polarizacijo elektrode. Ker se polarizacija spreminja, se molekule »vrtijo«, kar ustvarja trenje in posledično segrevanje.



Slika 52: Visokofrekvenčno segrevanje lepilnih spojev

Vir: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2009/4835/pdf/hei129.pdf> (28. 5. 2010)

Segrevanje v polju visoke frekvence se uporablja pri stiskanju lameliranega lesa in pretočnem lepljenju masivnega lesa. Oprema je precej draga, prav tako je visoka poraba električne energije. Previsoke frekvence lahko motijo radijske valove.

Klasične stiskalnice so različnih izvedb in oblik, kar je pogojeno z načini stiskanja. Tako poznamo:

- eno- ali večetažne stiskalnice za ploskovna lepljenja (npr. furniranje),
- karuselne stiskalnice (zvezdaste),
- okvirne stiskalnice (za stiskanje okvirjev, npr. okna, vrata),
- korpusne stiskalnice (za stiskanje obodov, npr. škatle, omare).

### Hidravlična stiskalnica za ploskovna lepljenja

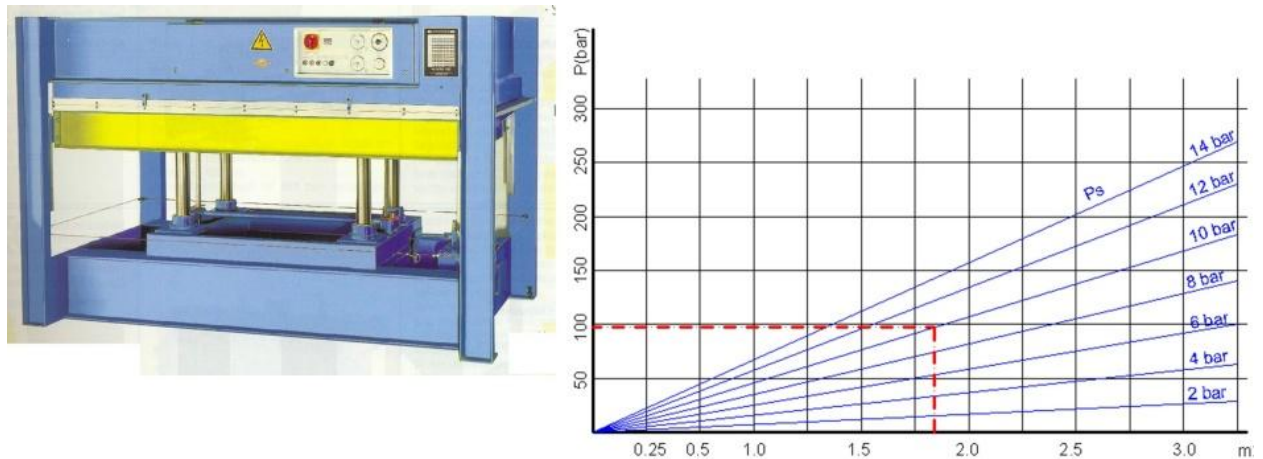
Hidravlične stiskalnice za ploskovna lepljenja uporabljamo pri furniranju ivernih plošč, stiskanju lepljencev, izdelavi furnirnih plošč in izdelavi večslojnih lesnih plošč iz masivnega lesa.

➤ **Čas stiskanja** določimo tako, da času utrjevanja lepila pri določeni temperaturi (predpiše ga proizvajalec lepila) prištejemo 1 min/mm debeline obloge.

*Primer izračuna časa stiskanja:*

- čas utrjevanja UF-lepila pri temperaturi 110°C je 7 minut,
- debelina enega sloja lesa je 10 mm (lepimo trislojno ploščo, skupne debeline 30 mm).

Čas stiskanja = 7 min + 10 min = **17 min.**



Slika 53: Hidravlična stiskalnica in diagram delovnega tlaka

Vir: Stegne, 2010, 47

➤ Pri **ploskovnem lepljenju** v hidravlični stiskalnici moramo določiti **delovni tlak** (tlak olja) stiskalnice. V ta namen se na ogrodju stiskalnice ponavadi nahaja diagram, na katerem s pomočjo izračunane površine lepilnih ploskev in specifičnega tlaka (glej navodila proizvajalca lepila) določimo ustrezen delovni tlak. Delovni tlak nastavimo s premičnim stikalom ali z avtomatskim izklopom na manometru.

*Primer izračuna delovnega tlaka stiskalnice:*

- površina stiskanja =  $1.7 \text{ m}^2$  (iverne plošče 16 mm), specifični tlak  $P_s = 10 \text{ bar}$ ,
- tlak stiskalnice odčitano iz diagrama je **100 bar**.

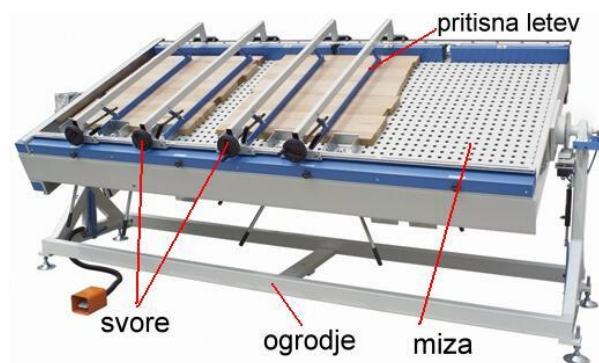
➤ Po pretečenem času stiskanja obdelovance vzamemo iz stiskalnice. Pri tem je potrebno paziti, da ne pride do opeklin, ali da se ne porežemo na ostrih robovih furnirja, ki gleda preko robov ali strjenem lepilu.

➤ Plošče so vroče, zato jih moramo ohladiti. Med ohlajanjem lahko pride do zvijanja plošč, če ne upoštevamo nekaterih pravil:

- aklimatizacija in kondicioniranje leplencev,
- zložitev plošč na ravno podlago, ki omogoča enakomerno obojestransko ohlajanje,
- morebitna obtežitev zložaja.

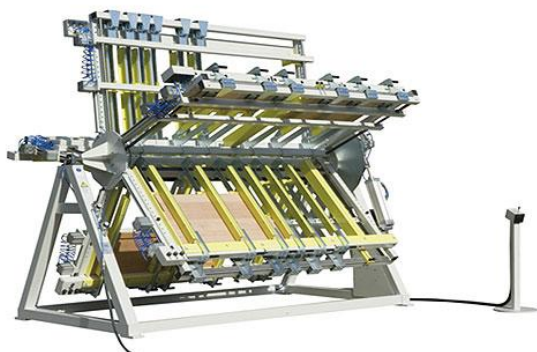
### Stiskalnice za širinska lepljenja lesa

➤ Miza za širinsko stiskanje lesa je sestavljena iz ogrodja in mize, kjer imamo več mehanskih svor, s katerimi prečno stisnemo več letvic v ploščo. Prečno, po površini plošče, so pritisne letve, ki onemogočajo dviganje oz. krivljenje plošče med stiskanjem.



Slika 54: Miza za širinsko stiskanje lesa  
Vir: Lasten

➤ Stiskalnice s pomičnimi in vrtljivimi svorami omogočajo kontinuirano stiskanje plošč. Ročice, na katerih so že širinsko stisnjene plošče, se dvignejo in zavrtijo (čas stiskanja), medtem pa lahko pripravljamo naslednje plošče za stiskanje.



Slika 55: Stiskalnica s pomičnimi in vrtljivimi svorami  
Vir: Lasten

### Stiskalnice za montažo okvirjev in korpusov

➤ Okvirne stiskalnice omogočajo stiskanje različnih okvirjev (npr. okna). Stiskalnice omogočajo hitro in natančno stiskanje pravokotnih ali poševnih oblik okvirjev. Pritisni valji se pomikajo hidravlično ali pnevmatsko.



Slika 56: Okvirna stiskalnica  
Vir: Lasten

➤ Korpusne stiskalnice imajo podoben princip delovanja kot okvirne. Z njimi stiskamo obode omar, zato so pritisne ploskve širše. Obod omare stisnemo v pravokotno obliko.

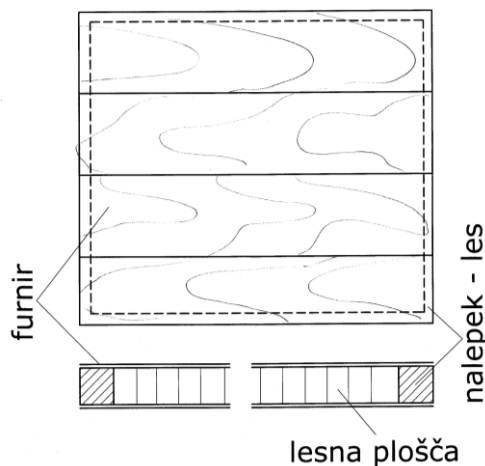


Slika 57: Korpusna stiskalnica  
Vir: Lasten

## 7.7 OPLEMENITENJE LESNIH PLOŠČ IN OBDELAVA ROBOV

Furnir dobimo v obliki vezov, kjer je več furnirskih listov enakih dolžin in širin povezanih v pakete. Furnirske liste moramo spojiti po širini in jih skrojiti glede na formate lesnih plošč. Po dolžini in širini dodamo približno 10 mm nadmere.

Lesne plošče, katerim želimo po furniranju obdelati robove (posnemanje, profiliranje zaokroževanje), moramo na začetku oblepiti z masivnimi nalepkami.



Slika 58: Sestava oplemenitene lesne plošče pripravljena za obdelavo robov  
Vir: Lasten

Furnir spajamo po širini s šivalnim strojem in talilno nitko, če tega nimamo, pa s perforiranim lepilnim trakom. Furnir se lahko spaja tudi s topim spahom, podobno kot masivni les. Preden začnemo furnir spajati, moramo spoje poravnati (spahniti). Obstajajo posebni stroji za spahovanje furnirja. Cel paket vpneemo v stroj. Nato sledi spahovanje furnirja, ki lahko poteka na dva načina:

- v vzdolžni smeri se pomakne rezkalni agregat, ki z enim hodom poravnava vse furnirske liste; ta stroj se imenuje paketni rezkalni stroj;
- na paketnih škarjah, kjer dolgo rezilo obreže cel paket v dveh hodih (grobi in fini rez).



Slika 59: Paketni rezkalni stroj, paketne škarje in stroj za spajanje furnirja  
Vira: Samstag, K. et al., 1993, 100 in lasten

Robove ivernih plošč, ki nimajo masivnih nalepkov, je potrebno oblepiti s tankimi robnimi trakovi. To lahko naredimo ročno z ročnimi strojčki, likalnikom (trak ima že naneseo talilno lepilo) ali s profesionalnimi stroji za robno lepljenje. Takšni stroji, zraven tankih listov furnirja, omogočajo lepljenje debelejših robnih nalepkov in ABS-trakov.

Oplemenitena lesna plošča potuje skozi stroj, ki mu na robove nalepi ustrezen nalepek. Uporablja se talilno lepilo. Stroj robne nalepke poravnava s ploščo, jih zaokroži in obdelava zaključke na robovih plošč.

Stroji za robno oblepljanje plošč so lahko enostavnejši, kjer moramo tehnološke parametre ročno vnašati ali jih celo ročno nastavljati. Pri sodobnejših strojih nastavitve vnesemo v računalniški spomin stroja in računalnik sam krmili postopke oblepljanja (CNC).



Slika 60: Stroj za robna lepljenja lesnih plošč  
Vir: Stegne, 2010, 48

**☑ Povzetek**


Za uspešno lepljenje lesa se morajo v lepilnem spoju ustvariti zadosti močne adhezijske in kohezijske sile.

Za lepljenje lesa in različnih materialov med seboj je pomembno, da izberemo ustrezno lepilo glede na zahteve lepljenja.

Lepilne površine morajo biti ustrezno pripravljene, lepilne mešanice pripravljamo po navodilih proizvajalcev. Približno porabo lepila lahko izračunamo vnaprej, če poznamo priporočene nanose in tehnike nanašanja, ki zahtevajo določeno viskoznost lepilne mešanice. Zraven viskoznosti, ki jo merimo z viskozimetri, moramo paziti tudi na ustrezen pH lepilne mešanice.

Lepilne mešanice lahko nanašamo strojno z valjčnim nanašalnikom, polivanjem, brizganjem ali z ekstruzijsko tehniko.

Za stiskanje obdelovancev se uporabljajo različne vrste stiskalnic. Pri tem moramo upoštevati tlake, temperature in čase stiskanja, ki jih predpiše proizvajalec lepila.

** Vprašanja in vaje za ponovitev**

1. Opredeli osnovne pogoje za uspešno lepljenje lesa.
2. Opiši mehanizem lepljenja.
3. Katero lepilo bi izbrali za lepljenje PVC in kovinskih materialov z lesom?
4. Razčleni različne čase, ki jih moramo upoštevati pred in po nanosu lepilne mešanice.
5. Izračunaj utežne dele komponent lepilne mešanice za naslednji primer.

Proizvajalec predpisuje, da moramo lepilno mešanico urea formaldehidnega lepila pripraviti tako, da lepilu v prahu primešamo vodo in trdilec v razmerju 100:50:10. Potrebujemo 10 kg lepila.

6. Izračunaj nanos lepila ( $\text{g/m}^2$ ), če smo za furniranje  $15 \text{ m}^2$  ivernih plošč porabili 2 kg lepila.
7. Določi delovni tlak stiskalnice. Površina stiskanja je  $2,5 \text{ m}^2$  (iverne plošče 18 mm), specifični tlak  $P_s$  je 10 bar.
8. Izračunaj čas stiskanja. Furniramo iverno ploščo s furnirjem debeline 1 mm. Predpisani čas utrjevanja lepila znaša 6 min.



[www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Lesarstvo\\_tapetnistvo/LEPILA\\_IN\\_LEPLJENJE.pdf](http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Lesarstvo_tapetnistvo/LEPILA_IN_LEPLJENJE.pdf)  
(20. 12. 2010)

[www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Ucbeniki/LepilainMaterialiZaPovrsinskoObdelavo.pdf](http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Ucbeniki/LepilainMaterialiZaPovrsinskoObdelavo.pdf)  
(20. 12. 2010)

## 7.8 BRUŠENJE LESA

Brušenje lesa sodi k poglavju Površinska obdelava lesa. V tej fazi se mora površina lesa kvalitetno pripraviti za lakiranje oz. končno zaščito z voski ali drugimi premaznimi sredstvi.

Slabega brušenja se ne da več popraviti z lakiranjem, zato velja pravilo:« *Slabo brušeno – slabo polakirano.*»

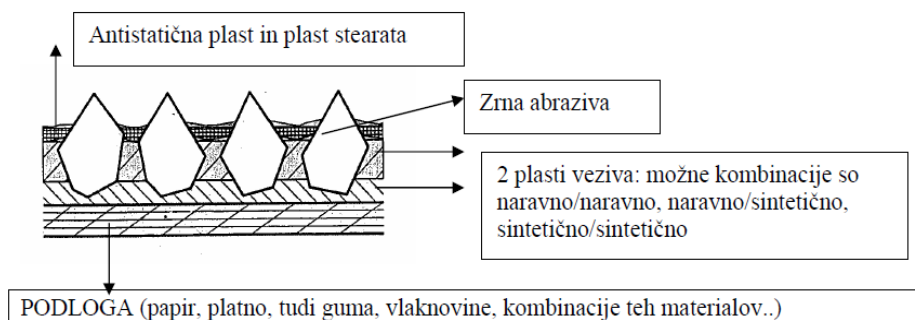
Čeprav se večji del brušenja lesa lahko opravi strojno, je veliko tudi ročnega brušenja. Pri izdelavi vrat omarice bomo polnila brusili ročno. Obstajajo stroji za brušenje profilov, ki se uporabljajo v serijskih proizvodnjah.

Osnovni stroji za brušenje lesa so:

- horizontalni tračni brusilni stroj,
- širokotračni brusilni stroj (kontaktni brusilni stroj) in
- robni brusilni stroji.

Za brušenje lesa uporabljamo fleksibilna ali gibka brusilna sredstva oz. brusne trakove. Brusni trakovi so sestavljeni iz podlage (papir, platno), veziva in brusnih zrn.

Sestava je podobna kot pri brusih za brušenje rezalnega orodja, tudi brusna zrnca so iz podobnih materialov.



Slika 61: Sestava brusnega traku

Vir: Petrič, M.,

[http://les.bf.unilj.si/fileadmin/datoteka\\_asistentov/mpetric/povrsinska\\_obdelava\\_uni/gradiva/MP12\\_brusenje\\_PO\\_06-07\\_01.pdf](http://les.bf.unilj.si/fileadmin/datoteka_asistentov/mpetric/povrsinska_obdelava_uni/gradiva/MP12_brusenje_PO_06-07_01.pdf) (22. 6. 2010)

**Brusne papirje** razvrščamo glede na granulacijo brusilnih zrn. Granulacijo (velikost brusilnih zrn) določamo s sejalnimi siti (8–800). Številka pomeni št. zank na površini ene kvadratne cole. Npr. oznaka na papirju 120 pomeni, da so zrnca šla skozi sito, ki je imelo na 1 colo 120 zank.

Tabela 5: Granulacija brusnih papirjev

vrsta obdelave	granulacija
grobno brušenje lesa	60–80
fino brušenje lesa	120–180
brušenje temeljnega laka	240–320

Vir: Lasten

## Naredi, poišči

Na spletu poišči dodatne informacije o gibkih brusnih sredstvih. (<http://www.ekamant.com/>, 15. 1. 2011)

### 7.8.1 Horizontalni tračni brusilni stroj


Horizontalni tračni brusilni stroj se uporablja za ploskovna brušenja plošč. Pri nekaterih modelih se koluti lahko nagnejo navzdol, tako da iz horizontalnega dobimo vertikalni brusilni stroj, na katerem lahko brusimo robove in tudi krivine.

Na klasičnih horizontalnih tračnih brusilnih strojih brusimo robove tako, da dvignemo zgornji zaščitni pokrov brusilnega traku.



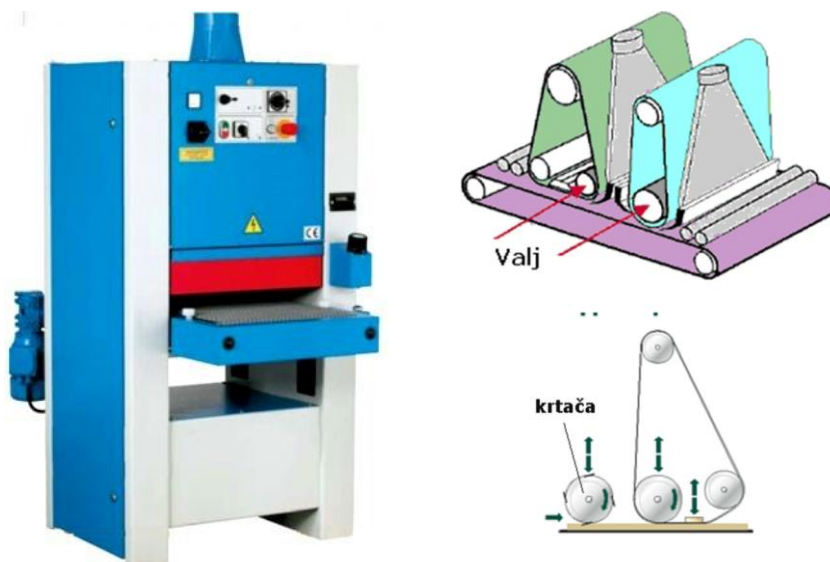
Slika 62: Horizontalni tračni brusilni stroj  
Vir: Prirejeno po Samstag K. et al., 1993, 80

- Višino brušenja nastavimo z dviganjem brusilne mize, tako da je trak nekaj milimetrov nad površino obdelovanca.
- Kladko z ročico pritiskamo na ploščo, z drugo roko pa pomikamo mizo v prečni smeri. Pri tem potrebujemo nekaj rutine, saj lahko pri premočnem pritiskanju kladice tanek furnir prebrusimo, še posebej se to hitro zgodi na robovih.
- Neskončni brusilni trak je vpet med pogonskim in gnanim valjem, ki sta v ohišju. Zgornji del traku je v zaščitnem ohišju, tako da pridemo v stik z brusilnim trakom samo v spodnjem delu.
- V zvezi z varnostjo pri delu je potrebno omeniti še, da moramo paziti na to, da ne pridemo z roko v stik s prostim delom traku in ne pritismo kladice s hitrim gibom, ker nas ročica lahko udari ali v nas odbije obdelovanec.

 Pri brušenju lesa nastaja zelo fini prah, ki ga vdihavamo, ta pa škoduje dihalom in očem. Da se zaščitimo pred prahom, moramo nositi zaščitno masko in očala.

## 7.8.2 Širokotračni brusilni stroji

Zmogljivejši stroj za ploskovna brušenja je širokotračni ali kontaktni brusilni stroj. Pri delovanju nekoliko spominja na debelinski skobeljni stroj, le da ima namesto skobeljne glave vpete široke trakove, ki enakomerno pobrusijo površino plošče.



Slika 63: Širokotračni brusilni stroj

Vir: Lasten in prirejeno po: [www.holz-metall.info/shop1/artikel2032.htm](http://www.holz-metall.info/shop1/artikel2032.htm) (10. 2. 2011)

- Brusni trakovi so napeti preko valjev. Ponavadi je vpetih več trakov, eden za drugim. Finost trakov narašča. Prvi ima, npr. granulacijo P100, drugi P120. Nekateri imajo dodan še krtačni agregat, ki po brušenju očisti prah s površine.
- Trakovi zaradi boljšega brušenja površine, odvajanja lesnega prahu in preprečevanja zažganin na površini oscilirajo v prečni smeri. To pomeni, da se trak giblje linearno vzdolžno in rahlo levo desno.

## 7.8.3 Robni brusilni stroji

Brušenje robov in krivin si zasluži posebno pozornost, saj zraven ročnega brušenja robov obstajajo tudi robni brusilni stroji, ki nam zelo olajšajo delo. Uporabljajo se valjni brusilni stroji. Valji imajo različne premere in omogočajo različne radije brušenja.



Slika 64: Robna brusilna stroja  
Vir: <http://www.felder.at> (12. 5. 2010)

#### Povzetek

Namen brušenja lesa je izravnavanje neravnin, ki so nastale pri skobljanju in rezkanju lesa, površino lesa tudi izravnamo in izenačimo debelino lesa (egalizacija). Za brušenje uporabljamo tračne in valjčne brusilne stroje.

Površine začnemo brusiti z nižjo granulacijo brusnega papirja in počasi stopnjujemo do višje.

Pri brušenju velja pravilo: « *Slabo brušeno – slabo lakirano.* » To pomeni, da se napake zaradi slabega brušenja z lakiranjem samo še poudarijo.

#### Vprašanja za ponovitev

1. Kaj pomeni številka P120, ki je napisana na brusilnem papirju?
2. Zasnuj postopke brušenja za elemente stola (noge in plošča).
3. Načrtuj potrebno strojno opremo za brušenje večjih količin ploskovno furniranih lesnih plošč.
4. Ročnega brušenja profiliranih oblik lesa je v lesni proizvodnji še veliko, kar je zamudno in naporno. Načrtuj enostaven strojček ali napravo, ki bi olajšala brušenje, npr. daljših, tanjših okrasnih letev.



[www.houfek.com/?ref=12&id=23&lang=en](http://www.houfek.com/?ref=12&id=23&lang=en) (10. 2. 2011)

[www.buetfering.de/en-en/Pages/home.aspx](http://www.buetfering.de/en-en/Pages/home.aspx) (10. 2. 2011)

## **8 TEHNOLOGIJA STROJNE OBDELAVE LESA Z RAČUNALNIŠKO VODENIMI LESNOOBDELOVALNIMI STROJI**

Razvoj numerično krmiljenih (NC) in računalniško numerično krmiljenih (CNC) strojev je povezan z razvojem računalniških sistemov nasploh (npr. prva izdelava silicijevega integriranega vezja leta 1964). Vzporedno so se močno razvijali tudi sklopi na področju mehanike, elektrotehnike in hidravlike (Vindšnurer, 1988, 15).

Kratici NC in CNC izhajata iz angleščine in pomenita Numerical Control (numerično krmiljenje) in Computer Numerically Controlled (računalniško numerično krmiljenje).

Prvi NC in kasneje CNC stroji za obdelavo lesa so se pojavili šele v 70. letih prejšnjega stoletja.

Danes najdemo računalniško vodene lesnoobdelovalne stroje praktično v vseh segmentih strojne obdelave lesa. Še večjo možnost avtomatizacije omogočajo t.i. roboti, ki se uporabljajo v nekaterih primerih obdelave lesa (npr. lakiranje, oblikovanje lesa, pakiranje ...).

Glavni razlogi, smernice in cilji pri razvoju CNC strojev so naslednji:

- povečati produktivnost in učinkovitost,
- izboljšati kvaliteto in natančnost izdelave izdelkov,
- zmanjšati stroške proizvodnje,
- izdelava zahtevnih izdelkov, ki jih ni mogoče izdelati s klasično tehnologijo.

Pri obdelavi lesa najdemo predvsem naslednje CNC stroje:

- CNC čeljenje in optimiranje lesa,
- CNC skobljanje lesa,
- CNC kopiranje zahtevnih oblik (npr. stilno pohištvo),
- CNC struženje lesa,
- CNC okvirne in korpusne stiskalnice,
- CNC stroj za razžagovanje lesa in lesnih plošč,
- CNC stroji za mozničenje,
- CNC stroji za izdelavo stavbnega pohištva,
- CNC za izdelavo bivalnega pohištva,
- CNC za obdelave robov lesnih plošč,
- CNC robljenje lesa,
- CNC brušenje lesa,
- roboti za specifične delovne operacije.

## 8.1 ZGRADBA RAČUNALNIŠKO VODENEGA OBDELOVALNEGA STROJA (CNC)

Računalniško vodeni obdelovalni stroji so si po zgradbi dokaj podobni, zato jih lahko obravnavamo skupaj.

Glavna dela CNC stroja sta dva podsistema:

- krmilni podsistem in
- mehanski podsistem.



Slika 65: Sestava CNC stroja  
Vir: Prirejeno po reklamnem materialu Homag

**Krmilni podsistem** vodi mehanski del stroja. Sestavljen je iz naslednjih enot:

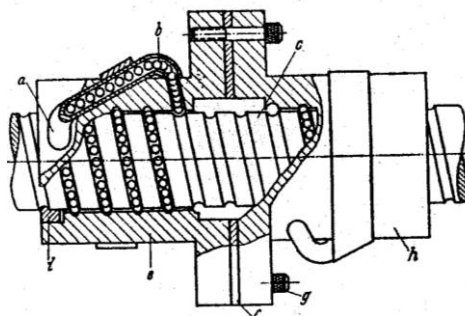
- kontrolne enote, ki nadzira delo vseh enot in sprejema povratne informacije o delovanju stroja,
- vhodnih enot (USB čitalec, tipkovnica, miška), ki bere program in omogoča vnašanje in popravljanje računalniških programov,
- računske enote, ki obdela vhodne podatke (računalnik),
- spominske enote, ki shranjuje podatke,
- monitorja,
- izhodna enota, ki pošilja ustrezno obdelane in pretvorjene podatke mehanskemu delu stroja.

**Mehanski podsistem stroja** je na prvi pogled podoben običajnemu lesnoobdelovalnemu stroju. Ima dodane nekatere naprednejše funkcije:

- avtomatični izmenjevalec orodja z zalogovnikom orodja,
- podajanje obdelovalnih supportov je izvedeno z naprednimi servomotorji in krogličnimi vijlačnimi vreteni, ki zagotavljajo izredno natančne premike supporta,
- vakuumsko vpenjanje obdelovancev,
- pozicioniranje vpenjal s pomočjo laserskih žarkov,
- izredna togost in trdnost stroja, ki onemogoča vibracije.

Mehanski del CNC obdelovalnega stroja je prilagojen vrsti stroja in vrsti obdelave, ki jo izvajamo na tem stroju.

- Kot je bilo že omenjeno, natančno obdelavo zagotavljajo predvsem natančni pomiki obdelovalnega supporta s pomočjo krogličnih vijačnih vreten in matic, ki niso v neposrednem stiku. Vmes so namreč kroglice, ki omogočajo kotalno trenje in zagotavljajo, da ni nikakršne osne zračnosti.
- Zraven omenjenih vodil se v nekaterih primerih uporabljajo še pogoni z zobato letvijo.

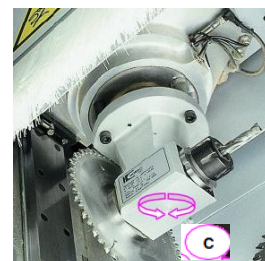
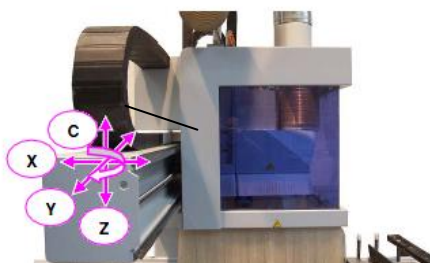
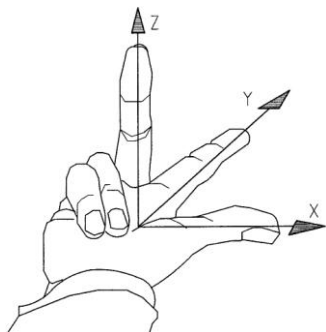


Slika 66: Kroglično vijačno vreteno in matica  
Vir: Vindšnurer, 1988, 28

- **Elektromotorji**, ki omogočajo podajanje supportov in vrtenje rezalnih orodij, morajo zagotavljati zvezno, nesunkovito pospeševanje in zaviranje, kakor tudi brezstopenjsko menjavanje števila obratov orodja (Vindšnurer, 1988). Zraven običajnih trifaznih asinhronskih elektromotorjev se uporabljajo predvsem servomotorji, ki omogočajo brezstopenjsko spreminjanje št. obratov in obojesmerno vrtenje.

## 8.2 KOORDINATNI SISTEM

Koordinatni sistem obdelave na CNC obdelovalnih strojih je določen tudi po standardu DIN 66217 in se ga upošteva pri izdelavi nekaterih CNC strojev (predvsem: rezkanje, vrtenje, struženje, žaganje) kakor tudi pri samem delu na njih. Uporablja se t.i. desnoročni kartezični koordinatni sistem.



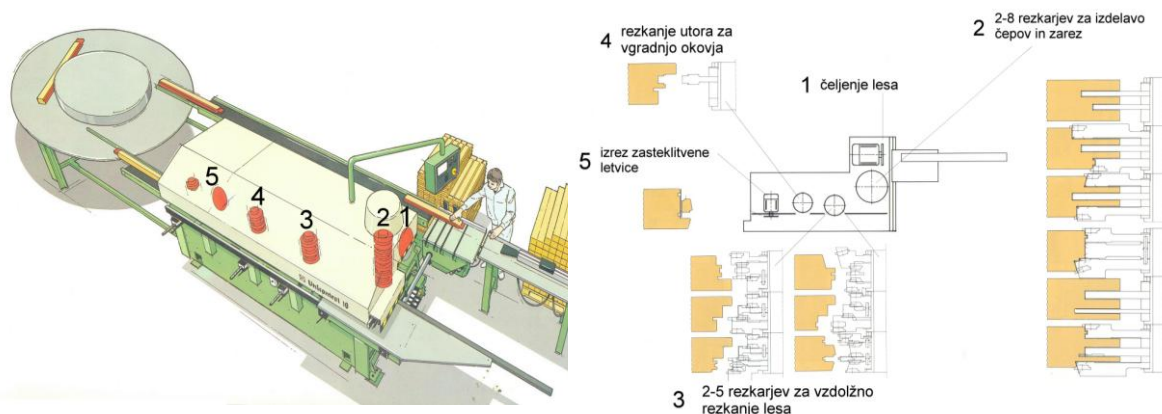
Slika 67: Desnoročni kartezični koordinatni sistem  
Vir: Reklamni materiali Homag

- Nekateri CNC lesnoobdelovalni centri omogočajo zraven osnovne obdelave v treh smereh (x,y,z) še obdelavo v dodatnih smereh (a,c). Imajo lahko dodano še četrto ali peto os. Na zgornji sliki je dodana še »c« os, ki omogoča vrtenje žagalno vrtalnega agregata.
- Desnoročnega kartezičnega koordinatnega sistema se moramo držati pri samem programiranju stroja oz. vnašanju podatkov o obdelovancu v program in vpenjanju v stroj.

### 8.3 CNC STROJI ZA IZDELAVO STAVBNEGA POHIŠTVA

Ti stroji so konstruirani tako, da se na njem izdelujejo okna in vrata. Okna in vrata bi lahko izdelovali tudi s CNC obdelovalnim centrom, ki se uporablja za izdelavo pohištva. Potrebovali bi posebne obdelovalne agregate.

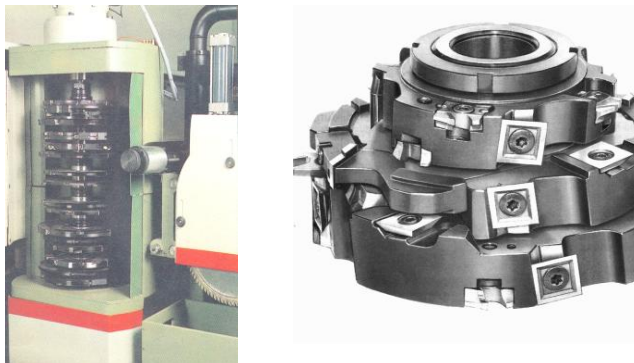
Posebni CNC stroji za izdelavo stavbnega pohištva se uporabljajo v specializiranih visoko zmogljivih obratih za izdelavo stavbnega pohištva po naročilu ali v manjših serijah.



Slika 68: CNC obdelovalni center za izdelavo stavbnega pohištva  
Vir: Reklamni material Weinig

- Delavec, ki upravlja stroj na osnovi pripravljenega računalniškega programa, vstavlja štiristransko poskobljane obdelovance na pomični vpenjalni voziček.
- Dolžino obdelovanca določi s prislonom, ki ima digitalni merilnik dolžine.
- Voziček se pomika v prečni smeri, tako da se obdelovanec čelno odžaga (1) in izreza čepno zarezna vez (2). Na enem vretenu je po višini vpetih več rezkalnih orodij (2–8). Računalnik pomika vreteno navzgor ali navzdol, tako da v določenem trenutku pride v položaj za rezkanje točno določeno rezkalno orodje.
- Sledi vzdolžno rezkanje ustreznega profila (3–4). Podobno kot pri čepljenju računalniški program postavi ustrezno rezkalno orodje v določen položaj, ki ustreza vzdolžnemu profilu obdelovanca.
- V zadnji fazi se s krožno žago izreže zasteklitvena letvica (5), ki jo kasneje uporabimo pri zastekljevanju okna.
- Enostransko obdelani kos se nato obrne za 180°, nato sledi obdelava po drugih dveh robovih. Računalnik spet poskrbi, da so vsa orodja v ustreznem položaju.

- Element okna je torej dokončno obdelan z dvema prečnima in dvema vzdolžnima prehodoma skozi stroj. Naenkrat se lahko obdelujeta dva enaka kosa. Stroj upravlja en delavec.
- Stroj omogoča tudi zunanje rezkanje zlepljenih okenskih okvirjev.
- Rezalna orodja, ki se vpenjajo v delovna vretena, so rezkalne garniture z izmenljivimi rezalnimi ploščicami.

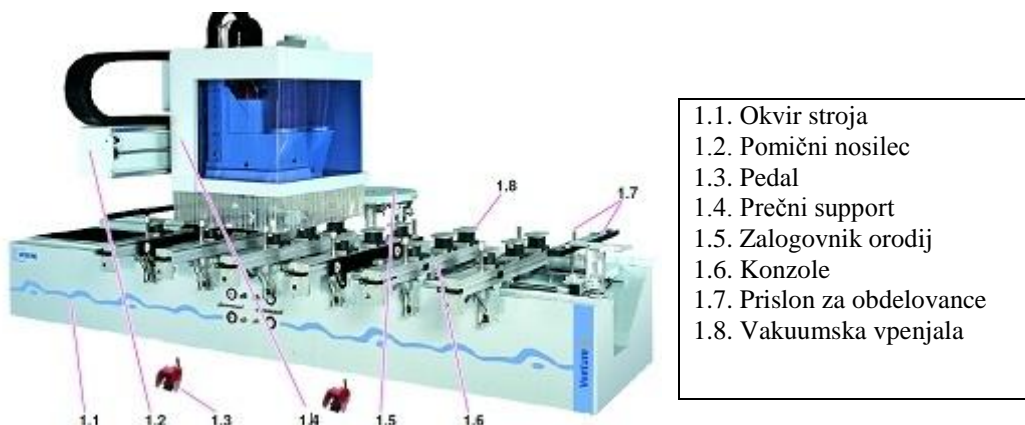


Slika 69: Vreteno z več rezkalnimi orodji  
Vira: Reklamni material Weinig in reklamni material Stehle

#### 8.4 CNC STROJI ZA IZDELAVO BIVALNEGA POHIŠTVA

Ponudba strojev za izdelavo bivalnega pohištva s pomočjo CNC tehnologije je izredno obširna. V osnovi je strojna oprema enaka. Razlike so v zmožnostih obdelave v različnih smereh in opremi oz. dodanimi obdelovalnimi agregati, ki omogočajo različne vrste obdelave.

Na primer, če izdelujemo samo pohištvo iz masivnega lesa, ne potrebujemo agregata za oblepljanje robov z ABS trakovi, zato imamo namesto tega agregate za žaganje, rezkanje, vrtanje ipd.. Izdelava stavbnega pohištva zahteva tudi drugačne agregate.






Slika 70: Sestavni deli mehanskega dela CNC stroja za izdelavo bivalnega pohištva  
Vir: Prirejeno po reklamnem materialu Homag

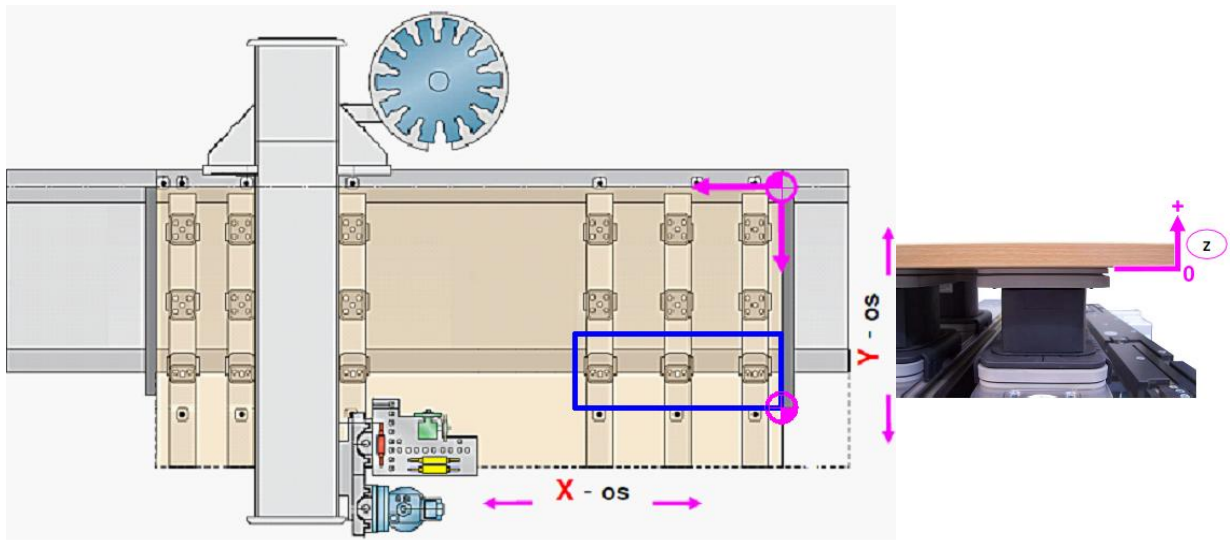
- V posebnih CAD programih narišemo obliko izdelka in vrste obdelave (rezkanja, vrtanja, žaganja, utorjenja ipd.). Večina proizvajalcev strojev ima svoje računalniške programe, ki

omogočajo vnašanje oblik in parametrov strojne obdelave. Običajno so tudi kompatibilni z drugimi CAD programi, npr. Megacad, Autocad...

➤ Krmilni del CNC obdelovalnega centra pretvori in pošlje vnesene podatke mehanskemu podsistemu.

➤ Obdelovanec vpne v lasersko pozicionirana vakuumska vpenjala, tako da je ničelna točka obdelovanca v točno določenem položaju. Strojna obdelava na CNC stroju ima vnaprej določena nekatera koordinatna izhodišča, ki jih moramo upoštevati pri programiranju obdelave in vpenjanju obdelovancev:

- ničelna točka stroja, 
- referenčna točka stroja, 
- ničelna točka obdelovanca. 



Slika 71: Primer koordinatnih izhodišč CNC obdelovalnega centra

Vir: Prirejeno po reklamnem materialu Homag

➤ Referenčna točka stroja je lahko identična ničelni točki stroja. Predstavlja izhodiščno točko za merilni sistem stroja.

➤ Ničelna točka stroja predstavlja sečišče koordinatnih osi x,y in z.

➤ Ničelno točko obdelovanca določi programer, običajno je to zunanji vogal obdelovanca.

➤ Konture strojne obdelave (rezkanja, obrezi) je potrebno narisati v enem izmed CAD programov. Sodobni CAD programi na samem stroju omogočajo enostavno in grafično podprto vnašanje parametrov strojne obdelave. Največkrat moramo zraven same oblike in dimenzij obdelovanca določiti naslednje parametre strojne obdelave:

- vrsto obdelave (rezkanje, žaganje, vrtanje, oblepljanje robov),
- koordinate in razpored izvrtin, izdolbin, utorov,
- premer izvrtin, širine utorov,
- globine izvrtin, utorov, brazd,

- št. obratov delovnega vretena, smer vrtenja delovnega vretena,
- hitrost pomika rezalnega orodja,
- vrsto orodja za posamezne operacije obdelav,
- začetne nadmere obdelovanca.

### Naredi, poišči

Poišči pomembne proizvajalce CNC obdelovalnih centrov za notranje pohištvo in opiši njihove CAD programe za programiranje.

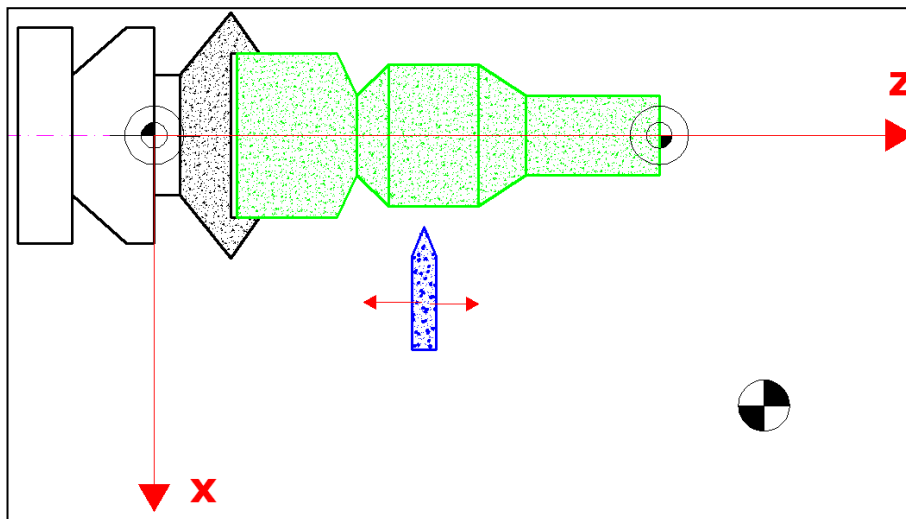
- Pred strojno obdelavo si je dobro narediti simulacijo strojne obdelave, kjer lahko še pred dejansko obdelavo odpravimo morebitne nepravilnosti v programu. V ta namen imajo stroji inštalirane posebne simulatorje strojne obdelave in gibanja orodij.
- Po vpenjanju obdelovanca sledi strojna obdelava po vnesenem programu. Stroj si sam izmenjuje in prilagaja orodja in obdelovalne agregate (zalogochnik orodja).
- Rezalna orodja, ki se v obdelovalni agregat vpenjajo preko posebnega vpenjala, so podobna tistim, ki se uporabljajo pri klasičnih lesnoobdelovalnih strojih.



Slika 72: Vpenjalo, agregat in orodji za CNC obdelovalni center  
Vira: Lasten in katalog rezalnega orodja Hapro

## 8.5 CNC STRUŽENJE LESA

CNC stružnice imajo ravninski kartezični koordinatni sistem. Os »z« predstavlja gibanje orodja v vzdolžni smeri, os »x« predstavlja smer gibanja obdelovanca (vrtenje).



Slika 73: Koordinatna izhodišča pri struženju

Vir: Lasten

- Programiranje CNC stružnice gre v smislu, da na dolžini obdelovanca (z os) določimo položaj stružnega orodja (x os). Računalniško programiramo še vrtilno hitrost vpetega obdelovanca in hitrosti pomika stružnega noža. Avtomatske stružnice imajo dodan še zalogovnik polizdelkov, iz katerega stroj avtomatizirano jemlje in vpenja stružne elemente.
- Pred obdelavo si pogledamo simulacijo struženja, da lahko še pravočasno odpravimo morebitne napake.

## 8.6 CNC STROJI ZA RAZŽAGOVANJE LESNIH PLOŠČ

Razžagovanje lesnih plošč v manjše formate se lahko opravlja na formatnih krožnih žagalnih strojih, kar smo že spoznali.

Če se lotimo razžagovanja plošč brez vsakršnega načrta (brez krojnega lista), bomo dobili zelo slab izkoristek. Razžagovanje je potrebno optimirati, torej je potrebno narisati načrt, kako bomo čim bolj optimalno razžagali plošče.

CNC žagalni stroji imajo priloženo programsko opremo, ki nam avtomatično izriše najbolj optimalne načrte razžagovanja plošč določenega formata. Načrt se prenese v krmilni del CNC stroja, ki po tem načrtu vodi mehanski del.

V primeru, da plošče ni možno optimalno izkoristiti, se ostanki shranjujejo v spomin računalnika. Ko naslednjič rabimo določen format plošče, nas program opozori, da imamo nekje ostanek iz prejšnjih razžagovanj, ki ga lahko izkoristimo.

Princip dela na tem stroju je takšen, da v računalnik vnesemo končne dimenzije plošč, ki jih želimo po razžagovanju.

Vnesti moramo še podatke o ploščah: vrsta plošče (debelina, barva ali vrsta obloge), standardni format plošč in nekatere tehnološke parametre obdelave.

Program pred samim razžagovanjem prikaže simulacijo razžagovanja plošč.

Razrez							Obrez			
El.	Poz.	Oznaka	Kos	Dolzina	Sirina	D F	predaj	zadaj	levo	desno
1	1	Stranica	4	840,0	550,0	X				
2	1	Dno, strop	2	430,0	545,0	X				
3	1	Pregrada	1	430,0	540,0	X				
4	1	Police	4	429,0	530,0	X				
5	1	Podn. let.	1	430,0	100,0	X				
6	1	Povez. let.	2	430,0	90,0	X				

10:52:19  
24.02.2011

### Plan razreza

St. narocila: Omara-2      Oznaka materiala: \*\*\*

Narocilo optimirano:  
24.2.2011 10:52:11  
2800,0 x 2070,0 x 19,0

Plattenart: O1  
Potrebna kolicina: 1  
Stevilo: 1  
Oberfläche:  

Plan razreza 1

Slika 74: Primer optimiranja razreza plošč za CNC  
Vir: Lasten

Plošča se postavi vodoravno na konzolne mize v ničelni položaj stroja. Na konzolnih mizah so vrtljive kroglice na zračnih blazinah, ki izboljšajo pomikanje plošč po mizah. Po zagonu programa stroj povleče ploščo v notranjost stroja. Mehanski del stroja nato razžaga ploščo po programu, ki smo ga vnesli v računalnik.



Slika 75: CNC stroj za razrez lesnih plošč  
Vir: <http://www.griggio.com> (24. 2. 2011)

## 8.7 CNC ČELJENJE IN OPTIMIRANJE LESA

Princip delovanja tega stroja je podoben kot pri CNC razžagovanju lesnih plošč. V strojno linijo je postavljen podmizni čelilni žagalni stroj, ki lahko ima na vhodni strani stroja integrirano posebno potisno roko ali tračni transporter za pomikanje obdelovanca v vzdolžni smeri. Na izhodni strani pa je lahko integrirana enostavna miza oz. specialna miza s tračnim transporterjem in s posebno sortirno napravo, ki nam omogoča sortiranje obdelovancev po dolžinah in kakovostnih razredih. V računalnik vstavimo program razžagovanja, ki je v bistvu seznam dolžin in števila kosov, ki jih potrebujemo. Zraven tega vnesemo še potrebne tehnološke parametre.

Program za optimiranje razžagovanja poskrbi, da je les čeljen s čim manj izgubami. Takšni stroji običajno omogočajo tri načine čeljenja lesa:

- ročni klasični način;
- čeljenje in krojenje lesa **brez napak**, kjer dobimo optimalno krojene kose in računalnik ne rabi sproti optimirati razžagovanja, ker se vsi kosi razžagajo na enak način, tako lahko krojimo več kosov lesa naenkrat;
- čeljenje in optimiranje lesa, ki **ima napake**, ki jih je potrebno izžagati in nato les optimalno očeliti oz. krojiti .

CNC optimirni čelilnik se najbolj obnese, če ga uporabljamo v zadnjem primeru. Delavec pred čeljenjem s posebno kredo označi napake, ki jih je potrebno odstraniti (grče, razpoke, barvna odstopanja ...). Pred vhomom v žagalni agregat je nameščena skenirna naprava, ki pošlje pozicijske podatke krmilnemu računalniku. Ti podatki služijo temu, da se žagin list točno v določenem trenutku dvigne iz mize in opravi čelno žaganje. Istočasno tudi izmeri razdaljo med posameznimi rezi in predlaga najbolj optimalno dolžino iz vnesenega seznama dolžin.



Slika 76: CNC stroj za čeljenje in optimiranje lesa, skenirna naprava in prikaz čeljenja  
Vir: Reklamni materiali Weinig

Zraven optimalnega razžagovanja lesa so lahko stroji kombinirani še z napravo, ki po razžagovanju kose lesa označi s podatki o dimenzijah in črtno kodo.

CNC čelilni stroji imajo popolnoma avtomatizirani pomik tudi preko 100 m/min, izredno natančnost žaganja  $\pm 0,1$  mm in izredno visoko kapaciteto čeljenja v primerjavi s klasičnimi čelilniki. Prednost je tudi v inteligentnem optimiranju razžagovanja in s tem manjšemu deležu odpadkov.

## 8.8 OSTALI CNC STROJI

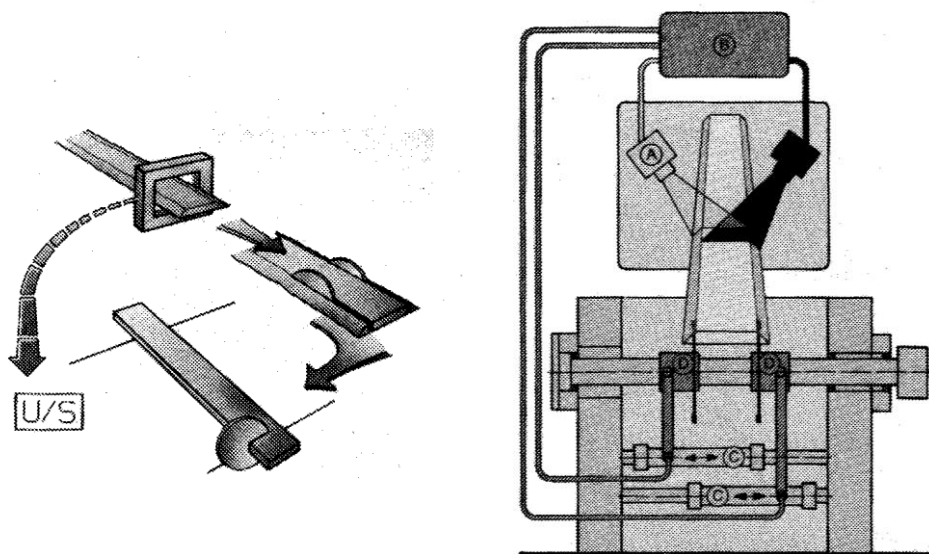
CNC lesnoobdelovalni stroji se uporabljajo še na drugih področjih:

### 1. Žaganje hlodovine na tračnih žagalnih strojih

Pred vhomom v žagalnico se hlodovina izmeri s pomočjo laserskih merilnikov. Meritve se zbirajo v računalniku, ki nato krmili mehanski del. Računalnik določi optimalno središčno os hloda in usmerja podajanje hloda in položaj tračnega žagalnega stroja tako, da se hlod optimalno razžaga.

### 2. Avtomatizirano robljenje lesa

Podatke za optimalno širino robljenja zajemajo senzorski ali laserski merilniki. Računalnik nato pozicionira žagalne agregate, tako da je odpadkov v obliki izrezanih lisic čim manj. Ta način robljenja zelo poveča izkoristek lesa po žaganju.



Slika 77: Merjenje in pozicioniranje pri CNC robilnem stroju  
Vir: Vindšnurer, 1988, 90

Zaporeden, neprekinjen in kvaliteten potek tehnoloških operacij je imperativ vsake procesne proizvodnje. Doseganje tega cilja in neprekinjeno upoštevanje tako zahtevnih pogojev predstavlja za celoten kolektiv neke procesne proizvodnje izredno odgovorno in zahtevno delo. Le človek, s pomočjo zelo razvite avtomatike, lahko usklajuje zaporedno in vzporedno vstopanje materialov v proizvodni proces, zagotavlja tehnološke pogoje v celotnem procesu v tolerančnih mejah, zagotavlja naglo ukrepanje ob izpadu kateregakoli pogona ali vira energije in medsebojno usklajuje vse procese (Vindšnurer, 1988, 153).

Strojno linijo sestavljajo: transporterji, naprave za strežbo strojev (dvižne mize, vlagalno odlagalne naprave) in obdelovalni stroji.

Osnovni cilji povezovanja strojev v strojne linije so:

- skrajševanje izdelavnih časov, povečevanje produktivnosti,
- zmanjševanje potrebnega števila delavcev,
- enostavnejše in natančnejše planiranje kapacitet,
- zmanjševanje potrebnih proizvodnih površin.

Lesna industrija ima značilnost, da je veliko tehnoloških postopkov primernih za povezavo v strojne linije, ker je čas posameznih faz sorazmerno kratek in so operacije enostavne.

Težave predstavljajo tudi nepričakovane okvare strojev v liniji, ker okvara posameznega stroja povzroči zastoj celotne proizvodne linije.

Največ težav predstavlja nastavljanje mozničnih strojev, ki ob vsaki spremembi traja več ur.

Vzporedno z razvojem strojnih linij so se morali razvijati tudi novi merilni sistemi, ki omogočajo pretočno merjenje tehnoloških parametrov (tehtnice, vlagomeri, merilniki dimenzij ...), saj se obdelovanci ves čas gibljejo.

Že v uvodu poglavja smo našli čez deset vrst strojnih linij, ki se uporabljajo v lesni industriji. Gotovo jih obstaja še več, vendar se bomo omejili le na nekaj primerov, ker vseh vrst in kombinacij ni mogoče ali ni smiselno obravnavati. Obravnavali bomo dva tipična primera povezovanja opreme v strojne linije.

#### Povzetek

Računalniško vodena tehnologija se je pričela uvajati šele v zadnjih štiridesetih letih, kar je posledica hitrega razvoja računalniških in mehatroničnih sklopov.

Računalniško vodeni stroji povečujejo produktivnost proizvodnje, izboljšujejo kvaliteto strojne obdelave, zmanjšujejo stroške proizvodnje in omogočajo izdelavo zahtevnejših izdelkov. Stroški investicije so visoki.

Zgrajeni so iz krmilnega in mehanskega podsistema. Programiramo jih na osnovi desnoročnega kartezičnega koordinatnega sistema s posebnimi (CAD-CAM) programi.

V lesarstvu se največkrat pojavljajo CNC stroji pri izdelavi stavbnega in bivalnega pohištva, razžaganju lesnih plošč in optimiranju lesa.



#### Vprašanja za ponovitev

1. Utemelji, v kakšnih primerih je smiselna vpeljava CNC tehnologije v obdelavo lesa.
2. Katere so glavne prednosti in pomanjkljivosti CNC tehnologije?
3. Kakšna je funkcija mehanskega in kakšna krmilnega podsistema CNC stroja?
4. Opiši desnoročni kartezični koordinatni sistem. V katerih oseh je mogoča obdelava lesa s CNC stroji?
5. Utemelji razloge, zakaj bi namesto klasičnega razžaganja plošč na formatnem krožnem žagalnem stroju plošče razžagovali na CNC stroju za razžaganje plošč.
6. Oцени prednosti čeljenja lesa na CNC čelilniku.



<http://www.homag.com/de-de/Seiten/home.aspx> (24. 2. 2011)

<http://www.biesse.com/Corporate/en/MainTechnology/Workings.aspx>

(24. 2. 2011)

<http://www.masterwood.com/EN/Products.html> (24. 2. 2011)

<http://www.weinig.com/C1256F98005C541E/CurrentBaseLink/N2694RW7748GPERDE>

(24. 2. 2011)

[http://www.scmgroup.com/viewdoc.aspx?co\\_id=1754](http://www.scmgroup.com/viewdoc.aspx?co_id=1754) (25. 2. 2011)

<http://www.griggio.com/> (25. 2. 2011)

<http://www.maka.com/cms/main/cncholzbearbeitung.0.html> (25. 2. 2011)

## 8.9 ROBOTI V LESNI INDUSTRIJI

Roboti so se v določene faze obdelave lesa začeli uvajati vzporedno z razvojem robotizacije na drugih področjih, predvsem v avtomobilski industriji.

Osnovni razlogi za avtomatizacijo in robotizacijo so:

- zniževanje stroškov,
- razbremenitev človeka ter zagotavljanje zmogljivosti in kakovosti proizvodnje,
- skrajševanje časa izdelave, večanje zmogljivosti in zniževanje proizvodnih stroškov (Perme, T., 2006).

Smiselno jih uporabljamo tudi pri izdelavi oblikovno in tehnično kompleksnih izdelkov, ki jih z drugačnimi tehnologijami ne moremo.

Podjetja gledajo na avtomatizacijo in robotizacijo predvsem z vidika prihrankov in stroškov, vse bolj pa tudi kot na priložnost (p)ostati konkurenčen oziroma na investicijo, ki to omogoča. V to jih sili tudi vse dražja delovna sila, kar so v najbolj razvitih industrijskih državah spoznali že v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, ko so uspeli z vlaganjem v avtomatizacijo in robotizacijo obdržati predvsem visokotehnološko in razvojno usmerjeno proizvodnjo, da se ni preselila v države s cenejšo delovno silo (Perme, T., 2006).

Perme (2006) ocenjuje, da je dobrih 40 % industrijskih robotov namenjenih posluževanju strojev, približno 20 % varjenju in ena šestina montaži. Sledijo še uporaba robotov za nanos lepil in drugih mas ter lakiranje. Približno 5 % robotov izvaja operacije, kot so brušenje, poliranje, rezanje, odstranjevanje srha in podobno. Dober pokazatelj industrijske razvitosti države je razmerje med številom industrijskih robotov in številom zaposlenih v industriji

V lesni industriji se roboti načeloma lahko uporabljajo za večino tehnoloških operacij.



Slika 78: Industrijski robot

Vir: [http://www.kuka-robotics.com/res/sps/a737ee03-5832-4c95-9d91-84e0de80c664\\_Ideenkatalog\\_it.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/a737ee03-5832-4c95-9d91-84e0de80c664_Ideenkatalog_it.pdf) (16. 1. 2011)

Največkrat se uporabljajo pri naslednjih tehnoloških fazah obdelave, kjer olajšajo težaška in škodljiva dela:

- lakiranje pohištva,

- oblikovanje in izdelava zahtevnih 3D oblik,
- prelaganje oz. manipulacija težjih bremen,
- pakiranje pohištva oz. embaliranje,
- posluževanje CNC strojev.

Roboti imajo obliko roke, ki omogoča kompleksne premike v treh smereh. Lahko se vpenjajo različna obdelovalna orodja in prijemala.

Do danes so industrijski roboti prodrli že na številna področja. Industrijska veja, ki je kot prva potrebovala in uporabila industrijski robot, je avtomobilska industrija, v kateri so industrijski roboti še vedno najbolj množično zastopani. Nekoliko za avtomobilsko industrijo se uvršča industrija elektronike. V zadnjem času pa tržni delež prodaje industrijskih robotov ekstremno raste tudi v drugih panogah (Kosec, 2008, 5).

Kot navaja Kosec (2008, 7–10), je največ robotov vgrajenih v azijskih državah (Japonska, Koreja), sledi Evropa (Nemčija, Italija) in Amerika.

Roboti so mehanično dovršeni stroji z umetno inteligenco. To pomeni, da so se zraven popolnoma natančnih ponavljajočih gibov sposobni tudi »obnašati« v skladu z okoliščinami, ki se v nekem trenutku spremenijo in jih registrirajo s svojimi umetnimi čutili (senzorji).

Zraven industrijskih robotov srečujemo tudi hišne robote, ki opravljajo nekatera gospodinjska dela (sesanje, čiščenje, košnja trave ...) ali pomagajo telesno prikrajšanim ljudem. Zelo znani so tudi roboti, ki se uporabljajo za operativne posege v medicini.



#### **Naredi, poišči**

Na spletu poišči statistične podatke, koliko industrijskih robotov se letno na novo uvaja v posameznih regijah sveta.

### **8.9.1 Sestava in programiranje robotov**

Tipičen industrijski robot je sestavljen iz številnih ločenih sistemov:

- osnovna konstrukcija in mehanična roka,
- gonilni sistemi – naprave, ki razvijajo gonilno silo in povzročajo gibe robota (motorji, zavore),
- krmilnik – vodi in koordinira robotsko celico (krmilnik, računalnik, umetna inteligenca, adaptivnost),
- senzorji – oskrbujejo robota z informacijami o lastnem položaju in o tem, kar dela (sile, momenti, pospeški, hitrost, pomik, umetni vid itd.).

Našteti sistemi so med seboj popolnoma odvisni; senzorji na primer izmerijo neko fizikalno veličino ali gib in vrnejo električni signal nadzornemu krmilniku, ki pošlje gonilom signal, kaj in kako je potrebno premakniti robotsko roko. (Kosec, 2008, 13).

Pomemben podatek industrijskega robota je število prostorskih stopenj. Ta podatek nam pove, v koliko oseh se je robotska roka sposobna gibati. V primerjavi s človeško roko bi najbolj napreden šeststopenjski robot imel šest osi, in sicer po dve v rami, podlakti in zapestju.

Robotske roke so opremljene z izvajalnikom (»prsti«), ki omogoča splošna opravila, kot so prijemanja, prenašanja predmetov. Za točno določena in specifična dela imamo namesto izvajalnika na koncu roke pritrjena konkretna orodja (brizgalna pištola, varilna pištola, vakuumska, magnetna prijemala, kljuge ipd.).

Za pogon posameznih sklopov robota se uporabljajo servomotorji, koračni motorji, hidravlični sistemi (težja bremena) in pnevmatski sistemi (hitri pomiki roke).

Senzorji so zelo pomembni sestavni deli robota, poznamo več vrst senzorjev:

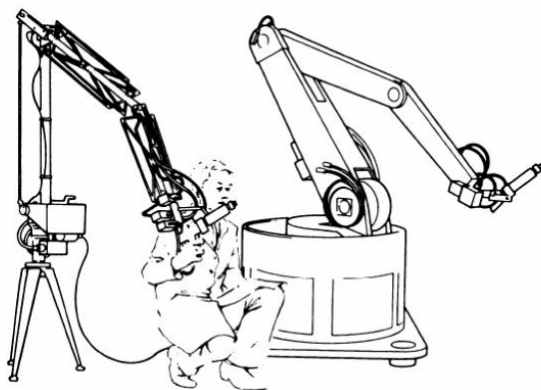
- optični senzorji (kamere in svetlobne celice, ki zaznajo sliko in jo nato pretvorijo v električne signale, ki robota ustrezno usmerjajo),
- tipala (dotik z mikrostikalom nepredvidenega predmeta sproži ustrezne korekcije gibanja),
- senzorji zvoka (robot reagira na zvočne ukaze operaterja).

Programiranje robota zahteva visoko usposobljene kadre (inženirje). Res je tudi, da proizvajalci robotov težijo k temu, da so postopki programiranja uporabniku čim bolj prijazni. Razen tega je možnost testiranja programov na simulatorjih, kjer lahko postopke preverimo, preden pride do praktične uporabe in s tem povezanih nepredvidenih dogodkov (lom orodja ali stroja).

V procesu programiranja gre za to, da robot »naučimo« izvajanja določenih gibov in operacij. V bistvu ga moramo naučiti, da se giblje po določeni poti med točkami, v katerih mora opraviti določeno delo (sprostiti brizganje laka, vklopiti vakuumsko prijemalo ipd.).

Kosec (2008) opisuje tri načine programiranja robotov

- 1. Ročno učenje točk;** operater vodi vrh pasivnega ali aktivnega robota po prostoru in shranjuje pomembne točke v pomnilnik računalnika. Ta način je primeren za manjše robote in enostavnejše delovne postopke.
- 2. Učenje med vodenim gibanjem – s pomočjo ročne konzole;** s pomočjo ročne konzole operater vodi gibanje robota, računalnik shranjuje potrebne točke in aktivnosti. Temu načinu pravimo tudi učenje z vzgledom. Robot nato ponavlja gibanja, položaje orodja in aktivnosti, ki jih je prej fizično, preko konzole in sprožilca, izvajal operater (npr. izkušen lakirec). Takšnega robota preprogramiramo tako, da mu pokažemo vedno nove postopke, npr. zamenjamo obliko in velikost omare. Ta način programiranja je neprijeten in nevaren. Zaradi tega so proizvajalci robotov razvili t.i. lahke učne roke, ki nimajo pogonov, zato operater lažje in varneje izvaja učenje. Lahka roka je povezana s pravo roko robota, ki popolnoma posnema gibanja »učne« roke in shranjuje podatke.



Slika 79: Učenje z vodenjem lahke učne roke

Vir: Kosec, 2008, 55

- 3. Posredno programiranje – programiranje s pomočjo računalnika;** programer izdelava program v specialnem računalniškem programu, brez stika z robotom. Program

se preizkusi na simulatorju. Za takšno programiranje potrebujemo specialna znanja, ustrezno programsko opremo in zmogljivo strojno opremo (računalnik).

Ti trije načini programiranja so primerni za programiranje industrijskih robotov, ki največkrat samo ponavljajo določene naučene gibe in operacije.

Roboti, ki imajo vgrajeno t.i. umetno inteligenco, potrebujejo drugačne načine programiranja in sodijo v najvišji nivo programiranja.

#### Povzetek

Roboti se uvajajo v proizvodnjo predvsem tam, kjer zamenjujejo človekovo delo na zdravju škodljivih, monotonih ali fizično zahtevnih delovnih mestih. Zraven razbremenjevanja človeka roboti opravljajo dela, kjer se zahteva izdelava zelo zahtevnih oblik, ki jih z drugimi postopki težko izdelamo.

Prednosti so v zelo natančni in vnaprej predvideni delovni aktivnosti. Število robotov v razmerju s številom zaposlenih v industriji je indikator razvitosti neke države.

Industrijske robote je potrebno »naučiti« izvajanja delovnih operacij, kar se lahko naredi na tri načine: ročnim učenjem točk, učenjem med vodenim gibanjem in s posrednim programiranjem. Roboti višje tehnološke stopnje imajo vgrajeno umetno inteligenco.



#### Vprašanja za ponovitev

1. Utemelji, zakaj in na katerih področjih strojne obdelave lesa bi bila smiselna uvedba robotov.
2. Zraven industrijskih robotov srečamo robote še na drugih področjih. Na katerih?
3. Kako poteka programiranje oz. učenje robotov?



[http://irt3000.ecetera.net/P/PDF/IRT3000\\_st6\\_2006AI.pdf](http://irt3000.ecetera.net/P/PDF/IRT3000_st6_2006AI.pdf) (16. 1. 2011)

[http://www.irt3000.si/data/revije/stevilka\\_27\\_2010/27\\_Junij\\_automatizacija.pdf](http://www.irt3000.si/data/revije/stevilka_27_2010/27_Junij_automatizacija.pdf)

(17. 1. 2011)

## 9 REZANJE Z VODO

Obdelava materiala z vodo se je v 60. letih prejšnjega stoletja najprej začela uporabljati v rudarstvu.

V zgodnjih 60. letih je O. Imaka s tokijske univerze uporabil vodni curek v industriji, konec šestdesetih pa je R. Franz z univerze v Michiganu uporabil visokohitrostni vodni curek za rezanje lesa (Jan, 2001, 26).

Vodni rez (ang. Water Jet Cutting, nem. Wasserstrahlschneiden) je eden najbolj učinkovitih in vsestranskih načinov rezanja materialov. Materiali, ki so bolj homogeni, se lepše režejo z vodnim curkom. Primeren je za rezanje skoraj vseh materialov:

- kovine (jeklo, aluminij, baker...),
- les,
- guma,
- pluta,
- nekaljeno steklo,
- kamen,
- penasti materiali,
- kompozitni materiali (sestavljani iz več slojev različnih materialov, npr. smuči),
- plastični materiali,
- gradbeni materiali,
- keramične ploščice ipd..

Ena glavnih prednosti rezanja z vodo je v tem, da se področje reza minimalno segreva in zaradi tega ne spreminja strukture, rezi obdelovanca so ostri, kar je pomembno predvsem pri razrezovanju kovinskih materialov.

V primerjavi z laserskim rezanjem ne nastajajo strupeni plini.

Vodno rezanje delimo v dve skupini

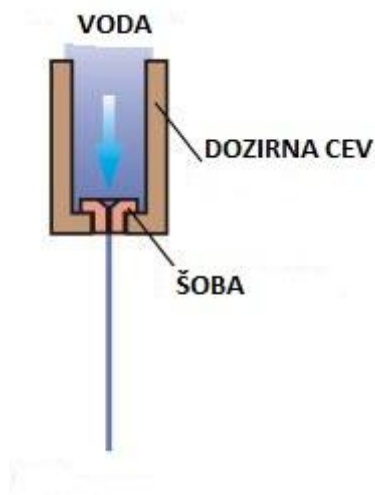
1. **Vodno rezanje (VC)**
2. **Abrazivno vodno rezanje (AVC).**

V obeh primerih gre za podoben postopek. Vodno rezanje (VC) je rezanje samo z vodnim curkom pod velikim tlakom, abrazivno vodno rezanje (AVC) pa je enako vodnemu, le da vodi dodajamo abrazivno sredstvo.

Rezalna glava je vodena z računalnikom podobno kot pri že opisanih CNC obdelovalnih centrih. Mogoča je obdelava v več oseh.

### 9.1 OBDELAVA Z VODNIM CURKOM – VC

Curek nastane tako, da vodo pod visokim tlakom (500–7000 bar) potisnemo skozi šobo majhnega premera (0.1–0.3 mm). Tam se tlačna energija pretvori v kinetično. Curek tako dobi visoko hitrost med 500 in 900 m/s (do 3200 km/h). Kljub tako visoki koncentraciji energije pa na takšen način lahko režemo le mehkejše materiale (organska tkiva, tkanine, umetne mase ipd.) ali pa odstranjujemo barve, rjo, beton ipd..



Slika 80: Vodno rezanje – VC

Vir: Prirejeno po <http://www.strahltechnik.ch/index.php?page=162> (21. 1. 2011)

## 9.2 OBDELAVA Z ABRAZIVNIM VODNIM CURKOM – AVC

Zaradi dodatka abrazivnih zrn visoke trdote je možno z njim rezati skoraj vse vrste materialov ne glede na njihove lastnosti.

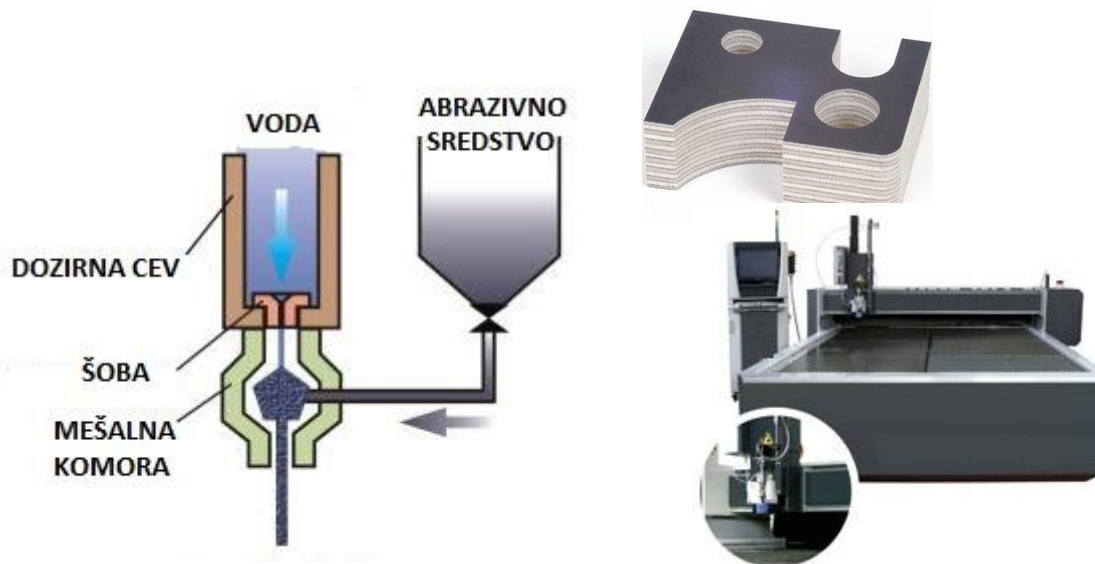
Šoba je izdelana iz izjemno trdega materiala (10-krat trši od jekla), ker bi jo drugače abraziv zelo hitro uničil. Sama rezalna glava je sestavljena iz vodne šobe, kjer se najprej tvori visokohitrostni vodni curek, ki gre skozi mešalno komoro, v katero se dovaja abrazivne delce. Pod mešalno komoro je nameščena fokusirna šoba, kjer abrazivni delci pospešujejo do hitrosti, ki omogočajo odnašanje materiala obdelovanca. Abrazivni delci se dovajajo v mešalno komoro preko sistema za dovod abraziva. Zaradi visokohitrostnega vodnega curka se ustvari podtlak, kar ima kot posledico vsesavanje zraka skozi dovod abraziva.

Tok zraka ima pomembno funkcijo transporta abraziva v mešalno komoro in začetnega pospeševanja abraziva. Običajno je obdelovanec vpet na delovno mizo, podajalno gibanje pa opravlja rezalna glava (orodje), ki je pritrjena na pozicionirni sistem. Celoten sistem za obdelavo z AVC je računalniško krmiljen, optimalne obdelovalne parametre (podajalna hitrost, tlak vode, masni tok abraziva) pa se lahko določi iz baz podatkov ali s pomočjo ekspertnega sistema. V obeh primerih je nastavitvev procesnih parametrov odvisna od materiala in debeline obdelovanca, geometrije konture in zahtevane kvalitete obdelave.

Pri obdelavi z AVC je potrebno poudariti, da obdelovanec pride v stik z vodo, kar je potrebno upoštevati pri materialih občutljivih na vodo. Pri rezanju lesa imamo drugačno podlago. Z razliko od navadnega vodnega rezanja lahko z abrazivnim vodnim curkom režemo materiale večjih debelin.

Abrazivna zrnca so izdelana iz kovinskih ali nekovinskih materialov:

- oksidi (korund oz. aluminijev oksid, kremenčev pesek oz. silicijev oksid),
- silikati (granat, cirkonijev silikat),
- zdrobljena žindra, jeklene in steklene kroglice.



Slika 81: Vodno abrazivno rezanje – AVC

Vir: Prirejeno po <http://www.strahltechnik.ch/index.php?page=162> (21. 1 .2011)

Povzetek


Rezanje materialov z vodnim curkom je sorazmerno nov postopek obdelave materialov, ki ima svoje korenine v rudarstvu.

Osnovni princip delovanja vodnega rezanja je v tem, da s posebnimi visokotlačnimi črpalkami in ozkimi šobami na izhodu dosežemo izjemno visok pritisk vode, ki s silo curka razdvaja različne kovinske in nekovinske materiale.

Prednosti tega postopka so v tem, da ne potrebujemo dragih rezalnih orodij, rezanje je hladno (ni pregrevanja materialov), rezalni robovi so ostri in vpenjanje obdelovancev je enostavno.

Slabost tega postopka, z vidika rezanja lesa, je v tem, da moramo preprečiti stik večje količine vode z lesom, ki je higroskopičen material.

Znana sta dva postopka rezanja z vodnim curkom. Pri prvem imamo kot rezalni medij samo vodo (VC). Za bolj zahtevna in uspešnejša rezanja pa vodnemu curku dodajamo abrazivna sredstva (AVC). Gibanje rezalnega agregata krmili in nadzira računalnik.

 **Vprašanja za ponovitev**

1. Kritično oceni prednosti in pomanjkljivosti uporabe AVC rezanja z vodo pri rezanju lesa.
2. Kakšna je razlika med VC in AVC rezanjem?
3. Opišite princip rezanja materialov z vodnim curkom.



<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/raziskave/awj/VodniCurekNamestoOrodja.pdf>

(22. 1. 2011)

<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Mehanski%20postopki%201.pdf> (22. 1. 2011)

<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Mehanski%20postopki%202.pdf> (22. 1. 2011)

## 10 UPORABA LASERSKE TEHNOLOGIJE V LESARSTVU

Rezanje z laserjem je termični postopek razdvajanja kovinskih in organskih materialov, kamor sodi tudi les. Prednosti postopka ležijo predvsem v natančni in hitri obdelavi.

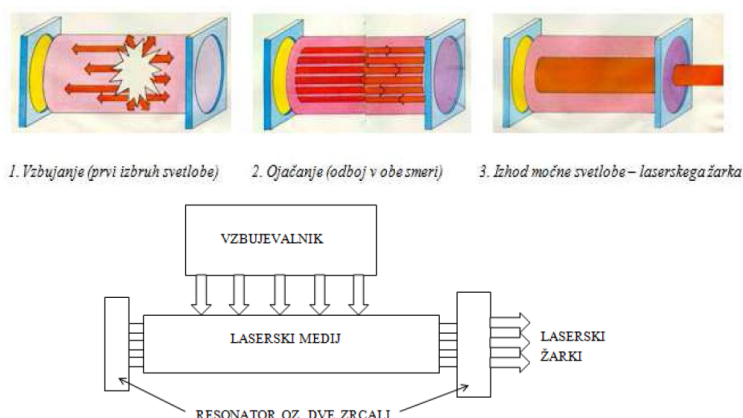
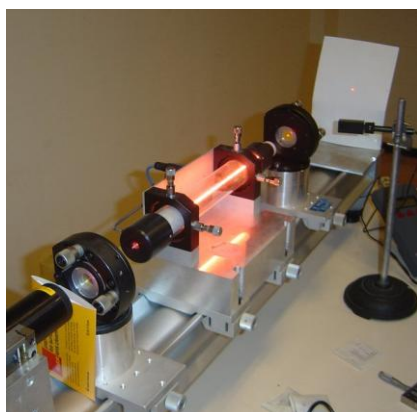
Glavna slabost je v tem, da se področje reza močneje segreva, zaradi tega se spreminja kemična struktura kovin, pri lesu pa se to opazi v obliki zažganin (kemična degradacija). Pri rezanju se tudi sproščajo strupeni plini. Razen tega je debelina rezanja omejena zaradi pregrevanja področja reza.

V lesarstvu se laserska tehnologija uporablja večinoma v naslednjih primerih:

- rezanje kompleksnih oblik tanjših obdelovancev (npr. furnirske plošče, furnir),
- izrez lesenih številčk in črk,
- graviranje na les,
- izdelava intarzij,
- merjenja razdalj,
- označevanje ravnih linij pri različnih montažah,
- označevanja smeri gibanja rezalnega orodja,
- kot senzorji za krmiljenje naprav.

⚠ Laserska tehnologija se uporablja še na drugih področjih, zelo veliko se uporablja tudi v medicini, npr.: laserski kirurški nož, zdravljenje zob (namesto vrtanja), korekcija dioptrije pri očesnih operacijah, plastična kirurgija (odstranjevanje izrastkov in tetovaž na koži) ...

Laser (ime prihaja iz angleškega akronima LASER; *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, torej »ojačevanje svetlobe s spodbujanim sevanjem valovanja«) je naprava, ki za vir energije uporablja pojav stimuliranega sevanja (emisije) in ojačanja svetlobnega sevanja. Lastnosti laserske svetlobe so: velika intenziteta, pravilna porazdelitev intenzitete po preseku žarka, majhna divergenca, koherentnost in značilna valovna dolžina (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Laser>, 14. 1. 2011).



Slika 82: Laserki žarki

Vira: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Laser> (14. 1. 2011) in Dvorjak, 2010, 6

Za osnovno razumevanje delovanja laserja se moramo spustiti na nivo osnovnih delcev (atomov) in poznati osnove narave svetlobe.

Če nastanek laserskih žarkov opišemo karseda enostavno, laserski žarek nastane zaradi namernega vzpodbujevanja osnovnih delcev (atomov oz. elektronov s fotoni), ki prehajajo med različnimi energijskimi stanji (višjimi in nižjimi). Med prehajanjem z višjega na nižji nivo oddajajo fotone, ki jih usmerjamo v cevi, ki ima na obeh straneh zrcalo. Zaradi stimulacije prehajanja elektronov med različnimi energetskimi stanji se curek svetlobe vedno bolj krepí in usmerja. Če žarek spustimo skozi majhno režo stene laserja, se formira zelo močan in ozek laserski žarek, ki ga izkoristimo za obdelavo materialov.

Laserski mediji so različni plini, ki imajo zraven rezalne funkcije tudi funkcijo izpihovanja taline, ki nastane pri termični obdelavi materialov. Nekateri laserji imajo medij v trdnem ali tekočem agregatnem stanju.

Vrste plinov:

- **laserski plini**; predvsem pri CO<sub>2</sub> laserju, kjer imamo v resonatorju mešanico CO<sub>2</sub>, He in N<sub>2</sub>);
- **ventilacija poti laserskega žarka** – dušik, preprečuje dostop prašnih delcev na optični poti;
- **rezalni in pomožni plini**: kisik, dušik, argon, helij. Izbira plina je odvisna predvsem od materiala, ki ga režemo in kvalitete rezanja.

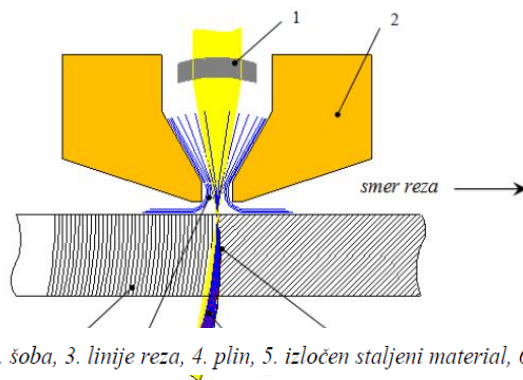
Pritisk plina vpliva na izpihovanje taline. Za boljšo kvaliteto in večje debeline je potrebno dovajati več plina.

Laser je torej v osnovi sestavljen iz:

- laserskega medija, ki oddaja svetlobo ,
- resonatorja (cev z dvema zrcaloma), ki zbira svetlobo in
- vzbujevalnika, ki dovaja potrebno energijo za vzbujanje medija.

## 10.1 LASERSKO REZANJE MATERIALOV

V industrijski proizvodnji je med laserji najbolj razširjen in najpomembnejši ogljikov-dioksidni laser (CO<sub>2</sub>). Njegove izrazite prednosti so v veliki kontinuirani moči, dobri kakovosti žarka ter učinkovitosti, zaradi tega se uporabljajo za: toplotno obdelavo kovin, varjenje, rezanje, vrtanje, rezkanja, označevanje, perforiranje, oblaganje, krivljenje in pretaljevanje. Pri vpadu laserskega snopa na površino obdelovanca se del energije odbije, drugi del pa absorbira v notranjost plasti nekaj µm globoko v osnovni material, ki se zaradi tega stali ali pa celo upari. Pomožni plini ta pretaljen material odstranijo (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Laser>, 14. 1. 2011 ).



1. laserski žarek, 2. šoba, 3. linije reza, 4. plin, 5. izločen staljeni material, 6. rezalna linija

Slika 83: Rezalni proces pri laserskem rezanju  
Vir: Dvorjak, 2010, 15

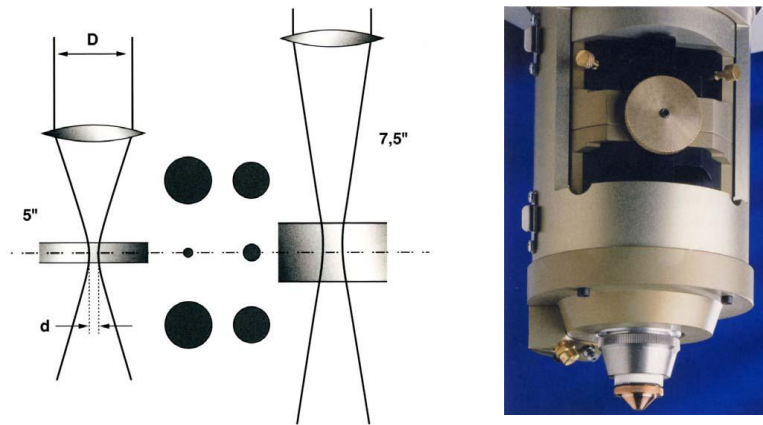
Izmenljive šobe imajo premer od 1.0 do 1.4 mm (manjše šobe za tanjše materiale). Tlak izpihovalnega plina se lahko vzpostavi v šobi ali izven nje.

Laserska obdelava je termičen postopek. Žarek, kot izvor sevalne energije, je fokusiran na ali pod površino obdelovanca. S fokusiranjem dosežemo zadostno površinsko gostoto moči, da se material segreje, stali in v končni fazi upari. Material del energije v obliki svetlobe določene valovne dolžine (odvisno od laserskega medija) absorbira v obliki toplote, del jo odbije, del pa jo lahko tudi prepusti skozi. Absorbirana energija žarka je transformirana v toploto preko vibracij molekularne zgradbe (kristalne rešetke) v materialu. Vibracije v kristalni rešetki povzročijo povišanje temperature na mestu interakcije.

Lasersko rezanje je kombinacija gorenja oz. taljenja materiala ter izpihovanja odstranjenega materiala. Pri procesu laserskega rezanja sodeluje curek rezalnega plina. Dovajamo ga soosno z žarkom, v posebnih primerih pa tudi od strani ali s spodnje strani obdelovanca. Curek plina ima poleg fizikalno kemijskega učinka (pospeševanje gorenja) nalogo izpihovanja raztaljenega gradiva iz rezalnega kanala (<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf>, 22. 2. 2011).

Za lasersko rezanje materialov so pomembni določeni parametri:

- **laserska moč** (W oz. kW); hitrost rezanja narašča linearno z močjo, za rezanje kovinskih materialov se uporabljajo laserji moči od 1.0 do 6.0 kW, za razrez lesenih tvoriv so potrebne nižje moči;
- **fokusiranje laserskega žarka**; večja goriščna razdalja daje laserske žarke večjih premerov, ki so primerni za rezanje debelejših materialov in obratno;



Slika 84: Fokusiranje laserskega žarka in rezalna glava

Vir: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf> (22. 2. 2011)

- **plinski parametri**; oblika in dimenzije šobe ter oddaljenost šobe od obdelovanca (od 1.0 do 1.5 mm);
- **procesni parametri**; debelina plošče, vrsta materiala, podajalna hitrost.

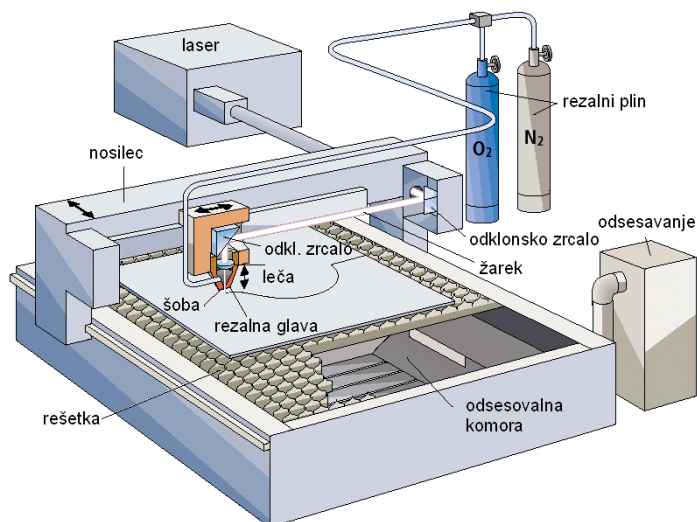
Gibanje rezalne glave krmili računalnik, podobno kot pri ostalih CNC obdelovalnih strojih. Stroj je potrebno programirati, tako da se vnesejo poti in konture obdelave in vsi potrebni parametri, ki smo jih našteali zgoraj.

Učinkovitost laserske obdelave je odvisna od **termičnih in, v določeni meri, optičnih lastnosti materiala**, ne pa od mehanskih lastnosti. Lahko obdelujemo krhke, trde in mehke materiale, ki imajo ustrezne termične lastnosti, kot so, npr. nizka toplotna prevodnost. Prav obdelava širokega spektra materialov odlikuje lasersko rezanje (<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf>, 22. 2. 2011).

#### Vrste laserskega rezanja:

- lasersko sublimacijsko rezanje,
- lasersko talilno rezanje in
- lasersko plamensko (oksidacijsko) rezanje.

Za rezanje lesa se uporablja predvsem lasersko sublimacijsko rezanje, ker povzroča manjšo hrapavost površine reza in nižjo toplotno prizadetost materiala. Ostale tehnike so primerne za rezanje kovinskih materialov.



Slika 85: Primer stroja za lasersko rezanje

Vir: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf> (22. 1. 2011)

Stroški laserskega rezanja so večji kot pri vodnem rezanju:

- višji stroški investicije v strojno opremo,
- višji stroški rezalnega medija (plin) v primerjavi z vodo.

Moteče so lahko zažganine na robovih kot posledica pregrevanja lesa.

## 10.2 LASERSKO GRAVIRANJE

Graviranje s pomočjo laserske tehnologije omogoča izdelavo 2D ali 3D gravur. Graviranje na les je običajno 2D graviranje. 3D graviranje se uporablja predvsem za oblikovanje kovinskih in steklenih materialov.

Za graviranje so zraven lesa primerni še nekateri drugi materiali:

- steklo (graviranje: kozarci, steklenice – tudi polne, ornamenti na steklu),
- pleksi steklo – akril (graviranje, rezanje),
- plastika,
- tekstil,
- usnje,
- guma,
- kamen,
- nekatere vrste pene,
- kovinski materiali (jeklo, aluminij, baker ...).

V materiale, ki dobro absorbirajo valovno dolžino laserja, lahko graviramo precej globoko (laser marking), na drugih materialih (npr. les) pa je deformacija le na površini in je bolje uporabljati izraz označevanje (laser engraving).

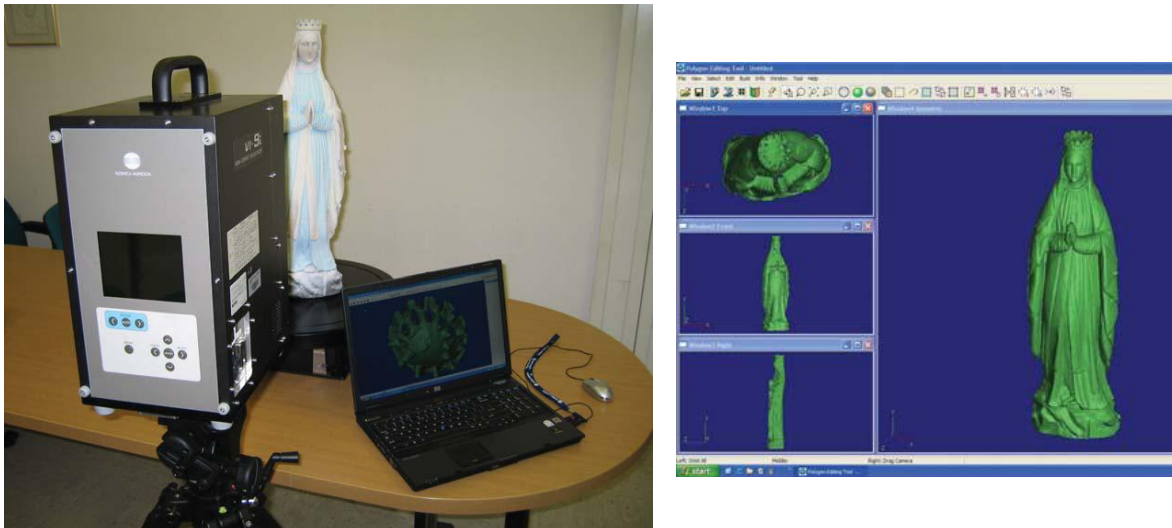
Za graviranje na gravirnih strojih potrebujemo vhodne podatke, ki so običajno slike, risbe ali dokumenti v različnih standardiziranih formatih, npr. PLT, DXF, BMP, JPG, GIF, PGN, TIF, AI, EPS, EMF, PDF ...

Nekateri podatki morajo biti v vektorski obliki (DXF in PLT), če izvajamo rezanje. Za graviranje rabimo rasterske oblike (TIF, JPG ...). Nekatere datoteke so kombinacije vektorske in rasterske oblike (EMF).

### 10.2.1 Skeniranje 3D objektov in 2D oblik

Zelo zanimivo je nekontaktno skeniranje 3D oblik, kjer dobimo digitalne podatke o 3D objektu, ki jih lahko nato uporabimo kot vhodne podatke za lasersko graviranje ali oblikovanje kopije objekta (npr. človekovega obraza) na že znanih obdelovalnih strojih, npr. robotih.

Skener deluje tako, da 3D objekt osvetlimo z laserskim žarkom. CCD kamera zajame odbito svetlobo od objekta. S posebnimi algoritmi se izračunajo položaji posameznih točk in tako nastane 3D oblak točk oz. oblika objekta. Oblika je zapisna v digitalni obliki, ki jo lahko pretvorimo v format, ki je združljiv s programskimi jeziki obdelovalnih strojev (laser, robot, CNC stroj), in izdelamo natančno kopijo. V kompletu s skenirno napravo je še stojalo s kalibrirno opremo, vrtljiva mizica in programska oprema za obdelavo podatkov.



Slika 86: Skenirna naprava in skenirana 3D oblika v digitalni obliki

Vir: Berce, 2007, 29

Skeniranje 2D oblik (slik, risb ...) poteka na običajnih ploščatih skenirnih napravah. Slike in risbe lahko pred pošiljanjem v gravirni stroj obdelamo na uporabniški programski opremi, npr.: Corel Draw, ArtCut, PhotoShop, AutoCAD ...

### 10.2.2 Postopek graviranja lesa

Les je zelo primeren za lasersko označevanje. Za graviranje so primerne trše vrste lesa, kot so javor, hrast, bukev, oreh, češnja ... Po končanem graviranju gravuro dodatno zaščitimo z lakiranjem.

Grafično podlago, ki smo jo pripravili s postopkom skeniranja ali obdelave obstoječih slik, logotipov ali drugih grafičnih oblik, shranimo v določen format, ki je združljiv z laserskim gravirnim strojem.

Podatke pošljemo v stroj z neposredno računalniško povezavo ali preko zunanjih nosilcev podatkov.

Gravirni stroj nato s pomočjo laserskih žarkov »vžge« kopijo grafične podobe. Moč laserskih žarkov je manjša kot pri strojih za rezanje materialov, ki smo jih že obravnavali in se lahko spreminja (približno 20 do 120 W). Večina gravirnih strojev omogoča tudi rezanje tanjših plošč iz lesa, stekla, tankega aluminija. Za graviranje na les zadostuje moč laserja že 30 W, za rezanje tankih furnirjev pa nad 30 W, kar je odvisno tudi od tipa stroja. Pomemben podatek laserskega stroja je hitrost rezanja in graviranja. Graviranje poteka pri hitrostih do 800 mm/s, rezanje pa do 300 mm/s. Možna so odstopanja med različnimi proizvajalci in tipi strojev.

Najbolj pogoste možnosti uporabe gravirnih strojev so:

- izdelava šampiljk,
- graviranje pokalov,
- graviranje priznanj,
- graviranje medalj,
- graviranje osebnih ID priponk, vključno z različnimi možnostmi pripetja,
- napisne ploščice (za označevanje prostorov, objektov),
- izdelava poslovnih in promocijskih daril,
- označevanje stekla (graviranje na kozarce, steklenice ...), tudi na ovalne oblike,
- graviranje in rezanje akrilnih materialov,
- izdelava slik visoke resolucije na različne materiale,
- izdelava obeskov za ključe,
- izdelava lesenih vizitk,
- darila višjega cenovnega razreda ...

Barva gravure je odvisna od mnogih parametrov, kot je, npr. tekstura, barva in gostota lesa, zato jo je nemogoče vnaprej popolnoma predvideti. V vsakem primeru pa gre za trajno obliko, ki jo ni mogoče zbrisati.



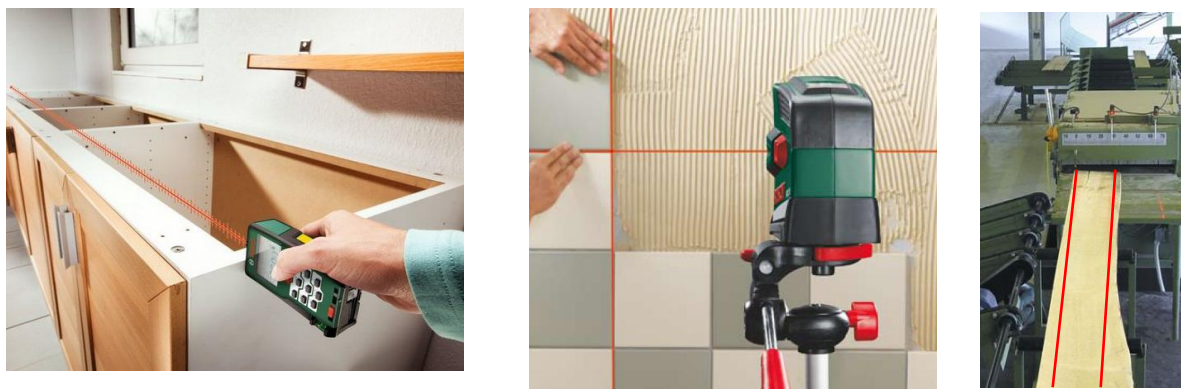
Slika 87: Stroj za laserski razrez in primera izdelka izdelana z laserskim rezanjem  
Vir: [http://www.troteclaser.com/de-DE/laser\\_loesungen/material/Pages/Lasergravieren\\_Intarsien.aspx](http://www.troteclaser.com/de-DE/laser_loesungen/material/Pages/Lasergravieren_Intarsien.aspx)  
(30. 1. 2011)

⚠ Laserski stroji so dokaj varni za delo. Kljub temu se pri delu lahko pojavijo precej specifične nevarnosti: eksplozije, strupeni plini, opekline. Posebej je nevarno neposredno usmerjanje laserskih žarkov v oči, kar lahko trajno poškoduje vid.

### 10.3 UPORABA LASERJEV V MERILNIH IN OZNAČEVALNIH SISTEMIH

Laserska tehnika se zelo množično uporablja v najrazličnejših merilnih napravah. En primer uporabe smo že spoznali pri obravnavanju skeniranja 3D teles. Vsi poznamo laserske merilnike hitrosti, ki jih uporabljajo policisti za nadzor prometa. Laserski merilniki se uporabljajo tudi v bolj »prijetnih« situacijah:

- merjenje dolžin,
- točkovno označevanje,
- merjenje premerov hlodov,
- merjenje ukrivljenosti, ovalnosti in koničnosti hlodov,
- centriranje hlodov,
- označevanje vodoravnosti in navpičnosti, ravnih linij,
- centriranje vpenjal pri vpenjanju obdelovancev v CNC stroje,
- brezkontaktno merjenje števila obratov delovnih vreten,
- detekcija nosilcev, cevi ali električne napeljave pod oblogami v votlih stenah,
- merjenje količine padavin ...

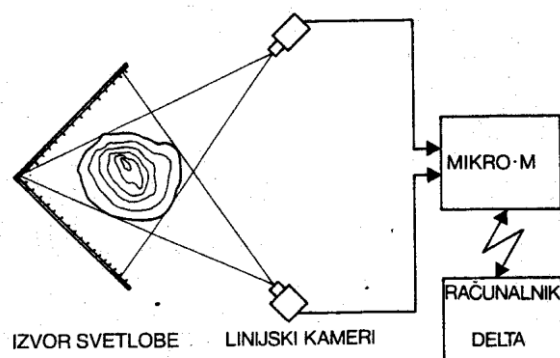


Slika 88: Primeri uporabe laserskih meril in označevalnikov

Vira: Reklamno gradivo Bosch in prirejeno po <http://www.most-doo.si> (22. 2. 2011)

Laserski žarki nižjih moči so zelo primerni za označevanje smeri obdelave in vodoravnosti. Primeri uporabe so v žagalnicah, kjer uporabljamo laserske označevalnike, ki so fiksirani v smeri žaganja in se pomikajo glede na položaj žaginih listov. Laserski žarki so usmerjeni po dolžini hloda ali žaganic in nam označujejo pot, po kateri bodo potovali žagini listi pri razrezu. To nam omogoča vnaprejšnje nastavljanje položaja žaginih listov in optimalni razrez lesa.

Laserski merilniki razdalje se uporabljajo za merjenje dolžin, širin in višin prostorov in odprtin za okna, vrata. Natančnost merjenja je okrog  $\pm 2$  mm.



Slika 89: Lasersko merjenje premera hloda

Vir: Vindšnurer, 1988, 72

Laserji so zelo primerni za uporabo pri različnih senzorzijih pri strojnih linijah. Postavljeni so na mestih, kjer potujejo obdelovanci. Prekinitev laserskega žarka sproži določeno aktivnost brez prisotnosti delavca, npr.:

- zaustavitev ali pogon transporterjev,
- merjenje dimenzij obdelovancev oz. izdelkov,
- zagon strojne opreme ali del strojne linije,
- zvočno opozorilo ipd..

Laserski senzorji so zelo pomemben člen obdelave lesa in lesnih tvoriv na CNC strojih, saj sporočajo parametre obdelave in položaje delovnih agregatov iz mehanskega dela stroja v krmilni del.

Prekinitev laserskega žarka v določenih situacijah pomeni, da je prišlo do napake. Napako se lahko odpravi brez zaustavitve stroja, če to ni mogoče, pa sledi varnostni izklop strojne opreme.

#### Povzetek

Uporaba laserske tehnike sega na različna področja. Eno izmed pomembnih aplikacij laserske tehnike je razrez in graviranje različnih materialov, med drugim tudi lesa.

Laserski žarki nastanejo z vzpodbujevanjem osnovnih delcev svetlobe v resonatorju. Kot medij uporabljamo različne pline (CO<sub>2</sub> ...).

Z laserskimi rezalniki lahko režemo tanjše kose lesa, na robovih ostanejo zažganine, ker gre pri tem postopku za termično obdelavo. To je slabost v primerjavi z vodnim rezanjem. Cena strojne opreme je višja, uporabljajo se tudi dražji mediji (npr. žlahtni plini).

Zelo pomembna je uporaba laserske tehnike pri izdelavi intarzij iz furnirjev in graviranju slik ter vzorcev na les.



#### Vprašanja za ponovitev

1. Analiziraj prednosti in pomanjkljivosti laserske tehnologije v primerjavi z AVC rezanjem.
2. Za kakšne namene v lesarstvu bi lahko uporabili lasersko tehnologijo?
3. Kako nastanejo laserski žarki in kakšna je sestava laserja?



<http://lab.fs.uni-lj.si/lat/nekProc/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf>

(15. 2. 2011)

[www.senator.si/uploads/30/old\\_laser\\_water\\_jet\\_cutting\\_of\\_plastics\\_slo.pdf](http://www.senator.si/uploads/30/old_laser_water_jet_cutting_of_plastics_slo.pdf)

(15. 2. 2011)

## 11 POVEZOVANJE STROJNE OPREME V STROJNE LINIJE

Povezovanje strojev v strojne linije ima že bogato zgodovino. Henry Ford je v svoji tovarni že leta 1913 kot prvi na svetu uporabil tekoči trak za masovno proizvodnjo cenovno dostopnih avtomobilov.

Zaporeden, neprekinjen in kvaliteten potek tehnoloških operacij je imperativ vsake procesne proizvodnje. Doseganje tega cilja in neprekinjeno upoštevanje tako zahtevnih pogojev predstavlja za celoten kolektiv neke procesne proizvodnje izredno odgovorno in zahtevno delo. Le človek, s pomočjo zelo razvite avtomatike, lahko usklajuje zaporedno in vzporedno vstopanje materialov v proizvodni proces, zagotavlja tehnološke pogoje v celotnem procesu v tolerančnih mejah, zagotavlja naglo ukrepanje ob izpadu kateregakoli pogona ali vira energije in medsebojno usklajuje vse procese (Vindšnurer, 1988, 153).

Strojno linijo sestavljajo: transporterji, naprave za strežbo strojev (dvižne mize, vlagalno odlagalne naprave) in obdelovalni stroji.

Osnovni cilji povezovanja strojev v strojne linije so:

- skrajševanje izdelavnih časov, povečevanje produktivnosti,
- zmanjševanje potrebnega števila delavcev,
- enostavnejše in natančnejše planiranje kapacitet,
- zmanjševanje potrebnih proizvodnih površin.

Lesna industrija ima značilnost, da je veliko tehnoloških postopkov primernih za povezavo v strojne linije, ker je čas posameznih faz sorazmerno kratek in so operacije enostavne. Linijska proizvodnja je bila v začetku in vrsto let namenjena serijski ali celo masovni proizvodnji enakih izdelkov. Povezovanje strojev v linijo se v lesni industriji, kakor tudi v drugih industrijah, dogaja še danes, kadar se izdelujejo serije enakih proizvodov. Najpogosteje najdemo v lesarstvu proizvodne linije v naslednjih primerih:

- proizvodnja notranjih vrat,
- proizvodnja tipskega pohištva večjih enakih serij,
- proizvodnja ivernih, vlaknenih, furnirskih plošč ...,
- proizvodnja in oplemenitenje ivernih in vlaknenih plošč,
- proizvodnja opažnih plošč,
- proizvodnja panelnih (mizarskih) plošč,
- žaganje in decimiranje lesa,
- proizvodnja furnirja,
- proizvodnja stavbnega pohištva (oken in vhodnih vrat),
- strojne linije za izdelavo lesnih kuriv,
- proizvodnja stenskih, stropnih in talnih oblog (parketov),
- površinska obdelava lesa in lesnih plošč (tiskanje, luženje, lakiranje),
- vgrajevanje okovij,
- pakiranje in skladiščenje gotovih izdelkov.

Projektiranje proizvodnih linij je dokaj zahtevno, saj morajo pri tem sodelovati strokovnjaki različnih področij: lesarji, strojniki, električarji/elektroniki, ekonomisti, gradbeniki, organizatorji dela, varnostni inženirji in še kdo. Torej gre za interdisciplinarni pristop.

V strojne linije se lahko povezujejo osnovni lesnoobdelovalni stroji s transportnimi in manipulacijskimi napravami, vendar gre največkrat za kombinacijo osnovnih lesnoobdelovalnih strojev s CNC stroji, roboti ali specialnimi lesnoobdelovalnimi stroji, ki so prilagojeni določeni strojni liniji.

Pri klasični kosovni proizvodnji imamo pred in za strojem t.i. medfazne skladiščne prostore, s katerih se jemljejo in zlagajo obdelovanci pred in po obdelavi. Pri linijski proizvodnji je teh skladišč zelo malo ali jih sploh ni, ker se obdelovanci transportirajo od stroja do stroja s pomočjo posebnih transporterjev:

- tračni transporterji,
- letvasti transporterji,
- lopatasti transporterji,
- valjčni transporterji,
- verižni transporterji,
- elevatorji, vakuumska prijemala,
- obračalne naprave,
- dvigala in dvižne mize.



Slika 90: Valjčni, verižni transporter in vakuumsko prijemalo z dvižno mizo

Vir: <http://www.most-doo.si> (22. 2. 2011)

Potrebno je urediti še transportne poti in talni transport z viličarji, vozički. Projektirati je potrebno še transport odpadkov (vakuumski, pnevmatski).

Osnovni podatek strojne linije je t.i. **takt linije**. To je čas, v katerem skozi linijo pride en kos izdelka. Temu taktu linije se nato prilagajajo kapacitete strojev, ki so povezane v linijo, hitrosti transportnih sredstev med stroji in načini medfaznega skladiščenja med posameznimi postopki strojne obdelave.

#### *Primer*

Imamo linijsko proizvodnjo sestave stolov. Razpoložljivi delovni čas v izmeni je 7,5 h. Izkoristek linije znaša 88 %. Takt linije znaša 4 min. Izračunajte planski obseg proizvodnje izražen v številu kosov na izmeno.

#### *Izračun:*

planska količ. v izmeni = (delovni čas/takt) × izkoristek = (450 min/4min) × (88 %/100) = **99 kosov/izmeno.**

Pri na novo grajenih tehnologijah se v praksi to največkrat dogaja tako, da naročnik določi potrebno kapaciteto strojne linije v skladu s svojimi poslovnimi načrti. Dobavitelji opreme so usposobljeni do te mere, da sami sprojektirajo celotno linijo s strojno in transportno opremo.

Strojna linija mora biti skonstruirana tako, da ne prihaja do nepotrebnih medfaznih zastojev, čemur rečemo **ozka grla**. To pomeni, da je produktivnost celotne linije odvisna od stroja z najnižjo kapaciteto (šibek člen v verigi). Reševanje ozkih grl je eno od osnovnih opravil tehnologa, ki programira takt linije. Največkrat se rešujejo na naslednje načine:

- zamenjava stroja, ki povzroča ozko grlo,
- inštalacija dodatnega stroja,
- uvajanje dodatnih delovnih izmen na določenih segmentih strojne obdelave.

Kot je bilo že omenjeno, se povezave strojne opreme v strojno linijo obnesejo samo v določenih tipih proizvodnje. Investicija je stroškovno zahtevna in se poplača samo, če imamo zagotovljeno tržišče, kamor bomo prodajali večje količine serijsko izdelanih izdelkov.

Ena od večjih težav je ta, da so strojne linije zelo okorne, toge pri spremembah proizvodnega programa. Če je potrebno spremeniti načine proizvodnje nekega izdelka (npr. zamenjava proizvodnega programa), spreminjanje nastavitvev strojne linije vzame ogromno časa. Težave predstavljajo tudi nepričakovane okvare strojev v liniji, ker okvara posameznega stroja povzroči zastoj celotne proizvodne linije.

Največ težav predstavlja nastavljanje mozničnih strojev, ki ob vsaki spremembi traja več ur. Zato se ta proizvodnja obnese resnično samo pri proizvodnji velikih količin enakih izdelkov.

Sodobne strojne linije poskušajo te pomanjkljivosti odpravljati tako, da se v strojno linijo povezujejo lesnoobdelovalni stroji, ki omogočajo hitro spreminjanje parametrov proizvodnje. So torej fleksibilni, največkrat so to CNC stroji in roboti, ki jih enostavno reprogramiramo in hitro usposobimo za spremenjene okoliščine v proizvodnji.



Slika 91: Primera strojne linije  
Vir: <http://www.most-doo.si> (22. 2. 2011)

Vzporedno z razvojem strojnih linij so se morali razvijati tudi novi merilni sistemi, ki omogočajo pretočno merjenje tehnoloških parametrov (tehtnice, vlagomeri, merilniki dimenzij ...), saj se obdelovanci ves čas gibljejo.

Že v uvodu poglavja smo našli čez deset vrst strojnih linij, ki se uporabljajo v lesni industriji. Gotovo jih obstaja še več, vendar se bomo omejili le na nekaj primerov, ker vseh

vrst in kombinacij ni mogoče ali ni smiselno obravnavati. Obravnavali bomo dva tipična primera povezovanja opreme v strojne linije.

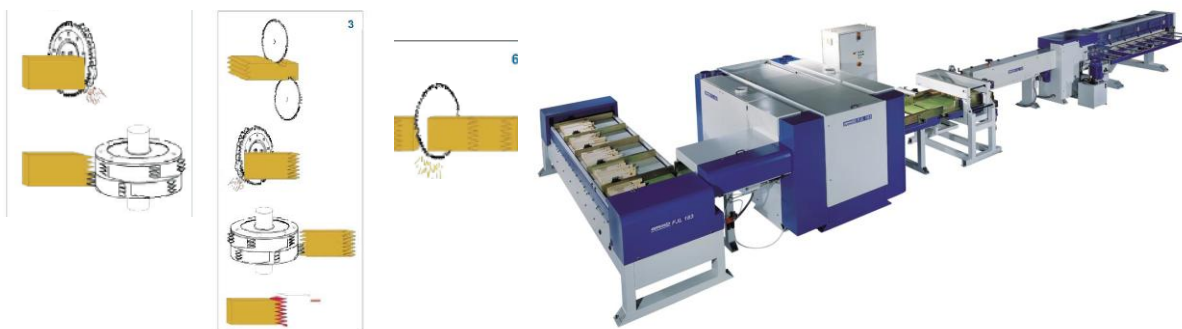
### 11.1 STROJNA LINIJA ZA VZDOLŽNO SPAJANJE MASIVNEGA LESA

Dolžinsko spajanje lesa je dokaj razširjena strojna linija, zato jo bomo posebej obravnavali. Omogočajo dolžinsko lepljenje krajših ostankov lesa, ki bi jih drugače zavržli in s tem zmanjšali izkoristke lesa. Najbolj običajno se les dolžinsko spaja z lepljeno zobato vezjo, ki ima dovolj veliko trdnost in omogoča enostavno izdelavo. Strojna linija je v bistvu nadaljevanje tehnoloških operacij, ki sledijo CNC čelilnemu stroju, ki smo ga že spoznali

V liniji si sledijo naslednje tehnološke operacije: obžaganje lesa (izžaganje napak na CNC čelilnem žagalnem stroju), profilno rezkanje čel (izdelava zobate vezi), nanašanje lepila v zobate vezi, zaporedno vlaganje in predstiskanje oblepljenih elementov, žaganje na dolžino in stiskanje sestavljenih elementov.

Strojna linija se lahko nadaljuje še z več vretenskimi skobeljnimi stroji in tako dobimo štiristransko poskobljane dolžinsko spojene letve ali deske.

Dolžinsko spojen les se uporablja za izdelavo notranjega pohištva, npr. mizne plošče, pretežno pa se uporablja za izdelavo lepljencev, ki se uporabljajo za izdelavo stavbnega pohištva. Lesena okna in vrata višjega kakovostnega razreda so izdelana iz večslojnih lepljencev, pri katerih je dolžinsko spojen les »skrit« v srednjem sloju.



Slika 92: Strojna linija za dolžinsko spajanje lesa  
Vir: Reklamno gradivo Omga

### 11.2 STROJNA LINIJA ZA POVRŠINSKO OBDELAVO LESA IN LESNIH PLOŠČ

Zelo razširjene in pomembne so strojne linije za površinsko obdelavo sestavnih delov pohištva ali celotnega pohištva. Površinska obdelava je ena najpomembnejših in najbolj zapletenih tehnoloških operacij, ki lahko pomeni ozko grlo v strojni liniji, zato se temu namenja velika pozornost.

Strojne linije so v večini primerov popolnoma avtomatizirane z uporabo CNC tehnologije. Računalnik vodi nastavljanje pretočnih in delovnih višin vseh strojev (največkrat gre za tehniki valjčnega nanosa ali polivanja), sinhroniziranih pomikov strojev in krmili sušilne režime premaznih sredstev. Tehnika brizganja, ki jo uporabljamo pri reliefnih elementih, zahteva nekoliko drugačno sestavo strojne linije. Namesto znanih valjčnih ali polivalnih strojev imamo tukaj opraviti s pretočnimi brizgalnimi stroji. S pomočjo CNC krmilne enote se uravnavajo nastavitve brizgalnih pištol v komori.

Vemo, da se morajo premazna sredstva po nanosu določen čas sušiti in utrjevati, preden lahko naneseemo naslednji sloj.



### **Naredi, poišči**

Reliefni izdelki oz. izdelki nepravilnih oblik (npr. stol) se lahko lakirajo s tehniko elektrostatičnega brizganja. Ta način omogoča boljše izkoristke premaznih sredstev. Pozanimaj se, v čem se elektrostatično brizganje razlikuje od klasičnega načina.

V strojno linijo za površinsko obdelavo ploskovnega pohištva so povezane naslednje tehnološke operacije, ki si morajo slediti v določenem zaporedju:

- osnovno brušenje površin, krtačenje oz. čiščenje površin,
- nanašanje temeljnega laka (valjčno ali polivanje),
- sušenje in utrjevanje temeljnega laka,
- obračanje in enaka obdelava na drugi strani plošče,
- vmesno brušenje temeljnega laka,
- nanos končnega laka,
- sušenje in utrjevanje končnega laka,
- kontrola kvalitete in izločanje slabih izdelkov,
- zlaganje in pakiranje.

Sušilni sistemi v strojni liniji so lahko različni. Lahko imamo kanalsko sušilnico z vročim zrakom, kjer se laki hitreje utrjujejo zaradi dovajanja toplega zraka. Zelo razširjeno je utrjevanje s pomočjo ultravijoličnih žarkov (UV). V tem primeru rabimo manj prostora, ker takšna sušilnica lak utrdi v nekaj sekundah in je krajša. Potrebujemo pa posebne lake, ki omogočajo UV utrjevanje.

## **11.3 STROJNA LINIJA ZA RAZŽAGOVANJE HLODOVINE**

Strojna linija za razžagovanje hlodovine je ena najstarejših oblik strojne linije. Gre za visoko produktivno linijo razžagovanja hlodovine na polnojarmenikih, krožnih žagalnih strojih ali tračnih žagalnih strojih.

Transport je urejen od skladišča hlodovine, kjer z nakladačem naložimo hlodovino na transportne naprave, vse do končne faze, ki se imenuje zlaganje in sortiranje žaganih sortimentov. Pri tem najdemo najrazličnejše verižne, valjčne in tračne transporterje, obračalne naprave, elevatorje ipd.. Transportne naprave so podobne v vseh vrstah strojnih linij.

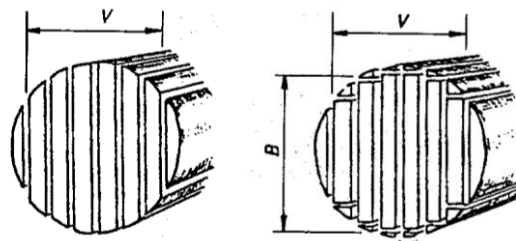
Osnovni obdelovalni stroji so:

- 1. Primarni stroji;** tem strojem so prilagojeni vsi ostali stroji in naprave. V strojni liniji pomeni osnovno enoto, na katero se veže zmogljivost žagarskega obrata oz. kapaciteto, ki se meri v količini razžagane hlodovine na časovno enoto (izmena ali leto). Največkrat najdemo dva načina razžagovanja hlodovine: enkratno in prizmiranje. Pri enkratnem žaganju se hlod razžaga z enim prehodom skozi stroj, dobimo nerobljene žaganice. Pri prizmiranju se hlod pri prvem prehodu simetrično obžaga na dveh straneh, nato se prizma obrne za 90° in se dokončno razžaga v robljene izdelke (žaganice, trami). Za vračanje prizem se vklopijo posebni transporterji, medtem ko krajniki in stranske deske potujejo naprej po strojni liniji.

Primarni stroji v žagalnicah so: eno- in večlistni tračni žagalni stroji, polnojarmeniki in krožni žagalni stroji.

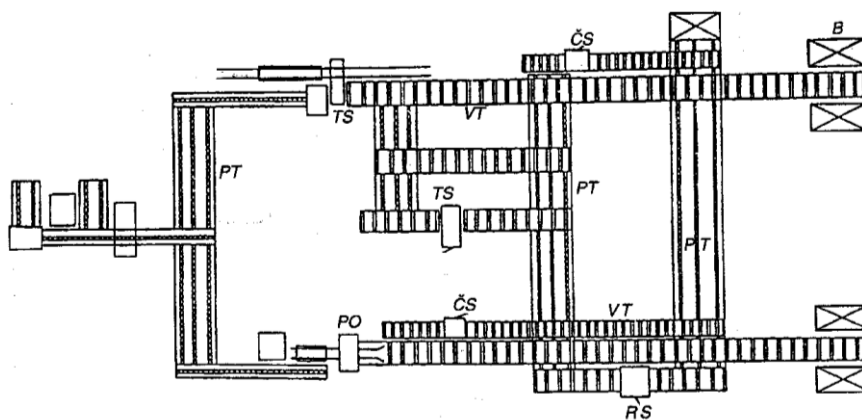
2. **Pomožni stroji** se uporabljajo za obdelavo nerobljenih desk po straneh in čelih. Poznamo robilne in čelilne žagalne stroje.
3. **Stroji za predelavo lesnih ostankov**, s katerimi obdelujemo ostanke (očelki, žamanje) tako, da jih lahko uporabimo v drugih proizvodnjah, npr. izdelava ivernih in vlaknenih plošč. Sem spadajo: prečni krožni žagalni stroji, sekalni stroji, briketirni stroji.

Polnojarmeniki se večinoma uporabljajo za razžagovanje iglavcev, tračni žagalni stroji pa za razžagovanje listavcev, čeprav je na obeh vrstah strojev možno razžagovati vse drevesne vrste.



Slika 93: Enkratno žaganje (levo) in prizmiranje (desno)

Vir: Merzelj, 1996, 106



TS – tračni žagalni stroj; PO – polnojarmenik; ČS – čelilni krožni žagalni stroj; RS – robilni krožni žagalni stroj; PT – prečni verižni transporter; VT – valjčni transporter; B – odlagalna mesta

Slika 94: Strojna linija v žagalnici s tračnim žagalnim strojem in polnojarmenikom

Vir: Merzelj, 1996, 282



Slika 95: Strojna linija za razžagovanje hlodovine s tračnim žagalnim strojem  
Vir: Lasten

#### **⚠ Merjenje električne obremenitve strojev**

Lesnoobdelovalni stroji so veliki porabniki električne energije, ker imajo vgrajene elektromotorje velikih moči. Strojne linije imajo vgrajenih več strojev, ki jih ne smemo vklopiti vseh naenkrat, ker lahko pride do prekoračitev maksimalne električne obremenitve t.i. konice.

Posebne elektronske naprave krmilijo vrstni red vklopjanja strojev in tako preprečujejo škodo, ki bi lahko nastala za podjetje in celotno gospodarstvo.

#### **☑ Povzetek**

Povezovanje strojev v strojne linije ima za cilj povečanje učinkovitosti proizvodnje s čim manj zaustavljanja in skladiščenja polizdelkov med proizvodnjo. Na ta način se proizvajajo nekateri serijski izdelki, kot so lesne plošče in serijsko pohištvo.

Nefleksibilnost linij pri menjavah proizvodnih programov se odpravlja z inštalacijami računalniško vodenih strojev. Linija ima določen takt. Ozka grla pomenijo šibke člene, ki jih moramo odpravljati, če se pojavijo.

Pri povezavi strojne opreme v strojne linije je zelo pomembno načrtovanje transportnih naprav.

#### **✍ Vprašanja za ponovitev**

1. Kaj pomeni izraz takt linije?
2. Na konkretnem praktičnem primeru dokaži, da je smiselno povezovanje strojev v strojno linijo.
3. Zasnuj strojno linijo za izdelavo panelnih parketov, vključno s površinsko obdelavo (brušenje in lakiranje).
4. Napovej tehnološke faze v liniji iz prejšnje naloge, kjer bi se lahko pojavljala ozka grla in izdelaj načrt ukrepov, s katerimi bi lahko ta ozka grla odpravljali.

## 12 LITERATURA

- Alternativne tehnologije, Lasersko rezanje.* (online). 2010. (citirano 22. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf>
- Berce, M. *3D-laserska digitalizacija.* IRT 3000, 2007, let. 2, št. 4, str. 28–29.
- Breitbandschleimaschine.* (online). 2011. (citirano 10. 2. 2011). Dostopno na naslovu: [www.holz-metall.info/shop1/artikel2032.htm](http://www.holz-metall.info/shop1/artikel2032.htm)
- Čermak, M. *Lepila in materiali za površinsko obdelavo in zaščito lesa.* Ljubljana: Lesarska založba, 1998.
- Dvorjak, J. *Določitev optimalnih posebnih postopkov za razrez materialov.* Diplomsko delo. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2010.
- Geršak, M. *Materiali za rezalna orodja.* Les: revija za lesno gospodarstvo, 1997, let. 49, št. 7–8, str. 217–219.
- Grošelj, A., Kovačič, B., Čermak, M., Geršak, M. *Tehnologija lesa 2.* Ljubljana: Lesarska založba, 1999.
- Holzbiege.* (online). 2010. (citirano 28. 5. 2010). Dostopno na naslovu: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2009/4835/pdf/hei129.pdf>
- Horizontalplatenaufteilsaäge.* 2011. (citirano 24. 2. 2011). Dostopno na naslovu: [http://www.griggio.com/index.php?page=shop.browse&category\\_id=30&option=com\\_virtuemart&Itemid=1](http://www.griggio.com/index.php?page=shop.browse&category_id=30&option=com_virtuemart&Itemid=1)
- Jan, G., Lebar, A., Junkar, M. *Vodni curek namesto orodja.* Življenje in tehnika, 2001, let. 52, št. 11, str. 26–30.
- Kantenschleifmaschinen.* (online). 2011. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.felder.at>
- Katalog brusnih sredstev.* (online). 2010. (citirano 20. 12. 2010). Dostopno na naslovu: [http://www.swatycomet.si/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet\\_Katalog\\_SLO.pdf](http://www.swatycomet.si/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet_Katalog_SLO.pdf)
- Katalog of Ideas.* (online). 2011. (citirano 16. 1. 2011). Dostopno na naslovu: [http://www.kuka-robotics.com/res/sps/a737ee03-5832-4c95-9d91-84e0de80c664\\_Ideenkatalog\\_it.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/a737ee03-5832-4c95-9d91-84e0de80c664_Ideenkatalog_it.pdf)
- Katalog rezalnega orodja Stehle in Hapro.*
- Kosec, M. *Industrijski roboti v prilagodljivih obdelovalnih sistemih.* Diplomsko delo. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2008.
- Kovačič, B., Čermak, M. *Tehnologija lesa 3.* Ljubljana: Lesarska založba, 1999.
- Laser* (online). 2011. (citirano 14. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Laser>
- Leban, I., Jelovčan, I. *Lepila in lepljenje.* Ljubljana: CPI, 2007.
- Magneteinstellgerät.* (online). 2010. (citirano 22. 10. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.barke.de/web-content/de/barkomat.html> (11. 1. 2011)
- Merzelj, F. *Žagarstvo.* Ljubljana: Kmečki glas, 1996.
- Naglič, V. (1999). *Diamantno orodje v lesni industriji.* Les: revija za lesno gospodarstvo, 1999, let. 51, št. 1–2, str. 19–22.
- Perme, T. (2006). *Robotizacija industrije.* IRT 3000, 2006, let. 1, št. 6, str. 84–87.

*Prodajni katalog Kovine.* (online). 2011. (citirano 6. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://sl.tm-kovine.si/sitedata/389/upload/File/PRODAJNI%20KATALOG%20KOVINE%202010.pdf>

*Reklamni materiali Weinn, Leitz, Homag, Ledinek, Bosch, Omga.*

Resnik, J. *Lepila in lepljenje lesa.* Ljubljana: Biotehnična fakulteta VTOZD za lesarstvo, 1989.

Samstag, K., et al. *Temaco – Katalog.* Düsseldorf: Temaco Technische Maschinen Cooperation eG, 1993.

Petrič, M. *Površinska obdelava.* (online). 2010. (citirano 22. 10. 2010). Dostopno na naslovu: [http://les.bf.unilj.si/fileadmin/datoteke\\_asistentov/mpetric/povrsinska\\_obdelava\\_uni/gradiva/MP12\\_brusenje\\_PO\\_06-07\\_01.pdf](http://les.bf.unilj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mpetric/povrsinska_obdelava_uni/gradiva/MP12_brusenje_PO_06-07_01.pdf)

Stegne, V. *Mehanska obdelava lesa.* Projekt Munus 2. 2010

*Strojne linije.* (online). 2011. (citirano 22. 2. 2011) Dostopno na naslovu: <http://www.most-doo.si>

*Spaltkeil-Einstellung.* (online). 2011. (citirano 11. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.schreiner-seiten.de/maschinen/kreissaege.php>

*Tischkreissaage.* (online). 2011. (citirano 22. 2. 2011). Dostopno na naslovu: [http://www.swm-maschinen.de/assets/Tischkreissaege\\_tks250g.jpg](http://www.swm-maschinen.de/assets/Tischkreissaege_tks250g.jpg)

*Troteclaser.* (online). 2011. (citirano 30. 1. 2011). Dostopno na naslovu: [http://www.troteclaser.com/de-DE/laser\\_loesungen/material/Pages/Lasergravieren\\_Intarsien.aspx](http://www.troteclaser.com/de-DE/laser_loesungen/material/Pages/Lasergravieren_Intarsien.aspx)

Vindšnurer, D. *NC in CNC v lesarstvu.* Ljubljana: ZDIT gozdarstva in lesarstva, 1988.

*Wasserstrahlschneiden.* (online). 2011. (citirano 20. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.strahltechnik.ch/index.php?page=162>

## Projekt **Impletum**

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

*Konzorcijski partnerji:*



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja ter prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.