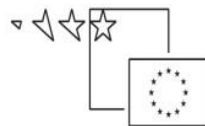




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



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

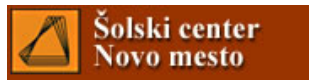
TEHNOLOGIJA STROJNE OBDELAVE LESA

JANEZ ABRAM

Višješolski strokovni program: Lesarstvo
Učbenik: Tehnologija strojne obdelave lesa
Gradivo za 1. letnik

Avtor:

mag. Janez Abram, univ. dipl. ing.
ŠOLSKI CENTER NOVO MESTO
Višja strokovna šola



Strokovni recenzent:

dr. Matjaž Pavlič, univ. dipl. inž. les.

Lektorica:

Janja Florjančič, prof.

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

674 (075.8) (0.034.2)

ABRAM, Janez, lesarstvo

Tehnologija strojne obdelave lesa [Elektronski vir] : gradivo za
1. letnik / Janez Abram. - El. knjiga. - Ljubljana : Zavod IRC,
2011. - (Višješolski strokovni program Lesarstvo / Zavod IRC)

Način dostopa (URL): http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Tehnologija_strojne_obdelave_lesa-Abram.pdf. - Projekt Impletum

ISBN 978-961-6857-55-0

258178816

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' in 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

PREDGOVOR	3
1 POMEN STROJNE OBDELAVE IN NJEN VPLIV NA OSTALE DEJAVNIKE V POSLOVANJU PODJETJA	4
1.1 KAJ OPTIMIRATI PRI STROJNIH PROCESIH?	4
1.2 DEJAVNIKI STROJNE OBDELAVE IN NJIHOV VPLIV NA POSLOVANJE PODJETJA	5
1.3 VPLIV POSTOPKOV STROJNE OBDELAVE NA IZDELAVNE ČASE IN KVALITETO	6
2 ODREZOVANJE Z ORODJEM V OBLIKI KLINA.....	10
2.1 KAJ JE ODREZOVANJE?	11
2.2 REZALNE RAVNINE	12
2.3 GEOMETRIJA REZILA	12
2.4 VPLIV GEOMETRIJE REZILA NA OBDELAVO LESA.....	15
2.5 SMERI REZANJA	17
2.5.1 Čelni rez (90° - 90°)	17
2.5.2 Vz dolžni rez (90° - 0°)	18
2.5.3 Prečni rez (0° - 90°).....	19
3 GIBANJE PRI ODREZOVANJU.....	21
3.1 KAKŠNA GIBANJA POZNAMO?	21
3.2 PREMOČRTNO REZALNO GIBANJE	22
3.3 KROŽNO REZALNO GIBANJE	24
3.4 REZALNA HITROST.....	26
3.5 PODAJALNO GIBANJE	27
3.6 PODAJALNA HITROST	28
3.6.1 Dolžina vala pri rotacijskem gibanju.....	28
3.6.2 Globina vala.....	30
4 REZALNO ORODJE.....	33
4.1 SESTAVA ORODJA	33
4.2 REZALNI MATERIAL	35
4.3 OBRABA REZIL	39
4.4 OSTRENJE LESNOOBDELOVALNIH ORODIJ	42
4.4.1 Brusne plošče.....	42
4.4.2 Delovne operacije brušenja	42
4.4.3 Postopek kontrole rezalnega kroga.....	44
5 TEHNOLOGIJA LEPLJENJA LESA	46
5.1 KAJ JE LEPLJENJE?.....	46
5.2 OSNOVNE ZAKONITOSTI V POSTOPKIH LEPLJENJA.....	47
5.2.1 Omakalnost in površinska napetost	47
5.2.2 Medmolekulske privlačne sile med delci lepila in lesa	48
5.2.3 Medmolekulske privlačne sile med delci lepila	49
5.2.4 Koloidne lastnosti lepil.....	49
5.2.5 Utrjevanje lepil	50
5.3 VRSTE LEPIL IN NJIHOVE ZNAČILNOSTI	51
5.4 POSTOPKI LEPLJENJA IN POGOJI ZA LEPLJENJE	53

5.5	TEHNOLOGIJA LEPLJENJA	59
5.6	NAČINI NANOSA LEPILA	60
6	DELO Z LESNO OBDELOVALNIMI STROJI Z VIŠJO STOPNJO	
	ZAHTEVNOSTI	63
6.1	CNC STROJI	63
6.2	TEHNOLOŠKE ZNAČILNOSTI STROJNE OPREME Z VIŠJO STOPNJO ZAHTEVNOSTI VEČVRETENSKIH IN CNC STROJEV	64
6.3	PRIMERJAVA CNC IN KLASIČNIH OBDELOVALNIH STROJEV	66
6.3.1	Obdelovalne osi na strojih.....	66
6.3.2	Orodje in nosilci orodja.....	67
6.3.3	Gibanja pri obdelavi in nastavitve	68
6.4	NC IN CNC STROJNA OPREMA	69
6.5	NAČRTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESOV S STROJI VIŠJE STOPNJE ZAHTEVNOSTI.....	70
7	AVTOMATIZACIJA PROIZVODNJE IN ROBOTI.....	72
7.1	ZAKAJ AVTOMATIZIRATI PROIZVODNJO?	73
7.2	NAČINI AVTOMATIZACIJE IN ROBOTIZACIJE PROIZVODNJE IN UPORABA NAPRAV V RAZLIČNI IZVEDBI.....	73
7.3	SESTAVNI DELI NAPRAV ZA AVTOMATIZACIJO IN ROBOTIZACIJO	76
7.4	UPORABA RAZLIČNIH SISTEMOV ZA AVTOMATIZACIJO IN APLIKACIJO V POSAMEZNEM PRIMERU	76
7.5	UPORABA AVTOMATIZACIJE IN ROBOTOV V LESARSTVU	77
8	REZANJE Z VODO	81
8.1	KAJ JE VODNO REZANJE?	81
8.1.1	Osnove delovanja	82
8.1.2	Prednosti in slabosti vodnega rezanja	83
8.2	UPORABA VODNEGA REZANJA	84
9	UPORABA LASERJEV V LESARSTVU ZA OZNAČEVANJE, GRAVIRANJE IN REZANJE	86
9.1	KAJ JE LASER?	87
9.2	DELOVANJE LASERJA	87
9.3	DELOVANJE IN UPORABA POSAMEZNIH TIPOV LASERJA	88
9.4	LASERSKO REZANJE LESA.....	89
9.5	VARNOST PRI DELU Z LASERJI.....	90
10	STROJNE LINIJE IN TEHNOLOŠKI POSTOPKI IZDELAVE IZDELKOV	93
10.1	KAJ VPLIVA NA INVESTICIJE V TEHNOLOŠKO OPREMO?	94
10.2	POSTOPKI OBDELAVE MASIVNEGA LESA	95
10.3	POSTOPKI OBDELAVE TVORIV	97
10.4	TRANSPORT V PROIZVODNEM PROCESU	98
11	LITERATURA.....	104

PREDGOVOR

Les je material, ki ima v naši okolici tradicijo. Leseni izdelki nas spremljajo v vsakdanjem življenju. Kljub razvoju novih materialov, ki so na določenih področjih nadomestili naravni material, pa so leseni izdelki ostali in jih lahko najdemo predvsem tam, kjer se človek zadržuje največ časa.

Današnja slovenska družba je privržena nizkoogljični tehnologiji. Pogovarjamo se o zmanjšanju emisij ogljikovega dioksida in drugih toplogrednih plinov v ozračju. Ali smo uspešni? Cilj lahko dosežemo le s preusmerjenjem na energetske varčne tehnologije in energetske nepotratne materiale, kot so les, bombaž, kamen ... Če namesto fosilnih goriv (premog, nafta, zemeljski plin) uporabljamo rastline (les), se podobno kot pri kurjenju fosilnih goriv sprošča ogljikov dioksid, ki ga je narava skladiščila v lesu več desetletij. Z uporabo lesne biomase kratkoročno zato ne znižujemo emisije CO₂. Cene hlodovine se na trgu povečujejo (vpliv cene biomase, povečevanje stroškov sečnje ...) in dosegajo npr. za žagarsko obdelavo podjetju strošek, ki ne zagotavlja rentabilnosti. Morali bi si prizadevati, da bi postal les strateška surovina, s katero bi znali ravnati celovito v smislu rabe lesa in rabe lesnih izdelkov.

Bliskovit razvoj, ki smo mu priča v zadnjem stoletju, je tudi v tehnologijo obdelave lesa prinesel nove izzive in možnosti. Ročno delo je zamenjalo mehanizirano, električno gnano in računalniško krmiljeno delo. Na ta način smo pridobili na hitrosti in natančnosti obdelave. Še vedno pa je ključnega pomena poznavanje materiala oziroma njegove obdelovalne karakteristike, kar je predstavljeno v gradivu.

Vsebina v učbeniku, ki je namenjen študentom lesarskega višješolskega programa, je razdeljena na deset poglavij in je usklajena s katalogom znanj za predmet Tehnologija strojne obdelave. Vsako poglavje je sestavljeno iz razlage ter ponazorjeno z več primeri, ki vam bodo pomagali pri spoznavanju obdelave lesa.

Vsem študentom želim, da bi v gradivu našli kompetence, ki vam bodo pomagale v vsakdanjem življenju.

Janez Abram

1 POMEN STROJNE OBDELAVE IN NJEN VPLIV NA OSTALE DEJAVNIKE V POSLOVANJU PODJETJA



V podjetju so imeli težave s prodajo izdelkov iz masivnega lesa. Izdelali so analizo vzrokov z namenom povečati obseg prodaje. Ugotovili so, da se kupci odločajo za izdelek oziroma izdelke podjetja, ki med drugim zagotavlja vizualno in čutno kvaliteto ter je cenovno primerljiv oziroma bolj ugoden od izdelkov, ki konkurirajo na trgu.

Z analizo tehnološkega procesa pri najbolj prodajanem izdelku je bilo ugotovljeno, da je glavna napaka obdelave lesa zamik elementov izdelka pri spojih (noga – naslon).

Vez čep/utor na nogi se je izvajala ločeno od vezi na naslonjalu s predhodno izdelano in nastavljeno matrico. Do zamikov elementov izdelka je prihajalo zaradi napačne postavitve izhodišča za izdelavo čepa oziroma utora. Ker so bili vezni elementi izvedeni na starejših enooperacijskih strojih, so prestavili ključno fazo obdelave na CNC stroj, kjer so vez med nogo in naslonjalom stola izvedli sočasno. Uvedli so tudi procesno kontrolo spoja (sestava sklopa brez lepila). Zamik elementov so tako izničili že pri nastavitvi na stroju.

Specifične konstrukcijske karakteristike izdelka je potrebno prilagoditi tehnološkim možnostim in tolerancam, ki jih dosežemo na stroju.

Vpliv subjektivnih dejavnikov na kvaliteto izdelka je potrebno čim bolj zmanjšati.

1.1 KAJ OPTIMIRATI PRI STROJNIH PROCESIH?

Da z razpoložljivimi resursi (delovna sila, stroji, orodje) dosežemo najboljši tehnični in tudi ekonomski učinek proizvodnje, moramo pri obdelavi lesa poiskati najboljše rezultate pri danih pogojih dela. Cilj optimiranja pri strojni obdelavi je torej določiti takšne pogoje dela, pri katerih dosežemo najnižjo ceno izdelave ob želenem nivoju kakovosti.

Na kakovost izdelave izdelka in ekonomiko poslovanja vplivata z vidika strojne obdelave dva pomembna faktorja. Prvi se nanaša na **strojno procesne parametre** (ostrina rezila, geometrija rezila, pomiki pri odrezovanju, globina odrezovanja itd.) in drugi na **obdelovalni material** (vlažnost in gostota lesa, napake v lesu, orientacija vlaken itd.).



Vpliv obdelovalnega materiala je prikazan na primeru (Čufar, Torelli, 1992). Gostota lahko močno variira znotraj dreves, še bolj pa med primerki iste drevesne vrste. Poleg absolutne vrednosti gostote je zelo pomembna njena distribucija.

Kadar se menjavajo različno goste cone, rezilo lažje prodira skozi redkejša tkiva, pri čemer pa prehod v gostejši del predstavlja obremenitev na udarec, kar pospešuje obrabo rezila. V splošnem velja, da se rezila manj krhajo pri obdelavi redkejših lesov oziroma da so sile pri rezanju večje pri gostih lesovih.

SKOBLJANJE

V kolikor les ne izkazuje intenzivnejšega odklona poteka aksialnih elementov, kvaliteta skobljanja praviloma narašča z gostoto. Praviloma je pri gostejših listavcih delež motečega tenzijskega lesa nižji, kar prispeva k boljši kvaliteti skobljanja. Praviloma postaja z rastočo gostoto lesa tekstura vse finejša, kar tudi prispeva k boljši kvaliteti skobljanja.

REZKANJE

Pri obdelavi gostejših lesov opazamo boljšo kvaliteto obdelave predvsem pri odrezovanju v prečni smeri. Lesovi z nižjo gostoto so zaradi manjše konsistence tkiva nagnjeni h gnečenju tkiva in iztrganinam. Med gostejšimi vrstami so izjema lesovi z grobo teksturo lesa (npr. venčasto porozni lesovi).

STRUŽENJE

Gostejši lesovi se lažje stružijo kot redkejši. Znatni vpliv imata tudi tekstura in homogenost lesa.

VRTANJE

V splošnem velja, da so izvrtine pri gostejših lesovih bolj gladke, pri čemer z rastočo gostoto narašča poraba energije. Pri gostejših lesovih so potrebne večje uvajalne luknje kot pri redkejših lesovih (vijačenje brez razpok).

LUŠČENJE

Najprimernejši lesovi za luščenje so homogeni srednjegosti (okrog 600 kg/m^3). Za kvaliteten rez furnirja je potrebna določena trdnost in elastičnost, ki sta tudi odvisni od gostote. Furnirji iz lesov z nižjo gostoto so zaradi manjše trdnosti navadno manj kvalitetni.

1.2 DEJAVNIKI STROJNE OBDELAVE IN NJIHOV VPLIV NA POSLOVANJE PODJETJA

Na ceno izdelave, ima velik vpliv optimiranje pogojev dela pri strojni obdelavi. Pri preveč zasedenih strojnih kapacitetah pa ima pomembnejšo vlogo optimiranje pogojev dela glede na čas obdelave. Izkoriščenost kapacitet povečamo z zmanjševanjem izgub, kar ima za posledico povečanje izkoristka razpoložljivih kapacitet.



Kako lahko v proizvodnji preprečujemo nastanke časovno preobremenjenih delovnih mest (ozko grlo)?

Potrebna optimizacija dejavnikov, ki vplivajo na ceno obdelave in poslovanje podjetja:

- **cena strojne ure** – povečanje cene strojne ure (amortizacija, stroški energentov, stroški vzdrževanja idr.) vpliva na ceno obdelave; praviloma pri delu na večstopenjskih (CNC) strojih nastaja več stroškov kot pri delu na enostopenjskih strojih, kjer je večji del gibov ročnih;
- **plače delavcev** – tudi plače in število delavcev močno vplivajo na ceno obdelave; praviloma so plače delavcev, ki delajo na večstopenjskih strojih, višje kot pri enostopenjskih oziroma kot pri ročnem delu;
- **režijski čas na naročilo** – cena režijskih stroškov vpliva na ceno obdelave v odvisnosti od vrste naročil; npr. če je delo projektno (enkratno), je cena režijskih stroškov velika in obratno;
- **število kosov v seriji** – zmanjševanje velikosti serije vpliva na povečanje cene obdelave;
- **dodatni čas** – povečanje izmeta in popravil zaradi slabe kvalitete idr. vpliva na povečanje cene obdelave;
- **število operacij na enem kosu (izdelku)** – večje je število operacij, višja je cena obdelave;

- **globina reza in podajanje** – podajanje in globina reza vplivata na določitev optimalne rezalne hitrosti; večja je globina reza in podajanje, krajši je čas obdelave; dejavnika sta povezana s hrapavostjo obdelane površine;
- **cena orodja** – izbira orodja je odvisna od časa uporabnosti orodja (obraba) in zahtevane kvalitete pri obdelavi (obdelovalni material); npr. rezila, ki imajo nizko ceno, se običajno hitreje obrabijo in zahtevajo večkratno brušenje, kar vpliva tudi na produktivnost;
- **izbira postopkov obdelave** – izdelke lahko naredimo po različnih postopkih; postopki pa ne vplivajo samo na čas in kvaliteto obdelave, temveč tudi na izkoristek materiala idr.

1.3 VPLIV POSTOPKOV STROJNE OBDELAVE NA IZDELAVNE ČASE IN KVALITETO

Večina izdelkov iz lesa se danes izdeluje s stroji. Zaradi tega je v primerjavi z ročnim odvzemanjem izdelava natančnejša, varnost pri delu je večja in znatno je skrajšan čas obdelave, kar posledično vpliva tudi na nižje stroške (Klemenšek, 2010).

Les obdelujemo z različnimi postopki, kot so žaganje, skobljanje, rezkanje, vrtanje, rezanje, dolbenje, struženje, brušenje itd.

Izbira obdelovalnega postopka je odvisna od oblike in materiala obdelovanca, delovanje razpoložljive opreme in strojev ter točnosti in zahtevane kvalitete obdelane površine.



Pri CNC strojih ima operater večjo možnost prilagajanja procesnih parametrov in s tem možnost doseganja bolj kvalitetno obdelane površine. Posledično so nadaljnje faze v procesu krajše oziroma niso potrebne (npr. popravilo površine z brušenjem).

Odločitev o izbiri obdelovalnega stroja je pogojena tudi z nastavitvenimi in izdelavnimi časi oziroma serijo izdelkov. Enak izdelek lahko izdelamo po različnih postopkih oziroma zaporedju operacij, kar pomeni, da se v odvisnosti od postopka razlikuje tudi čas izdelave.

Enooperacijski stroji, ki so prilagojeni za določeno obdelavo, imajo kratke izdelavne čase za posamezno operacijo in dolge nastavitvene čase. CNC stroji pa imajo daljše izdelavne in kratke nastavitvene čase, ker ne izvajajo samo ene, temveč več operacij (menjava orodij, dolgo gibanje orodja ali obdelovanca pri obdelavi). Zato je pri manjših serijah smiselno uporabiti CNC stroje, pri večjih pa enostavnejše enooperacijske stroje.



Izračunajte skupni čas za nastavitev in izdelavo operacij vrtanja, utorjenja in prireza po dveh različnih postopkih za serijo 100 kosov izdelka in 500 kosov izdelka. Rezultate obrazložite z vidika vpliva izdelavnih časov na postopke strojne obdelave.

Nastavitveni čas na enooperacijskih strojih je za vrtanje 20 min, utorjenje 30 min in prirez 5 min. Nastavitveni čas na 5 osnem CNC stroju je za vse tri operacije 40 min. Izdelavni časi na enooperacijskih strojih so za vrtanje 12 s, utorjenje 18 s in prirez 10 s. Izdelavni čas za vse tri operacije je na 5-osnem CNC stroju 46 s.

Rešitev: Skupni čas za vse tri operacije pri seriji 100 kosov na enooperacijskih strojih je 121,7 min in na 5-osnem CNC stroju 116,7 min. Skupni čas za vse tri operacije pri seriji 500 kosov na enooperacijskih strojih je 388,3 min in na 5-osnem CNC stroju 423,3 min.

Čase izdelave se ne skrajšuje samo z investicijami temveč tudi z organizacijo in sistematizacijo dela pri nastavljanju (npr. SMED).

Izbira obdelovalnega stroja in postopka vpliva tudi na porabo energentov (električne energije, energije za odsesavanje zraka, stisnjenega zraka) in določa prostor, ki je potreben, da se določen postopek izvede.

Lesnoobdelovalni stroji se uporabljajo za preoblikovanje lesa in lesnih tvoriv ter tudi umetnih snovi in kompozitnih materialov kot npr. wood-plastic composites (WPC), kerrock itd. Za isti obdelovalni postopek obstaja več tipov strojev.

Z novimi ugotovitvami, investicijami ali inovativnimi predlogi se določen postopek s časom lahko spreminja. Investicije v tehnologijo se v lesni branži redko povrnejo prej kot v štirih letih. Na drugi strani pa lesnoobdelovalni stroji tudi hitro zastarajo, ker se zaradi konkurenčnosti neprestano pojavljajo nove rešitve. Razvrstitev strojev ter izbira glede na zahteve in izhodišča, sta predstavljeni v poglavju 10.



V podjetju so imeli tehnološko opremo za izdelavo noge stola (zadaj) po različnih postopkih (tabela 1, str. 7). Oba postopka sta se začela z vhodno surovino suh žagan les.

Tabela 1: Zaporedje operacij pri procesu izdelave noge stola

Operacije pri prvem postopku	Operacije pri drugem postopku
<i>decimeranje elementov</i>	<i>decimeranje risanih elementov</i>
<i>debelinjenje in formatni obrez</i>	<i>poravnavanje in debelinjenje</i>
<i>krivljenje na visokofrekvenčnih stiskalnicah</i>	<i>rezkanje oblike</i>
<i>poravnavanje in debelinjenje</i>	<i>vrtanje, utorjenje, čepljenje</i>
<i>rezkanje oblike</i>	<i>brušenje</i>
<i>vrtanje, utorjenje, čepljenje</i>	
<i>brušenje</i>	

Vir: Lasten

Oba postopka sta zagotavljala enako končno kvaliteto elementa. Razlika je bila v času izdelave in v izkoristku materiala. Dodatna operacija krivljenja lesa je podaljšala izdelavni čas pri prvem postopku. Kljub večjim stroškom zaradi daljšega časa pa so se v podjetju odločili, da bodo nogo izdelovali po prvem postopku, saj se zaradi boljšega izkoristka materiala izdelek naredi ceneje.

Produktivnost ni vedno najpomembnejši faktor pri odločanju o izbiri optimalnega postopka.

Osnovni kriteriji uporabnosti strojev (Geršak, 1998) so:

- **produktivnost**, ki ni odvisna samo od kapacitete stroja, temveč tudi od zanesljivosti obratovanja, obstojnosti rezalnega orodja, možnosti hitre nastavitve in zamenjave orodij (pri avtomatiziranih strojih so izgube delovnega časa odvisne od brezhibnosti delovanja stroja);
- **kvaliteta obdelave**, ki je odvisna od vseh tehničnih karakteristik stroja in materiala (stroji z večji stopnjo avtomatiziranosti omogočajo večjo kvaliteto);
- **ekonomičnost**, ki je odvisna od investicijskih stroškov in stroškov obratovanja (stroški vzdrževanja in porabe energije).

Npr. na nekaterih strojnih delih kot so transportni valji in delovne mize se med delom nabirajo iveri, lesni prah, smola itd. V kolikor odpadkov in umazanije ne odstranjujemo, se pojavi moteno podajanje obdelovancev in posledično slabša obdelava.

Na obdelavo neposredno vplivajo tudi ustrezno čiščenje strojev, vzdrževanje in splošni varovalni ukrepi za delo z lesnoobdelovalnimi stroji. Velike rezalne hitrosti, hrup, prah idr. lahko povzročajo poškodbe in obolenja, ki ravno tako vplivajo na poslovni rezultat in neposredno tudi na kvaliteto in izdelavne čase. Praviloma imajo novejši stroji boljše sisteme za zaščito.

Kriteriji uporabnosti strojev so med seboj tudi povezani. »Z izboljšanjem kakovosti je možno povečati produktivnost, ki se odraža v boljši konkurenčnosti organizacije. Izboljševanje kakovosti se odraža v zmanjšanju popravil, zmanjšanju potrebne delovne sile, znižanju potreb materialnih virov idr. Izhodi organizacije bodo doseženi z manj napora (stroški). Investicije v popravila in neustrezne izdelke, kar je zelo drago, bodo odpravljene. Nižji stroški pa omogočajo povečanje konkurenčnega položaja na trgu (Lah, 2009).

Proces skrajševanja izdelovalnih časov in izboljševanja kvalitete poteka v konkurenčnih podjetjih kontinuirano.



Na kakšen način?

Z lastnim razvojem, izobraževanjem in inovacijami, s spremljanjem novitet pri prodajalcih strojne opreme ali s sodelovanjem z njimi in z dobavitelji rezalnega orodja, s spremljanjem konkurenčnih podjetij, z investicijami idr. Običajno se naložbe po namenu spremenijo v odvisnosti od tega, ali so gospodarstva v recesiji ali v konjunkturi. Obseg naložb v racionalizacije in inovacije je v času recesije velik in v času konjunktura majhen, obseg naložb v razširjeno produkcijo pa je v času recesije majhen in v času konjunktura velik.



POVZETEK

Pri strojni obdelavi se postavlja vprašanje o najugodnejših oziroma optimalnih pogojih dela, na katere vpliva obdelovalni postopek, obdelovalni stroj, orodje in obdelovanec (Kopač, 2008). Zato je potrebno poznati spremenljivke (slika 1, str. 9), ki vplivajo na proces odrezovanja, in stroške dela. Spremenljivke so predstavljene v poglavjih 2, 3 in 4.

Podjetje mora za obstoj na trgu med drugim obvladovati stroške poslovanja. Stroške, ki nastanejo pred vhomom v proizvodni proces, stroške, ki nastanejo v proizvodnem procesu, in tiste, ki nastanejo po končanem proizvodnem procesu. Osnovni cilji pri obvladovanju in zmanjševanju stroškov v proizvodnem procesu so narediti hitreje, enostavneje, s čim nižjo porabo oziroma gospodarjenje z resursi (material, orodje, energija, prostor) in zagotoviti kvaliteto, ki jo zahteva kupec.

NA PROCES ODREZOVANJA VPLIVAJO			
OBDELOVALNI POSTOPEK	OBDELOVALNI STROJ	ORODJE	OBDELOVANEC
- žaganje - rezkanje - skobljanje - vrtanje - struženje ...	- velikost (togost) - način pogona - natančnost - nastavitvene vrednosti odrezovanja ...	- geometrija - rezalni material - obstojnost rezila	- material (gostota, vlažnost ...) - dimenzije - površina ...

Slika 1: Preglednica spremenljivk, ki vplivajo na proces odrezovanja in stroške
Vir: Klemenšek, 2010, 170

Praviloma nova tehnologija povečuje storilnost in je ekonomska nuja vsakega podjetja. Investicije pa so pogojene s specifičnimi lastnostmi podjetja in proizvodnje oziroma okolja, v katerem neko podjetje deluje ali bo delovalo (npr. plače, cena materialov, cena energije, pogoji financiranja idr. variira od okolja do okolja). Če tega ne upoštevamo, so lahko učinki investicije ravno nasprotni in dvigajo stroške.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Razložite, zakaj se vrednost strojne ure razlikuje od podjetja do podjetja oziroma od strojnega do ročnega dela. Z vidika dejavnikov strojne obdelave predlagajte izboljšave, s katerimi lahko podjetje vpliva na konkurenčnost na trgu.
2. Kdaj je smiselno izvesti investicijo in v katero tehnologijo?
3. Stroški izdelavnega časa in stroški materiala (vhodne surovine) se na trgu spreminjajo. Kaj pomenijo te spremembe z vidika izdelavnih časov in postopkov strojne obdelave?
4. Obdelovalni stroji vplivajo tudi na kadrovsko strukturo zaposlenih, pretočnost proizvodnje in organizacijo dela. Zasnуйте in določite prednosti, izzive, slabosti in nevarnosti (SWOT analiza), ki nastanejo:
 - a) pri manjši konzervativni proizvodnji brez CNC večstopenjskih strojev in
 - b) pri večji moderni proizvodnji, ki je zasnovana samo s CNC stroji.

2 ODREZOVANJE Z ORODJEM V OBLIKI KLINA



Izvedena je bila raziskava obdelave MDF vlaknene plošče na miznem rezkalnem stroju. Cilj naloge je bil ugotoviti vpliv geometrijskih kotov (prsni ali cepilni kot) na **kvaliteto obdelave** oziroma na **obrabo orodja**.

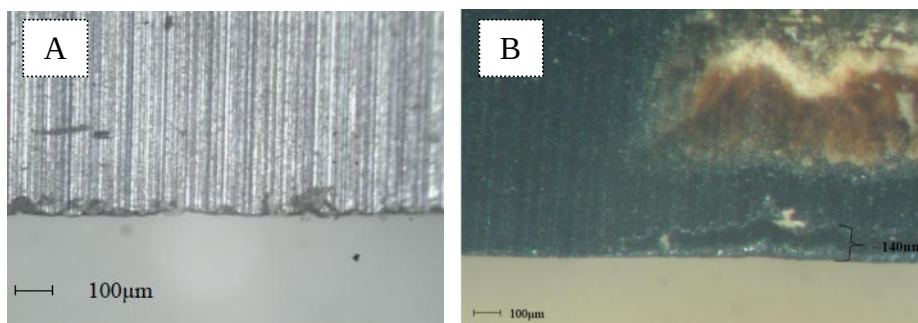
S tem namenom so razvili orodje, s katerim je bilo možno spreminjati prsni kot. Vseh ostalih parametrov obdelave (hitrosti, material ...) niso spreminjali.

Začetna predpostavka je bila, da bo kvaliteta površine pri manjših prsni kotih (5°) boljša kot pri večjih (25°). Pri zelo majhnih kotih (0°) prihaja do velikih obremenitev. Pri velikih prsni kotih pa prihaja do frakturacije in pri MDF ploščah do zatrgovanja (Rudolf, 2009, 50).

Ugotovljeno je bilo, da je kvaliteta obdelane površine (globina hrapavosti) boljša pri večjem prsnem kotu. Z odrezovanjem pa ni bilo možno doseči kvalitete, ki bi bila primerna za končni nanos barv (Rudolf, 2009, 50).

Pri spremljanju obrabe rezil so ugotavljali, kako geometrija orodja vpliva na življenjsko dobo rezila. Obrabo rezalnega roba so pogledali pod mikroskopom in tako ugotovili, kateri prsni kot je bolj primeren.

Pri prsnem kotu 5° je prišlo do loma majhnih delcev (slika 2 A, str. 10) na področju rezalne konice (krušenje zaradi velikih obremenitev na konico). V primeru prsnega kota 25° pa je prišlo do največje obrabe rezalnega roba (slika 2 B, str. 10), ki je bila vidna kot otopitev (med procesom nastanka odrezka v območju rezalnega roba je prihajalo do povišane temperature zaradi tornih razmer).



Slika 2: Obraba rezalnega roba (prosta ploskev) pri prsnem kotu 5° (A) in 25° (B)
Vir: Rudolf, 2009, 42, 47

Končna ugotovitev je bila, da je najprimernejši prsni kot od 10° do 15° . Ker z odrezovanjem ne moremo doseči zadovoljive kvalitete za končni nanos barv, je smiselno izbrati geometrijo orodja, ki **omogoča čim daljšo življenjsko dobo**.

2.1 KAJ JE ODREZOVANJE?

Odrezovanje je osnovni postopek obdelave, s katerim spreminjamo obliko obdelovanca. Pri odrezovanju se delci materiala z rezilom odstranjujejo iz obdelovanega lesa. Postopek se lahko izvede z geometrijsko določeno obliko rezila (Klemenšek, 2000).

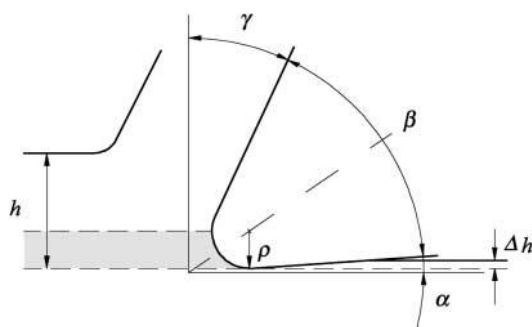
Večina vrst rezalnega orodja ima rezalno konico v obliki klina z ravnim rezalnim robom. Rezalni klin prodira v les in plast materiala prehaja v odrezek, ki odteka po prsni površini rezila (slika 3, str. 11).

Odrezovanje poteka tako, da se v les zadrta klin pomika v smeri rezanja z določeno hitrostjo. Odvajanje odrezka od obdelovanca poteka na najbolj sprednjem robu ostrine rezila. Obdelana površina na spodnjem robu noža se stisne in se za vrednost elastične deformacije zopet zravna, kar je na sliki 6 označeno z Δh (reverzibilna deformacija); (Hlebanja, 1998; Bučar in Bučar, 2002).

Potek procesa razdvajanja lahko opišemo tudi kot:

1. Dotik rezila z lesom.
2. Pod vplivom sile se začnejo upogibati lesna vlakna (prodiranje). Ko se odpor lesa prekorači, pride do pokanja, trganja ali pretrganja lesnih vlaken.
3. Od tu naprej začne rezilo rezati. Pri rezanju sodelujejo vsi geometrijski elementi rezila. Rezalni rob prodira v smeri rezanja in pri tem dobimo površino rezanja. Na točki rezanja prihaja do pritiskanja vlaken, zato se površina po odrezu dvigne nad najnižjo ravnino, ki jo določa najnižja točka rezila.

Bučar in Bučar (2002, 147) navajata, da je snovni tok materiala pri odrezovanju razdeljen na dva dela. Del toka, ki drsi v odrezek, in del pod rezilom (temnejše področje na sliki 3, str. 11). Pojav imenujemo plužni efekt (*ploughing effect*), ki vpliva na komponente rezalnih sil. Zaradi anizotropnosti je plužni efekt najbolj izrazit v prečni smeri vlaken (čelni rez), kjer je tlačna trdnost vlaken največja in posledično tudi sila, ki je potrebna za gnetenje vlaken, ki se po prehodu rezila za elastično deformacijo zopet zravnavajo. Delež lesnih vlaken, ki se pri odrezovanju plastično deformirajo, je odvisen od razmerja med debelino odrezka (h) in radijem rezalnega roba (ρ). Teoretično nastane odrezek iz vlaken, ki so v območju $h - \rho$. Delež lesnih vlaken, ki se plastično deformirajo, narašča z naraščanjem nominalne debeline odrezka. Tudi sila rezanja se spreminja glede na debelino odrezka. Sprememba rezalne sile glede na spremembo debeline odrezka $\left(\frac{dF_t}{dh}\right)$ pa je bolj izrazita pri tanjših odrezkih kot pa pri debelejših, kjer je delež lesnih vlaken, ki drsijo pod rezilom, manjši.

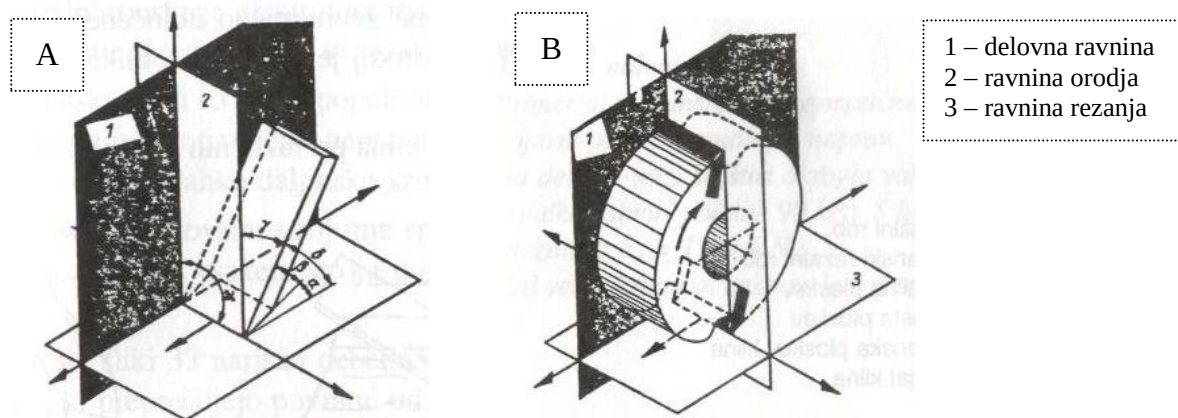


Slika 3: Odrezovanje – geometrijsko stanje (h – nominalna debelina odrezka, Δh – reverzibilna deformacija, ρ – radij rezalnega roba, α , β , γ – prosti, ostrinski in cepilni kot)
Vir: Bučar B., Bučar D. G., 2002, 147

2.2 REZALNE RAVNINE

Rezalne ravnine, ki so prikazane na sliki 4 (str. 12), moramo poznati zato, da določimo lego in obliko rezalnega klina.

V delovni ravnini, ki združuje smer reza in smer podajanja orodja, je viden nastanek iverja. Ravnina orodja je ravnina, ki gre skozi določeno rezalno točko navpično na smer rezanja. Pri vrtečem se orodju stoji ravnina orodja navpično glede na ravnino rezanja in poteka skozi središče osi orodja. Ravnina rezanja pa poteka skozi rezalni rob in stoji navpično glede na ravnino orodja (Geršak, 1998).



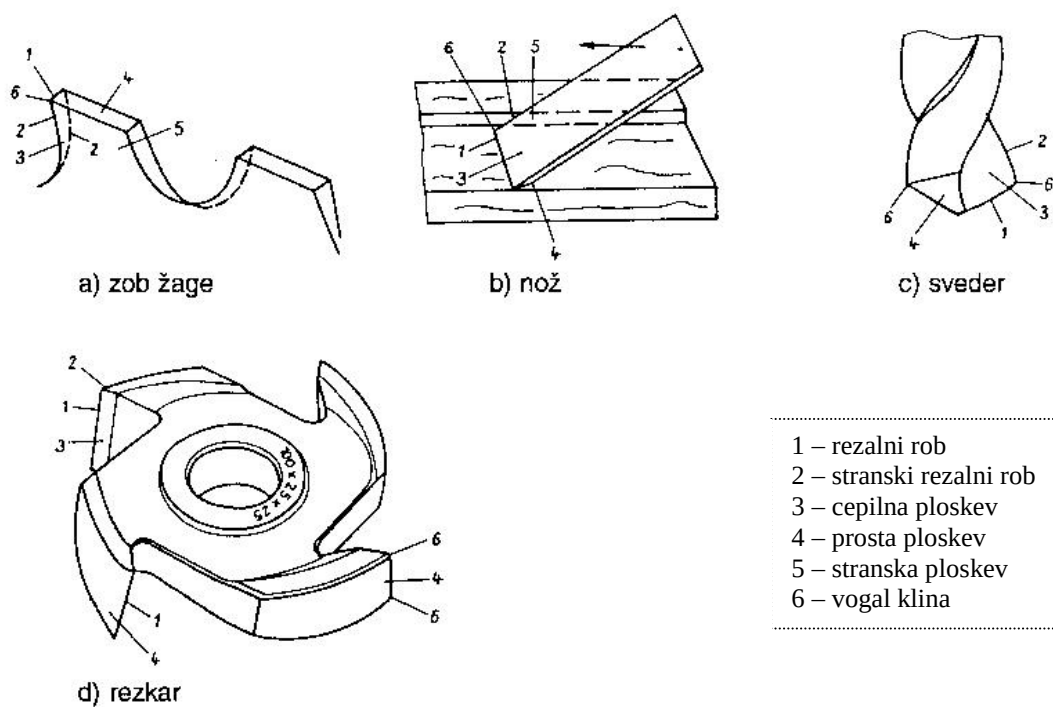
Slika 4: Ravnine rezanja pri premočrtnem (A) in rotirajočem (B) gibanju rezila

Vir: Geršak, 1998, 50

2.3 GEOMETRIJA REZILA

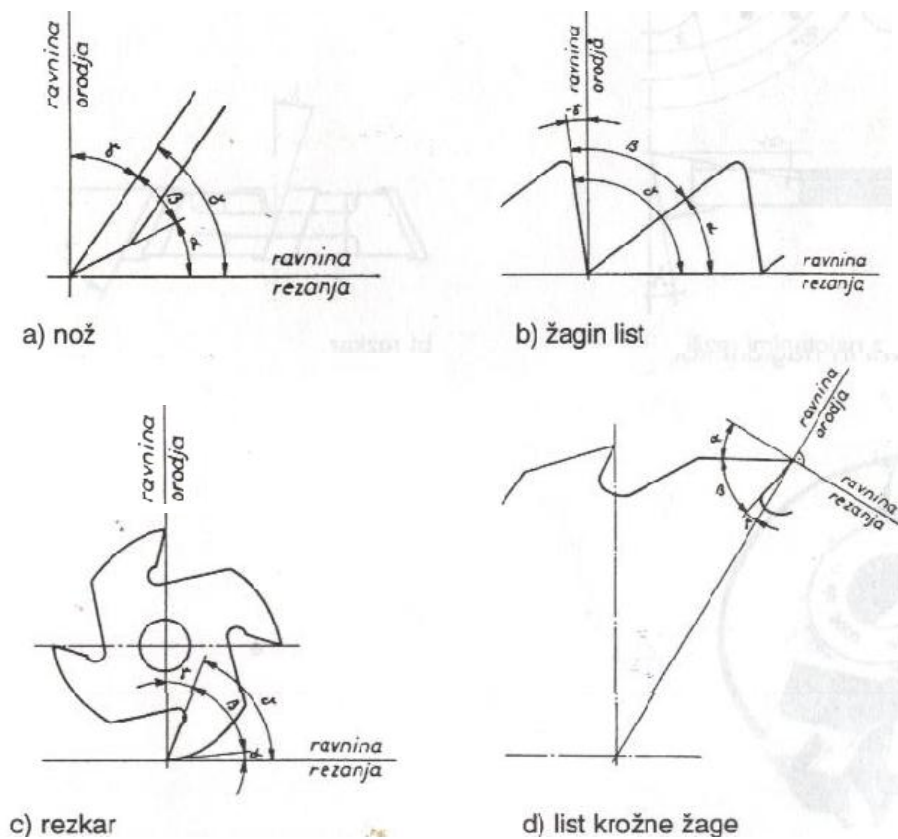
Pri strojni obdelavi ločimo orodje, ki ima geometrično določeno obliko rezila, kot npr. rezkarji, noži, žage in svedri, ter orodje, ki nima določene geometrične oblike, kot npr. brusni papir. Rezilo sestavljajo površine in rezalni robovi, kot je prikazano na sliki 5 (str. 13); (Grošelj et al., 1999):

- prsna površina ali cepilna ploskev (*rake face*), po kateri drsi odrezek;
- hrbtna površina ali prosta ploskev (*clearance face*) meji na rezalni rob in je obrnjena proti obdelani ploskvi obdelovanca;
- bočna površina ali stranska ploskev tvori stranski rezalni rob;
- rezalni rob (slika 3, str. 11), ki je dejansko vedno zaokrožen (radij od 10 μm do 0,1 mm pri skrhanih rezilih), je linija na preseku prsne in hrbtne površine;
- vogal klina je točka, kjer se stikata glavni rezalni rob in stranski rezalni rob.



Slika 5: Elementi rezalnega klina
Vir: Grošelj et al., 1999, 11

Koti rezalnega klina imajo ključno vlogo pri kvalitetnem odrezovanju.



Slika 6: Koti rezalnega orodja in način merjenja
Vir: Geršak, 1998, 51

Enostavno rezilo ima kote, ki so prikazani na sliki 6 (str. 13):

- α je **prosti kot** (*clearance angle*);
- β je **ostrinski kot** ali kot klina (*sharpness or wedge angle*);
- γ je **cepilni kot** ali prsni kot (*rake (noži) or hook (žage) angle*);

Kot rezanja (δ) je združen prosti (α) in ostrinski (β) kot.

Geometrijo rezil prilagajamo glede na vrsto materiala, ki ga obdelujemo (tabela 2, str. 14). V praksi se vrednosti kotov določajo izkustveno oziroma jih v osnovi določijo že dobavitelji orodja. Velikost kotov vpliva na proces iverjenja. Od kotov so odvisne sile rezanja.

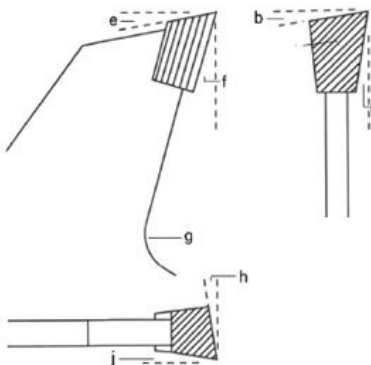
Tabela 2: Vrednosti kotov rezila v odvisnosti od vrste materiala

	JEKLO	KARBIDNE TRDINE	
	naravni les	iverne plošče	umetne mase
prosti kot (α)	15°–18°	12°–15°	10°–15°
ostrinski kot (β)	42°–45°	55°–58°	60°–70°
cepilni kot (γ)	30°	20°	10°–15°

Vir: Grošelj et al., 1999, 13

Poleg osnovnih kotov se pri orodju iz karbidnih trdin (npr. krožna žaga) uporablja še bočne kote oziroma napadalne in nagibne kote, kot je prikazano na sliki 7 (str. 14).

- b – **nastavni kot** se meri v ravnini orodja in je kot med ravnino rezanja in glavnim rezalnim robom; pri čelnem rezu preprečuje zatrgovanje lesa. Pri rezkalnih glavah se kot poljubno nastavi;
- c – **bočni radialni prosti kot**, ki zagotavlja, da ne pride do trenja bočne površine zoba ob obdelovanec in s tem do prekomernega segrevanja rezila;
- e – **prosti kot** (α);
- f – **cepilni kot** (γ);
- g – žleb, po katerem drsi odrezek;
- h – **nagibni kot** je merjen v ravnini orodja in je kot med glavnim rezalnim robom in ravnino orodja (omogoča potezno rezanje);
- j – **bočni tangencialni prosti kot**.



Slika 7: Koti rezalnega orodja (krožna žaga)

Vir: WPIF, 2008, 2

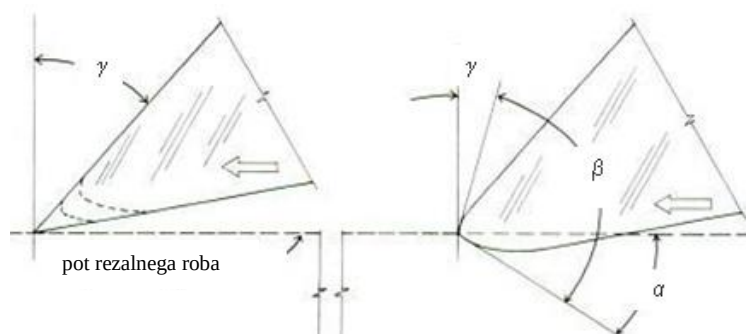
2.4 VPLIV GEOMETRIJE REZILA NA OBDELAVO LESA

Koti klina vplivajo na velikost sil, ki nastanejo pri odrezovanju, in na kvaliteto obdelave.

Prosti kot mora biti tako velik, da hrbtna površina ne ustvarja trenja na površini rezanja. Pri premajhnem prostem kotu se hrbet rezila drgne ob obdelano ploskev in povzroča nečisto ali zažgano površino.



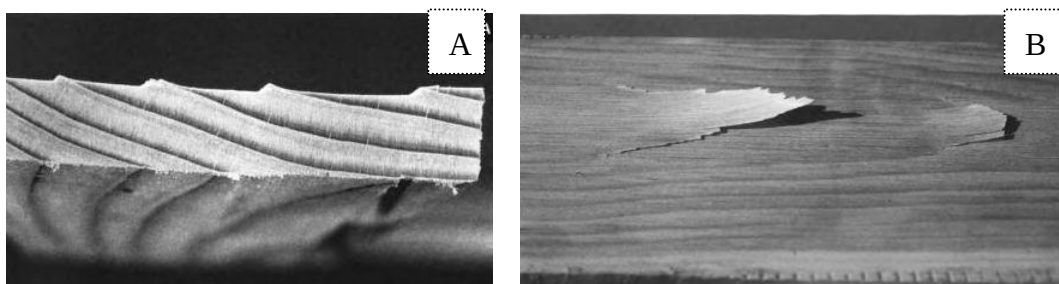
Pri obdelavi lesa prihaja do obrabe rezila. Ostro rezilo otopi. Najbolj sprednja točka ostrine (rezila) ni več najnižja točka pri obdelavi. Spremenijo se koti rezalnega orodja. Prosti kot lahko postane negativen, kot je prikazano na sliki 8 (str. 15).



Slika 8: Sprememba kotov rezalnega orodja pri obrabi rezila (otopelost)

Vir: Hoadley, 2000, 164

Udarci otopelega rezila povzročajo poškodbe na obdelovancu. Rezultat neenakomernega pritiskanja na vlakna pri odrezovanju je neenakomerno dviganje (deformacija) vlaken, ki je izrazitejša pri iglavcih in se lahko pojavi kot tlačna porušitev celične strukture v ranem lesu. Zato se vlakna v ranem lesu dvignejo manj kot v kasnem lesu (slika 9 A, str. 15). V ekstremnih primerih se pojavi celo luščenje vlaken, kot je prikazano na sliki 9 B (str. 15); (Hoadley, 2000).



Slika 9: Neenakomerno dvignjena vlakna ranega in kasnega lesa (A) ter luščenje vlaken (B) pri rotacijskem odrezovanju kot posledica otopelosti rezila

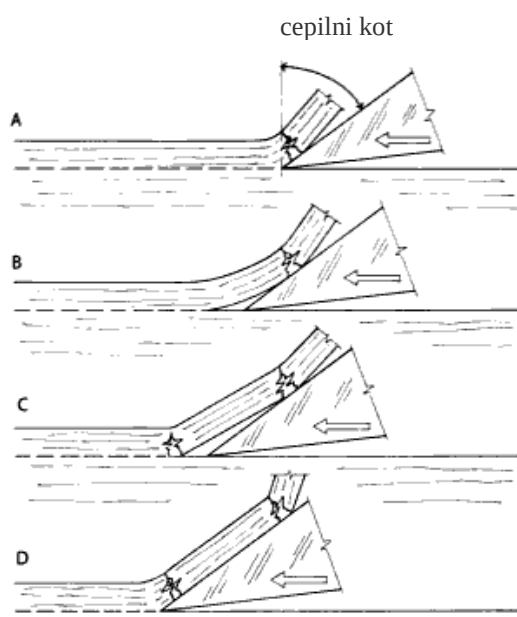
Vir: Hoadley, 2000, 164

Kot klina oziroma **ostrinski kot** med drugimi vpliva na trdnost in ostrino rezila. Pri obdelavi trdega materiala mora biti kot večji kot pri obdelavi mehkega. V kolikor je rezilo iz krhkega materiala (npr. karbidne trdine), mora imeti večji kot.

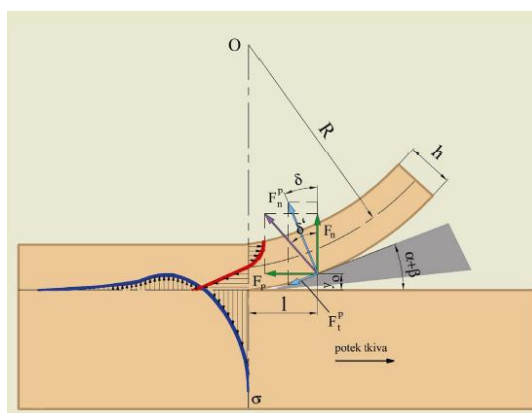
Večji **cepilni** oziroma **prsni kot** omogoča manjše sile rezanja, površine so manj hrapave. Manjši kot povzroča strganje rezila in večjo obrabo konice. Pri rezanju trdega lesa (npr.

robinija) moramo imeti manjši prsni kot. Krožne žage za čelno rezanje imajo lahko negativen cepilni kot (obdelava brez vpliva rotacije na obdelovanec oziroma nekontroliran pomik rezila v smeri rezanja – poteg).

Vpliv cepilnega kota na obdelavo lesa lahko nazorno prikažemo z nastankom odrezkov pri skobljanju v vzdolžnem rezu. Rezilo loči lesna vlakna in tako nastane odrezek (slika 10 A, str. 16). Pri odrezovanju odrezek drsi po cepilni ploskvi. Prihaja do upogibanja odrezka in predcepljenja, kot je prikazano na sliki 10 B (str. 16) (porušitev lesa v smeri rezalne ravnine zaradi napetosti, ki nastane pravokotno na vlakna pred konico rezila). Na sliki 11 (str. 16) je prikazana porazdelitev napetosti v lesu, ki nastane pri odrezovanju zaradi delovanja rezalnih sil. Ko napetost v odrezku pred konico rezila doseže natezno porušitveno napetost lesa, pride do ponovnega zloma odrezka (slika 10 C, str. 16). Rezalni rob se pomakne proti mestu porušitve. Rezilo začne odrezovati nov segment odrezka, kot je prikazano na sliki 10 D (str. 16); (Hoadley, 2000).



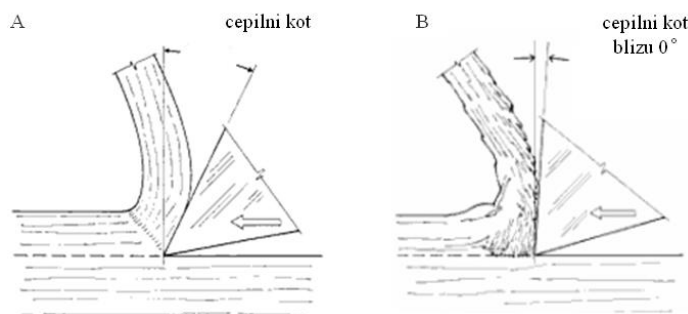
Slika 10: Proces rezanja in nastanek odrezka tipa I v ravnini rezanja $90^\circ - 0^\circ$
 $(\alpha = 15^\circ \beta = 45^\circ \gamma = 30^\circ)$
 Vir: Hoadley, 2000, 161



Slika 11: Porazdelitev nateznih (modra) in tlačnih (rdeča) napetosti v lesu pri odrezovanju v ravnini rezanja $90^\circ - 0^\circ$

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje06-nastanek_odrezka.pdf, (23. 12. 2010)

Če se cepilni kot poveča, se zmanjša trenje odrezka po prsni površini in zmanjša se upogibna napetost v odrezku. Pri tem izgubimo efekt lomljenja in večja je nevarnost zacepitve lesa. Če se cepilni kot zmanjša, se pred rezilom pojavi večje tlačno območje in manjše območje, kjer se lesna vlakna dvigujejo navzgor. Porušitev se pojavi v strižni diagonalni ravnini, kot je prikazano na sliki 12 A (str. 17). Pri odrezovanju je potrebna večja rezalna sila, ker je potrebno premagovati še tlačni odpor. Pri tanjših odrezkih in majhnih cepilnih kotih se lahko doseže zelo kvalitetno površino (Hoadley, 2000).



Slika 12: Odrezek tipa II (A) in odrezek tipa III (B) v ravnini rezanja $90^\circ - 0^\circ$
Vir: Hoadley, 2000, 162

Pri zelo majhnih ali celo negativnih cepilnih kotih (strganje) se rezalna sila prenaša v največji meri na tlačno območje. Pri porušitvi lesnih vlaken se poškodovane celične strukture gnetejo pred rezilom in ustvarjajo zagozde, ki prenašajo rezalno silo pred rezalni rob. Zaradi tega prihaja do porušitve lesnih vlaken pod ravnino rezanja. Površina in odrezek sta nepravilne oblike, kot je prikazano na sliki 12 B (str. 17); (Hoadley, 2000).

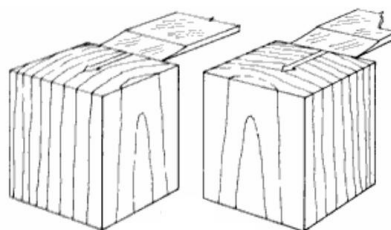
2.5 SMERI REZANJA

Za odrezovanj lesa je pomembno, v katerem prerezu lesa prodira konica rezila. Ločimo tri osnovne smeri rezanja: čelni rez, vzdolžni rez, prečni rez.

2.5.1 Čelni rez ($90^\circ - 90^\circ$)

Kot med rezalnim robom in vzdolžnim potekom lesnega tkiva je 90° . Kot med smerjo prodiranja rezalnega orodja in vzdolžnim potekom lesnega tkiva je 90° (slika 13, str. 17).

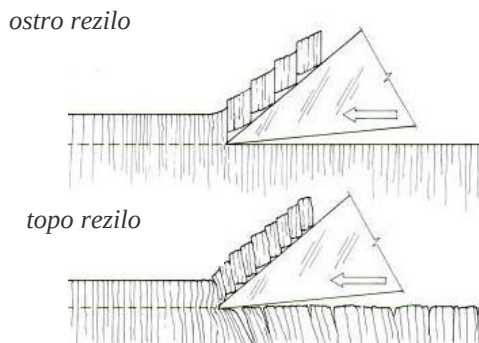
Pri čelnem rezu se odrezki drobijo in so zrnate oblike (slika 14, str. 18). Potrebna je večja sila rezanja kot pri prečnem in vzdolžnem rezanju. Nevarnosti zacepitve ni, obdelana površina pa je hrapava. Problem je iztrgovanje lesa ob robu obdelovanca.



Slika 13: Premočrtno rezanje tip $90^\circ - 90^\circ$
Vir: Hoadley, 2000, 161



Pri odrezovanju v čelni smeri mora rezilo odrezati lesno tkivo prečno glede na vzdolžni potek celične strukture (strižna deformacija in porušitev). Zaradi tega topo rezilo ali rezilo z majhnim prsnim kotom drastično poškoduje obdelovano površino (tlačenje lesnega tkiva pravokotno na smer vlaken). Posledica tlačenja so upognjena vlakna in razpoke v površini kot je prikazano na sliki 14 (str. 18). Zato je potrebno pri čelnem rezu zagotavljati večji prsni kot, majhen kot klina in ostro rezilo (Hoadley, 2000).



Slika 14: Premočno rezanje z ostrim in otopenim rezilom ($90^\circ - 90^\circ$)

Vir: Hoadley, 2000, 165

Dejansko pri obdelavi prihaja do kombiniranja različnih smeri rezanja. Npr. rezkanje ročnega opirala iz bukovega lesa zahteva rez $90^\circ - 0^\circ$ in rez $90^\circ - 90^\circ$, zato je potrebno prilagoditi geometrijo rezila tako, da dosežemo ustrezno kvaliteto obdelane površine in čim manjšo obrabo rezila.

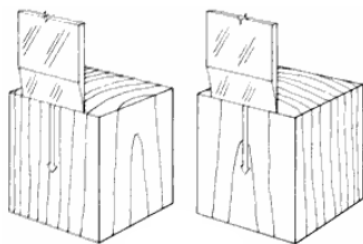


Kako se sprememba smeri rezanja (npr. iz vzdolžnega v čelni rez) odraža na rezalni ravnini pri obrabljenem rezilu?

2.5.2 Vzdolžni rez ($90^\circ - 0^\circ$)

Kot med rezalnim robom in vzdolžnim potekom lesnega tkiva je 90° . Kot med smerjo prodiranja rezalnega orodja in vzdolžnim potekom lesnega tkiva je 0° (slika 15, str. 18).

Tipični primer obdelave v vzdolžni smeri je skobljanje (npr. ročno skobljanje). Odrezki so dolgi. Sila rezanja je manjša kot pri čelnem rezu. Razlikujemo rezanje proti lesnim vlaknom (nastanek zacepitve) in rezanje za lesnimi vlakni, ki ne povzroča zacepitve, površina pa je gladka (več v poglavju 3).



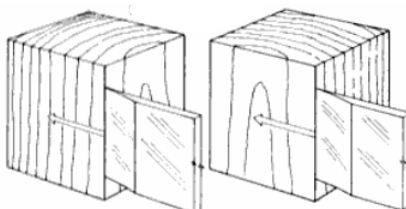
Slika 15: Premočno rezanje tip $90^\circ - 0^\circ$

Vir: Hoadley, 2000, 161

2.5.3 Prečni rez ($0^\circ - 90^\circ$)

Kot med rezalnim robom in vzdolžnim potekom lesnega tkiva je 0° . Kot med smerjo prodiranja rezalnega orodja in vzdolžnim potekom lesnega tkiva je 90° .

Odrezki se lomijo, nevarnost zacepovitve je majhna. V rezu $0^\circ - 90^\circ$ se reže furnir (slika 16, str. 19).



Slika 16: Premočno rezanje tip $0^\circ - 90^\circ$
Vir: Hoadley, 2000, 161



POVZETEK

Les je anizotropen material kar pomeni, da ima v raznih smereh različne fizikalne lastnosti. Anizotropija lesa je posledica pretežno aksialno usmerjenih lesnih celic in priraščanja v kolobarjih. Da je les anizotropen material, lahko vidimo pri obdelavi na njegovih glavnih treh prerezi: radialnem, tangencialnem in prečnem. Mehanske lastnosti v longitudinalni smeri so bistveno drugačne od radialnih oziroma tangencialnih.

Poleg poznavanje materiala je geometrija rezalnega orodja ključnega pomena, ker vpliva na:

- nastanek odrezka (pomembno pri rezanju oziroma odstranjevanju odrezka);
- kapaciteto stroja (z geometrijo rezila vplivamo na podajalno hitrost, s katero dosežemo ustrezno kvaliteto površine);
- obrabo rezila;
- nastanek rezalnih sil in določa porabo energije za odrezovanje;
- kvaliteto površine.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Pogonska moč motorja vpliva na porabo električne energije in konstrukcijo celotnega obdelovalnega stroja. Pogonsko moč izračunamo na podlagi moči, ki jo potrebujemo za rezanje (P_r). Moč za rezanje pa pri rotacijskem gibanju orodja izračunamo kot produkt sile (F_r) in hitrosti rezanja (v_r) s predpostavko števila zob rezila, ki režejo (z_i):

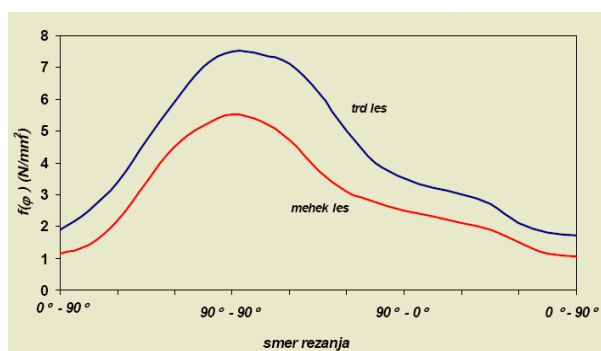
$$P_r = F_r \times v_r \times z_i$$

Rezalna sila (F_r) pri enem zobu je produkt specifične sile rezanja (f_s), debeline odrezka (h) (pri rotacijskem odrezovanju uporabljamo srednjo debelino odrezka) in širine odrezovanja (b).

$$F_r = f_s \times h \times b$$

Specifična rezalna sila (f_s) pove, kolikšna normalna sila je potrebna za porušitev orientiranega lesnega tkiva oziroma za tvorjenje odrezka presečne površine. Standardna specifična rezalna sila je v veliki meri odvisna od vrste lesa, rezalnih parametrov, orodja in vpliva tehnološkega postopka.

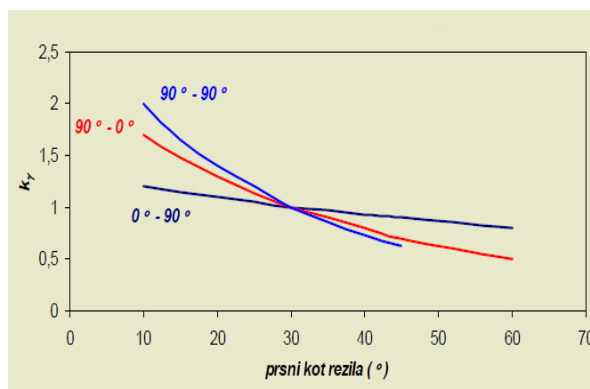
Utemeljite povezavo med smerjo rezanja, trdoto lesa in specifično rezalno silo, ki je prikazana na sliki 17 (str. 20).



Slika 17: Vpliv smeri rezanja na referenčno vrednost specifične rezalne sile

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf,
(26. 12. 2010)

2. Utemeljite povezavo med prsnim oziroma cepilnim kotom rezila (geometrija rezila) in specifično rezalno silo glede na smer odrezovanja, kot je prikazano na sliki 18 (str. 20).



Slika 18: Vpliv prsnega kota rezila na korekcijski koeficient specifične rezane sile (k_γ) v odvisnosti od smeri rezanja

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf,
(26. 12. 2010)

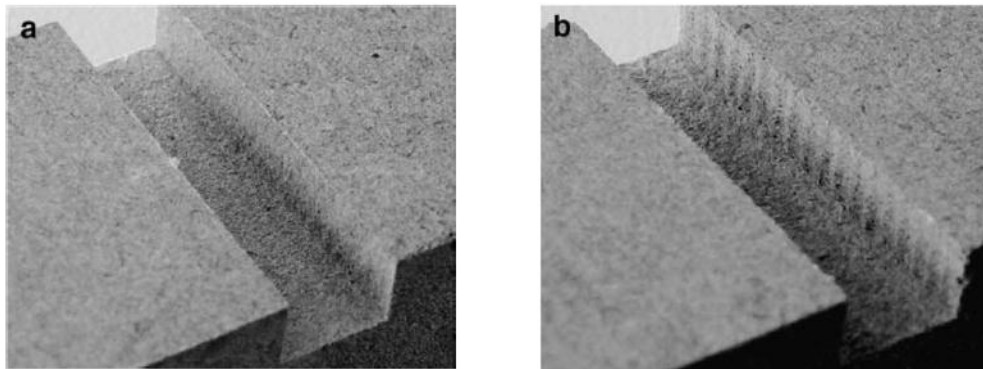
3. Na podlagi izhodišč iz naloge 2 oblikujte geometrijo rezila, ki bo omogočala optimalno odrezovanje lesa v vseh smereh (univerzalno rezilo).
4. Kako vpliva geometrija rezila na kvaliteto površine pri odrezovanju?
5. Kako med obdelavo ugotovimo, da je rezilo otopelo?
6. Zakaj je krožna žaga iz karbidne trdine najširša na rezalnem robu?

3 GIBANJE PRI ODREZOVANJU



Pri raziskavi obdelave MDF plošče so analizirali vpliv podajalne hitrosti na kvaliteto površine. Obdelava MDF plošče debeline 16 mm je bila izvedena z rezkalnim orodjem premera 8 mm. Globina reza je bila 5 mm (Davim et al., 2008).

Pri rezkanju so imeli enako število vrtljajev vretena in enake parametre na rezilu. Razlika v končni kvaliteti površine je bila zelo jasno vidna že s prostim očesom (slika 19, str. 21).



Slika 19: Prikaz rezkane površine MDF plošče s parametri podajanja 0,5 m/min (a) in 5 m/min (b)

Vir: Davim et al., 2008, 53

3.1 KAKŠNA GIBANJA POZNAMO?

Odrezovanje je osnovni postopek obdelave, s katerim spreminjamo obliko obdelovanca. Za odrezovanje pa je nujno gibanje. V osnovi ločimo **glavna** in **pomožna gibanja**. Glavna gibanja so gibanja, ki nastanejo med orodjem in obdelovancem med procesom odrezavanja. Pomožna gibanja pa so gibanja, ki ne vplivajo na nastanek odrezkov (http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/gibanja_pri_odrezavanju.html, 24. 12. 2010).

Pri pomožnem gibanju ločimo:

- **premik orodja** – definira gibanje, ki je potrebno, da orodje in obdelovanec dosežeta skupno točko, v kateri se začne proces rezanja;
- **vračanje orodja** – je gibanje, ki jih orodja ali obdelovanci opravijo, da se vrnejo v izhodišče.

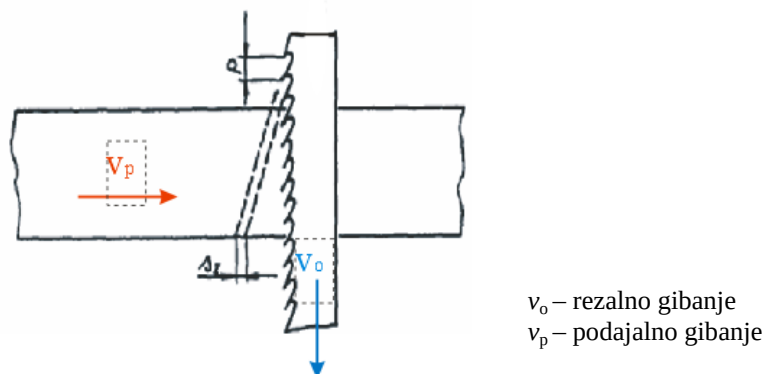
Pri glavnem gibanju ločimo:

- **rezalno gibanje** – je gibanje med orodjem in obdelovancem, zaradi katerega nastajajo odrezki;
- **podajalno gibanje** – dodaja vedno nov material pod orodje in je gibanje orodja v obdelovanec ali obratno.

Rezalno in podajalno gibanje lahko opravlja obdelovanec ali orodje. Izdelovalne postopke ločimo glede izvedbe rezalnih gibanj, ki so lahko premočrtna ali rotacijska oziroma krožna.

3.2 PREMOČRTNO REZALNO GIBANJE

Premočrtno rezalno gibanje se pojavlja pri žaganju s tražno žago (slika 20, str. 22), ročnem skobljanju (slika 21, str. 22), rezanju furnirja idr. Odrezek je po vsej dolžini enako debel. Rezalna površina je ravna (Grošelj et al., 1999).



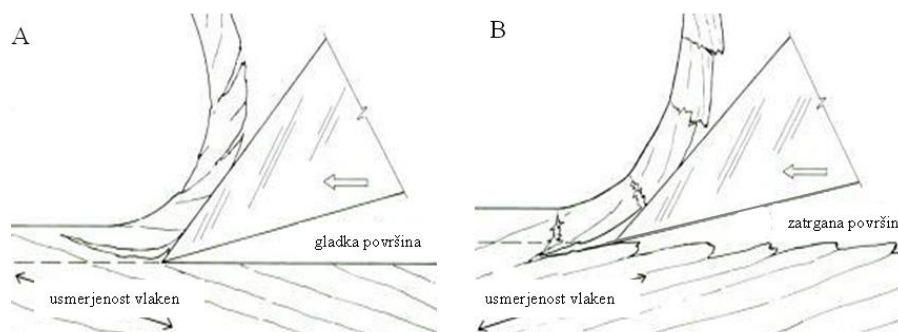
Slika 20: Premočrtno rezalno gibanje pravokotno na obdelano površino

Vir: Grošelj et al., 1999, 21



Pri premočrtnem odrezovanju z ročnim skobeljnim nožem v vzdolžni smeri $90^\circ - 0^\circ$ na kvaliteto površine med drugim vpliva usmerjenost vlaken. Ker je usmerjenost redko vzporedna z rezalno ravnino, se pojavlja odrezovanje proti smeri vlaken ali v smeri vlaken (slika 21 A, str. 22). Ker rezanje proti lesu povzroča zatrgano površino (slika 21 B, str. 22), se poskušamo tej smeri odrezovanja izogniti (Hoadley, 2000).

Odrezovanje proti lesu, velik cepilni kot, velika globina odrezovanja in velika dolžina vala, nizka (pod 6 %) ali previsoka vlažnost lesa povečujejo tveganje za nastanek "iztrganih" vlaken (chipped grain) na površini lesa. Lom nastane pred rezilom in pod nivojem obdelovalne površine (slika 35 C, str. 31); (Stewart, 2007).



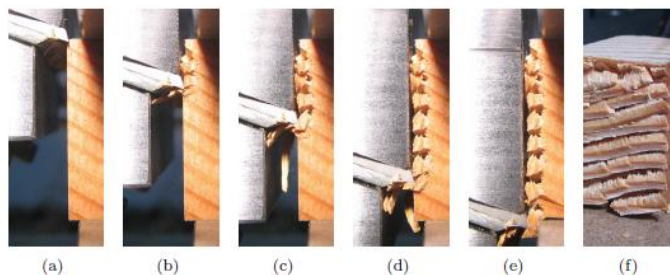
Slika 21: Odrezovanje za lesom (A) in proti lesu (B)

Vir: Hoadley, 2000, 163

Kadar govorimo o poteku aksialnih elementov ali usmerjenosti vlaken, ločimo potek aksialnih elementov kot posledico odklona rasti od navpične drevesne osi in odklon, ki je posledica različne orientiranosti vzorca oz. deske v deblu. Manjši odklon aksialnih elementov od navpične osi debla (položen potek, kjer je kot med 5° do 10°) in enakomerna širina prog predstavljata dekorativno posebnost in ne povzroča težav pri predelavi in obdelavi lesa. Intenzivnejši odkloni od navpične osi (strm potek, kjer je kot med 20° do 30°) pa predstavljajo oviro predvsem pri sušenju in obdelavi lesa (Čufar in Torelli, 1992).

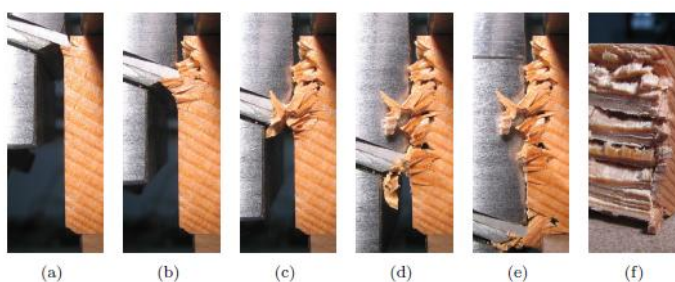


Na **kvaliteto površine** vpliva tudi globina odrezovanja. Večja je globina odrezovanja, slabša je površina (slika 22 in slika 23, str. 23) oziroma so pri odrezovanju potrebne večje rezalne sile (Giacomo et al., 2008).



Slika 22: Zaporedje odrezovanja (premočrtno gibanje) proti lesu (jelka) z globino odrezovanja 0,6 mm

Vir: Giacomo et al., 2005, 6

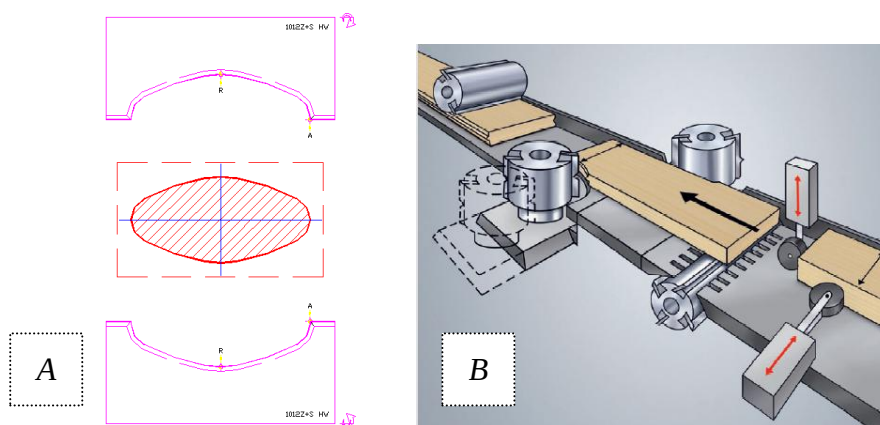


Slika 23: Zaporedje odrezovanja (premočrtno gibanje) proti lesu (jelka) z globino odrezovanja 1 mm

Vir: Giacomo et al., 2005, 7



Stroj je dimenzioniran za skobljanje elementov (bukev, robinija, hrast, češnja ...) maksimalne dimenzije (debelina 120 mm, širina 230 mm, dolžina ni omejena).



Slika 24: Presek elementa ter oblika profilnih nožev (A) in prikaz skobljanja elementov različnih širin s premičnimi glavami (B)

Vir:

[http://www.weinig.com/C1256FAF0043EEBF/vwContentByKey/W26DTHKK965ALPADE/\\$FILE/Prospekt_Unimat_Serie_E.pdf](http://www.weinig.com/C1256FAF0043EEBF/vwContentByKey/W26DTHKK965ALPADE/$FILE/Prospekt_Unimat_Serie_E.pdf), (21. 1. 2011)

Odstopanja v dimenziji (toleranca) vhodne surovine je ± 5 mm po debelini in ± 10 mm po širini. Razvit je bil nov izdelek, katerega element je imel obliko, kot je prikazano na sliki 24

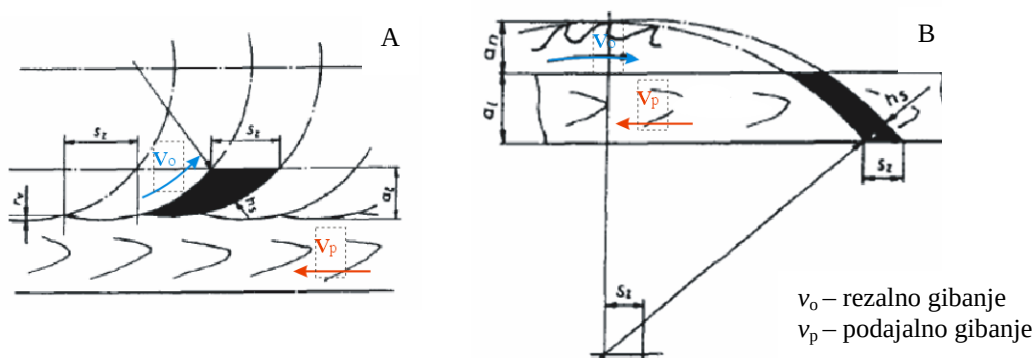
(str. 23). Kako lahko dosežemo kvaliteten rez, če ugotavljamo, da je pri prevelikem odjemu površina valovita in zatrgana?

3.3 KROŽNO REZALNO GIBANJE

Gibanje rezila je krožno oziroma rotacijsko pri skobljanju, rezkanju, žaganju s krožnim žaginim listom. Vrteče se rezilo zareže v obdelovanec po določeni krivulji (cikloida). Rezanje posameznih odrezov na površini lesa pušča izreze v obliki valov. Obdelana površina je valovita. Razdaljo med posameznimi odrezi imenujemo **dolžina vala** ali podajanje na zob s_z (slika 25 A, str. 24). Največjo globino odreza imenujemo **globina vala** r_v (slika 25 A, str. 24).

Pri rotacijskem gibanju nastane odrezek, ki nima enotne debeline in je zakrivljen (slika 26, str. 24). Na geometrijo odrezka vplivajo različni faktorji kot npr. dolžina vala, debelina odrezanega sloja, premer orodja idr. Geometrija odrezka je pomembna pri izračunu rezalnih sil. Rezalne sile, ki nastajajo pri odrezovanju, pa je smiselno poznati in kontrolirati zaradi:

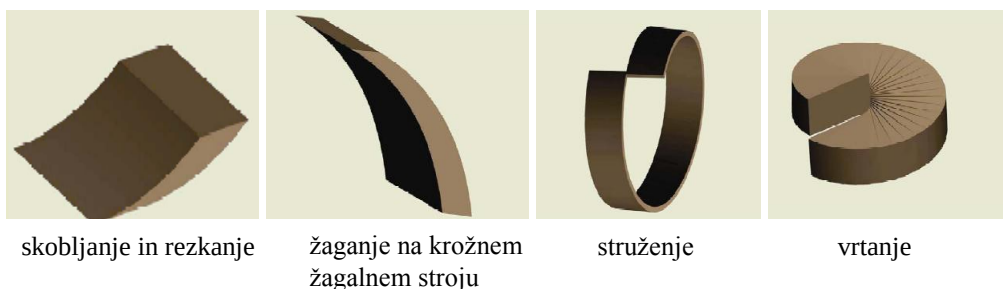
- določitve kvalitete površine;
- uporabnosti oziroma zmožnosti orodja;
- optimizacije rezalnih parametrov.



Slika 25: Rotacijsko rezalno gibanje (A – skobljanje, rezkanje; B – krožni žagin list)

Vir: Grošelj et al., 1999, 23

Osnova za izračun moči pogonskega stroja in s tem konstrukcije celotnega obdelovalnega stroja je moč odrezovanja ali koristna moč. Odrezovalno moč pa izračunamo iz sil, ki nastanejo pri odrezovanju.

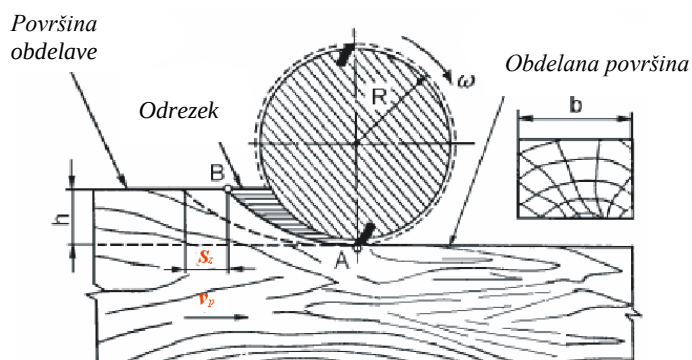


Slika 26: Značilne oblike odrezkov pri krožnem rezalnem gibanju

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje06-nastanek_odrezka.pdf, (23. 12. 2010)



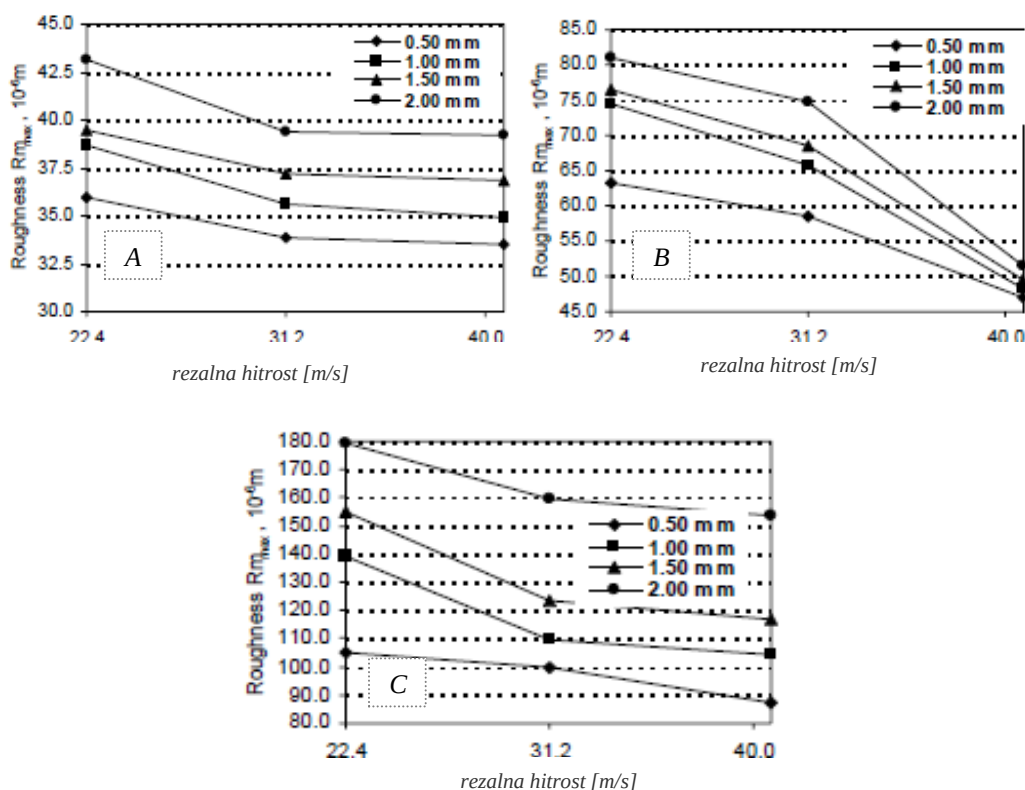
Pri raziskavi (Keturakis in Juodeikiene, 2007) kakovosti obdelane površine (hrapavost) pri krožnem odrezovanju (slika 27, str. 25) so analizirali vpliv rezalne hitrosti, podajalne hitrosti oziroma podajanja na zob ter obrabljenost rezalnega roba.



Slika 27: Tehnološka shema krožnega odrezovanja v vzdolžni smeri
Vir: Keturakis in Juodeikiene, 2007, 48

Preskus je bil zasnovan tako, da so spreminjali:

- rezalno hitrost (22,4 m/s, 31,2 m/s in 40,8 m/s),
- podajalno hitrost (od 2 m/min do 15 m/min),
- podajanje na zob oziroma dolžino vala (0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm in 2 mm)
- zaokroženost rezalnega roba, ki je prikazan na sliki 3 (str. 11); (radij rezalnega roba je 6,57 μm ; 20,4 μm in 40 μm)



Slika 28: Vpliv rezalne hitrosti na hrapavost površine ($R_{m_{\max.}}$) pri različnih podajanjih na zob
pri A: $\rho = 6,57 \mu\text{m}$; B: $\rho = 20,4 \mu\text{m}$; C: $\rho = 40 \mu\text{m}$
Vir: Keturakis in Juodeikiene, 2007, 50

Rezalni rob rezila iz specialnega jekla so pred obdelavo brezovega lesa modificirali/zbrusili z uporabo mikroskopa in digitalne kamere. Hrapavost obdelane površine ($R_{m_{\max.}}$) je bila merjena in izračunana kot maksimalna višina med vrhovi hrapavosti.

Ugotovili so, da ima na hrapavost površine (sliki 28, str. 25) največji vpliv obrabljenost rezila oziroma radij rezalnega roba. Večja je zaokroženost rezalnega roba, večja je hrapavost površine. Večja je rezalna hitrost, manjša je hrapavost obdelane površine. Večja je dolžina vala (podajanje na zob), večja je hrapavost obdelane površine.

Če srednja debelina odrezka narašča, narašča tudi rezalna sila. Posledično je večja tudi hrapavost površine.

3.4 REZALNA HITROST

Rezalna hitrost je hitrost gibanja orodja. Pri rotacijskem gibanju je rezalna hitrost neposredno odvisna od premera rezalnega orodja in vrtilne hitrosti (Grošelj et al., 1999):

$$v_o = \Pi \times d \times n$$

d – premer orodja

n – vrtilna hitrost delovne gredi [št. vrtljajev/min]

v_o – obodna rezalna hitrost [m/s]

Rezalna hitrost vpliva na produktivnost in na kvaliteto obdelane površine (slika 29, str. 27). Višja je hitrost, boljšo kvaliteto dosežemo oziroma večja je produktivnost. Dobra kvaliteta površine je opazna predvsem pri ranem lesu in pri odrezovanju za lesom. Pri prenizki rezalni hitrosti se pojavlja zgoščevanje lesnih vlaken. Rani les, ki ima nižjo gostoto od kasnega lesa, se stiska in ne odrezuje. Nastane lahko tudi zacepitev lesa in nekvalitetno obdelana površina. Pri kasnem lesu je kvaliteta obdelave zadovoljiva tako pri nizki kot pri veliki hitrosti (slika 29 B, str. 27); (Goli, 2007).

Pri preveliki hitrosti je odrez premajhen, rezilo strga po površini in se močno segreva. Posledica tega so zažigalne lise na obdelani površini.



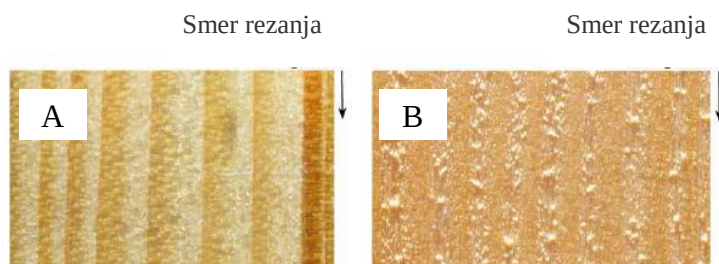
Razmislite in razložite kako rezalna hitrost vpliva na obrabo rezil.

Rezalna hitrost je odvisna od rezalnega orodja in od materiala, iz katerega je rezilo. V tabeli 3 (str. 26) so prikazane priporočene vrednosti za rezalne hitrosti.

Tabela 3: Priporočene vrednosti za rezalne hitrosti

Rezalno orodje	Orodno jeklo	Karbidna trdina	
Krožni žagin list	60 m/s –70 m/s	70 m/s –100 m/s	
Tračni žagin list	20 m/s –30 m/s		
Rezkar	30 m/s –50 m/s	45 m/s –70 m/s	
Brusni trak in brusni kolut (brušenje lesa)			16 m/s –22 m/s
Brusni trak in brusni kolut (brušenje laka)			7 m/s –11 m/s

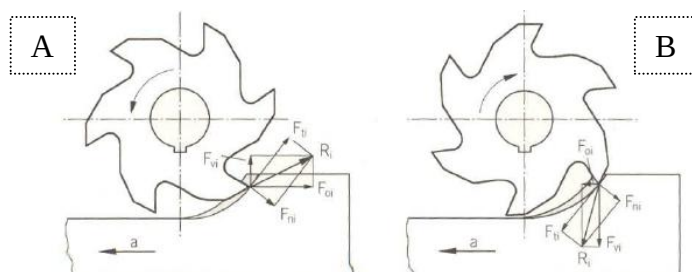
Vir: Grošelj et al., 1999, 24



Slika 29: Vpliv rezalne hitrosti pri ortogonalnem rezanju tangencialnih vzorcev (A – visoka hitrost (8 m/s) , B – nizka hitrost (5 mm/s)) na obdelano površino pri jelki; globina odrezovanja 0,2 mm, geometrija rezila iz volframovega karbida $\gamma = 20^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 55^\circ$
Vir: Goli, 2007, 6

3.5 PODAJALNO GIBANJE

Podajanje imenujemo gibanje obdelovanca pri obdelavi. Glede na smer podajanja poznamo protismerno (slika 30 A, str. 27) in istosmerno (slika 30 B, str. 27) podajanje, ki se uporablja pri npr. predrezilih pri krožnih žagah.



Slika 30: Protismerno (a) in istosmerno (b) odrezovanje pri krožnem rezalnem gibanju
Vir: Giacomo, 2007, 43

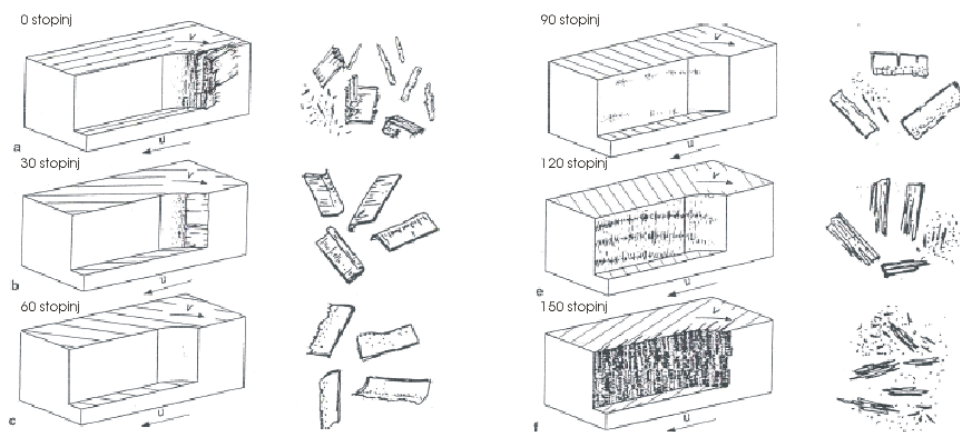
Pri protismernem podajanju se les pomika proti rotirajočemu rezilu. Odrezek je najdebelejši po izstopu rezila iz lesa. Pri protismernem podajanju rezalni rob noža zareže v vlakna in dviga les, ki se cepi. Na ta način se zmanjša sila rezanja in poraba električne energije. Zato obstaja nevarnost zacepovitve, ki pa je odvisna tudi od poteka lesnih vlaken (slika 31, str. 28). Npr. pri protismernem odrezovanju in 150° kotu poteka lesnih vlaken glede na ravnino rezanja se pojavlja rezanje proti lesu (slika 31 (str. 28) in slika 21 B (str. 22)), kar močno vpliva na kvaliteto površine (zatrgana površina).

Večina mizarских strojev ima ročno podajanje. Pri teh strojih se uporablja protismerno podajanje (Grošelj et al., 1999).



Zakaj se pri mizarских strojih (ročno podajanje) uporablja protismerno podajanje?

Pri istosmernem podajanju se les premika v smeri vrtenja rezila (slika 30 B, str. 27). Odrezek je najdebelejši pri vstopu rezila v les in se proti izstopu tanjša. Zacepitev pred rezilom ni možna. Uporablja se večje podajalne hitrosti (Grošelj et al., 1999).



Slika 31: Vpliv poteka lesnih vlaken (kot med potekom lesnih vlaken in ravnino rezanja) na odrezovanje pri protismernem krožnem rezalnem gibanju (u – smer podajanja)

Vir: Giacomo, 2007, 23

3.6 PODAJALNA HITROST

Hitrost gibanja obdelovanca proti pritrjenemu orodju ali premik orodja proti pritrjenemu obdelovancu imenujemo podajalna hitrost. S podajalno hitrostjo se določa kapaciteto stroja in debelino odrezanega sloja (Prošek et al., 2001).

Podajalno hitrost pri obdelavi lesa določimo s pomikom obdelovanca, ki ustreza odrezu enega zoba (s_z). Za zasuk orodja, ki ustreza enemu zobu ($z = 1$) potrebujemo čas t_z .

$$v_p = \frac{s_z}{t_z}$$

V času t_z se obdelovanec pomakne za pot s_z . Pri rotacijskem odrezovanju (slika 25, str. 24) velja:

$$t_z = (n \times z)^{-1} \quad v_p = s_z \times n \times z$$

Pri premočrtnem odrezovanju (slika 20, str. 22) velja:

$$t_z = \frac{P}{v_0} \quad v_p = \frac{s_z \times v_0}{P}$$

s_z – podajanje na zob (rezilo)

n – vrtilna hitrost delovne gredi
[št. vrtljajev/min]

z – število zob (rezilo)

v_p – podajalna hitrost (m/min)

v_0 – obodna hitrost koluta
tračnega lista (hitrost rezanja)

P – delitev zob lista

Pri strojih z avtomatskim podajanjem se podajalna hitrost uravnava. Podajalna hitrost je osnovni podatek za pravilno nastavitve stroja.

3.6.1 Dolžina vala pri rotacijskem gibanju

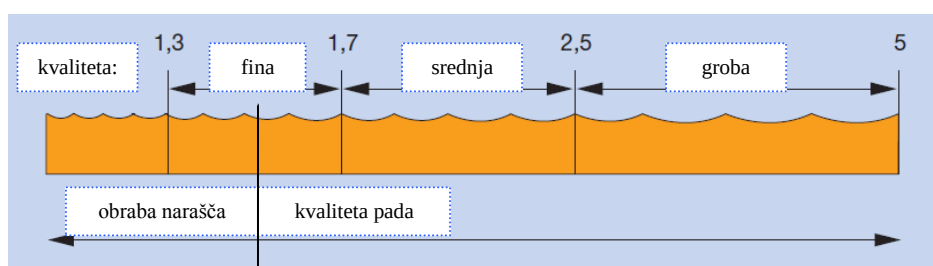
Dolžina vala s_z je razdalja med zaporedno nastajajočima rezalnima ploskvama. Dolžina vala ali podajanje na zob lahko definiramo tudi kot pomik obdelovanca, ki ustreza odrezu enega zoba (slika 23, str. 23). Dolžino vala izračunamo iz podajalne hitrosti (Geršak, 1998):

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

Dolžina vala je eden izmed pomembnih podatkov (metoda), ki nam določa kvaliteto obdelane površine. V odvisnosti od dolžine vala ločimo:

- površino za lepljenje (s_z manj od 0,2 mm);
- srednje kvalitetno površino (s_z od 0,2 mm do 0,4 mm);
- manj kvalitetno površino – gradbeni les (s_z več kot 0,4 mm).

Daljša je dolžina vala, manjša je gladkost obdelane površine (slika 32, str. 29). Če je dolžina vala krajša je kvaliteta površine boljša. Pri premajhni dolžini vala rezilo ne odrezuje, temveč strga po površini. Zato rezilo hitro otopi (Grošelj et al., 1999).



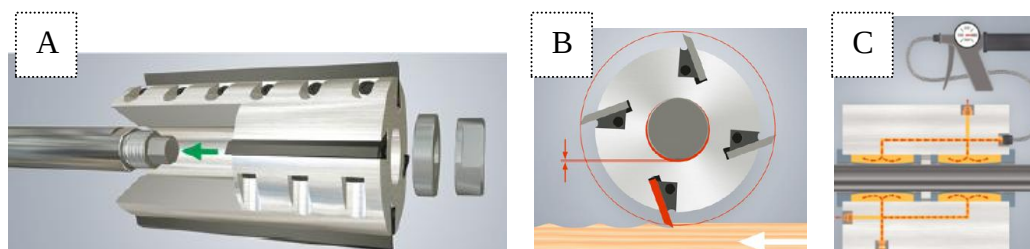
Slika 32: Vpliv dolžine vala na kvaliteto obdelave

Vir:

<http://www.weinig.com/C1256F98005C541E/vwContentByKey/W26AYRZ8000LUNAEN>,
(25. 12. 2010)



Pri konvencionalnem načinu pritrditve rezalnega orodja (skobeljanje) je potrebna določena toleranca (do 0,05 mm), ki omogoča, da se rezalna glava vpne na vreteno stroja (slika 33, str. 29). Zaradi tega odrezuje samo rezilo, ki je najbolj oddaljeno od osi oziroma se pri obdelavi zagotovi ustrezno kvaliteto samo pri nižjih podajalnih hitrostih.



Slika 33: Vpenjanje rezalnega orodja pri konvencionalnem skobeljnem stroju (A in B) in hidravlična pritrditev skobeljne glave (C)

Vir:

<http://www.weinig.com/C1256F98005C541E/vwContentByKey/W26AYRZ8000LUNAEN>,
(25. 12. 2010)

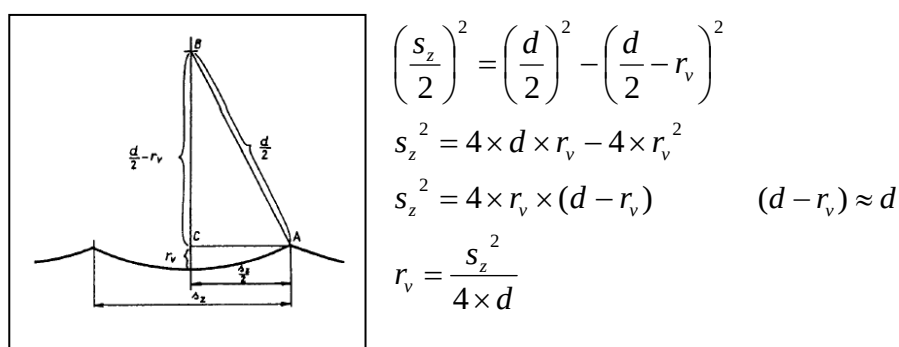
Podjetje Weinig, ki proizvaja skobeljne stroje, je razvilo osno simetrično pritrdjevanje s hidravličnim vpenjanjem (slika 33, str. 29). Da so vsi noži v istem rezalnem krogu, je potrebno poleg vpenjanja s toleranco 0,005 mm med glavo in vretenom zagotoviti tudi osno simetrično brušenje nožev (sistem brušenja rezil v glavi orodja).

3.6.2 Globina vala

Dolžina vala in globina vala sta v medsebojni odvisnosti. Globina vala je odvisna od dolžine vala in premera rezalnega orodja in se izračuna s Pitagorovim izrekom (slika 34, str. 30).

Tako kot dolžina vala je tudi globina vala eden izmed pomembnih podatkov (metoda), ki nam določa kvaliteto obdelane površine. V odvisnosti od globine vala ločimo (Prošek et al., 1999):

- zelo kvalitetno površino – vidna površina (r_v od 0,03 mm do 0,3 μ m);
- srednje kvalitetno površino – mehki les (r_v od 0,3 mm do 1,2 μ m);
- manj kvalitetno površino – konstrukcijske vezi (r_v od 1,2 mm do 10 μ m).



Slika 34: Izračun globine vala pri rotacijskem odrezovanju
Vir: Prošek et al., 2001, 86



POVZETEK

Tabela 4: Parametri, ki vplivajo na kvaliteto površine

		Parametri					
Napake na površini	vlaknata površina (tenzijski les) fuzzy grain	Obdelovanec	Vlažnost lesa	Obdelava	Podajalna hitrost	Orodje	Geometrija orodja
	"iztrgana" vlakna chipped grain		Rezalna hitrost				
	sledi iveri chip mark (slika 35 B, str. 31)		Gostota lesa		Globina odrezovanja		Obraba orodja
	"dvignjena" vlakna raised grain (slika 9, str. 15)				Usmerjenost vlaknen (smer podajanja)		
	iztrganina torn grain						

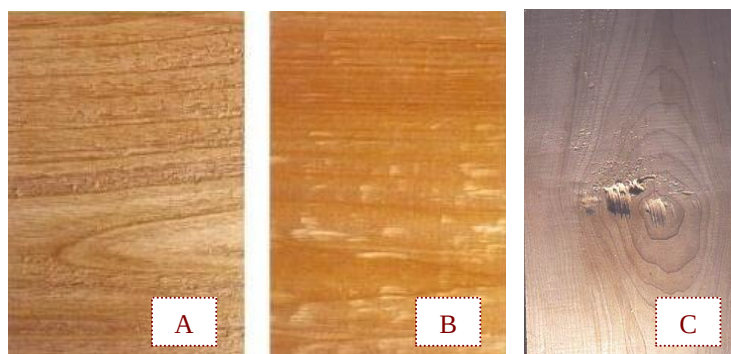
Vir: Ratnasingam et al., 2008, 2

Kvaliteta površine vpliva na nadaljnje obdelovalne procese, kot so lepljenje in površinska obdelava. V tabeli 4 (str. 30) so prikazani dejavniki obdelovanca, obdelave in orodja, ki vplivajo na nastanek napak na površini obdelovanca (Ratnasingam et al., 2008). Kvaliteta površine pri rotacijskem gibanju se določa tudi na podlagi dolžine ter globine vala, ki ga za seboj pusti rezilo. Poleg opisanega se lahko ustreznost obdelave kontrolira tudi s srednjo debelino odrezka (Geršak, 1998).



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

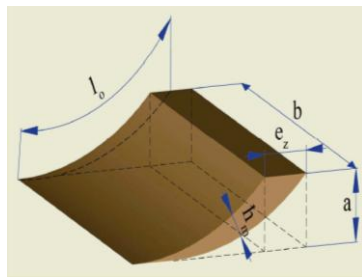
1. Vsaka kilovatna ura električne energije, ki je odveč porabljena zaradi neoptimalnega procesa odrezovanja, zahteva povečano obratovanje elektrarn in posredno onesnaževanje narave. Z vidika optimalne porabe električne energije pri odrezovanju ovrednotite pomen rezalne in podajalne hitrosti na porabo.
2. Kvaliteta površine ni odvisna samo od gibanja pri odrezovanju in geometrije orodja. Na sliki 35 A (str. 31) je prikazana volnata površina. Katere relevantne lastnosti lesa še vplivajo na kvaliteto in kako?
Na sliki 35 B (str. 31) so prikazane sledi, ki jih puščajo odrezki na površini in so povezane s problemom stroja. Razložite, kako bi lahko napako odpravili?
Na sliki 35 C (str. 31) so prikazana iztrgana vlakna na površini. Predlagajte ukrepe, ki bodo preprečevali nastanek napake.



Slika 35: "Volnata" površina (A), sledi iveri (B) in "iztrgana" vlakna
Vir: Hoadley, 2000, 165; Stewart, 2007, 1

3. Pri obdelavi s skobeljnim strojem nastajajo odrezki, ki nimajo enake debeline po celotni dolžini (slika 36, str. 32). Srednja debelina odrezka (h_m) je odvisna od dolžine vala (e_z), dolžine krožnega loka (l_0) in debeline odrezanega sloja (a). Dolžina krožnega loka je odvisna od premera orodja in debeline odrezanega sloja.
4. Manjša je srednja debelina odrezka (tanek odrezek; $h_m = 0,014$ mm do 0,04 mm), boljša je kvaliteta površine. Za grobo obdelavo velja, da so srednje debeline odrezka v intervalu od 0,16 mm do 0,4 mm. Manjša je srednja debelina odrezka, manjše so rezalne sile oziroma večja je specifična rezalna sila (slika 37, str. 32). Zakaj?

$$h_m = \frac{e_z \times a}{l_0}$$



e_z ali s_z – dolžina vala

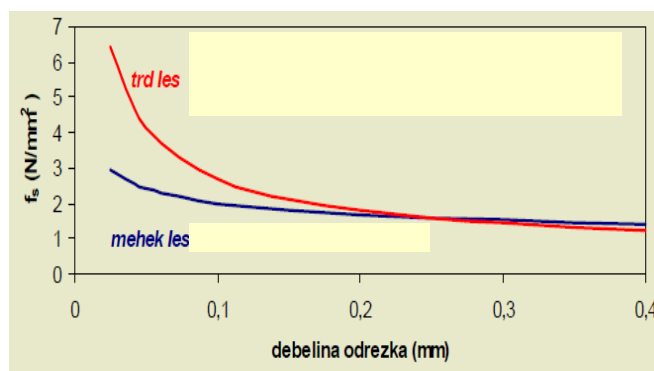
a – debelina odrezanega sloja

l_0 – dolžina loka, ki je odvisna od premera orodja in zasučnega kota rezila

Slika 36: Odrezek, ki nastane pri krožnem rezalnem gibanju

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje06-nastanek_odrezka.pdf, (23. 12. 2010)

S teorijo plužnega efekta utemeljite vpliv debeline odrezka na specifično rezalno silo in presodite, kakšna je minimalna debelina odrezka, da je storilnost orodja še zadovoljiva.



Slika 37: Specifična rezalna sila v odvisnosti od debeline odrezka in vrste lesa

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf, (26. 12. 2010)

4 REZALNO ORODJE



Slika 38: Vpliv otopelosti rezila na kvaliteto obdelave MDF plošče, oplemenitene s češnjevim furnirjem

Vir: Novoles d.d., (26. 12. 2010)

Pri končni kontroli so v podjetju ugotovili, da je mizna plošča na robu neustrezno obdelana (slika 38, str. 33). Zatrgan rob in odlepljen kosček furnirja na MDF oplemeniteni plošč, se je pojavljal samo v smeri rezkanja prečno na smer vlaken (furnir). V vzdolžni smeri je bila površina dobra.

Po analizi, kjer so ugotavljali vzroke za zatrganost, so ugotovili, da je obdelavo rezkanja opravljal nov operater, ki ni pravočasno zamenjal rezila oziroma ni opazoval kvalitete odrezovanja med procesom. HM rezilo se v povprečju brusi 2 do 3 krat na izmeno (odvisno od serije in materiala, ki se obdeluje).

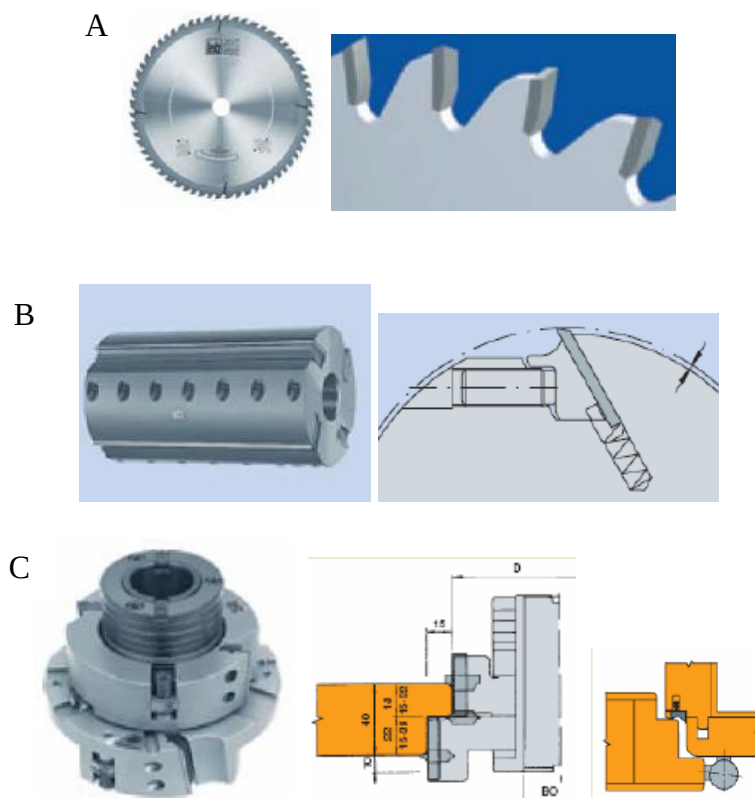
V podjetju so razmišljali tudi o uporabi diamantnih rezil. Rezilo se uporablja tako za obdelavo MDF kot tudi drugih plošč. Za zamenjavo se niso odločili, ker se v iverni plošči nahajajo kovinski delci, kamen ... Tako diamantno kot tudi HM rezilo se poškodujeta. Ker je cena diamantnih rezil visoka oziroma je strošek ostrenja višji kot pri HM rezilih, so se odločili za slednje.

Pri obdelavi lesa imajo rezalna orodja zelo pomembno vlogo. Na rezalnem orodju ločimo **nosilno telo**, katerega oblika je prilagojena funkciji in pritrditvi orodja na obdelovalni stroj, ter **rezilo**, ki ima obliko klina, da prodira v les (Grošelj et al., 1999).

Glede na izdelavo razlikujemo:

- **monolitno (enodelno) rezalno orodje**, ki je v celoti izdelano iz enega materiala in je običajno iz legiranega jekla (krožni žagini listi, rezkarji, svedri ...);
- **rezalno orodje z nalotanimi rezili** (slika 39 A, str. 34) ima nosilno telo iz žilavega materiala (jeklo) in rezilo (karbidne trdine) v obliki ploščic, ki so z lotanjem pritrjene na nosilno telo (krožne žage, rezkarji, svedri ...);
- **sestavljeno rezalno orodje** (slika 39 B, str. 34) je zgrajeno iz več delov, pri katerih se lahko rezila zamenjajo (skobeljne glave, rezkalne glave ...);

- **rezalne orodne garniture** (slika 39 C, str. 34), ki so sestavljene iz dveh ali več rezalnih orodij, med sabo pritrjenimi z vmesnimi obroči in zatiči (garniture za rezkanje okenskih profilov, brazdanje vrat ...).



Slika 39: Orodje z nalotanimi rezili (A), sestavljeno rezalno orodje (B), rezalna orodna garnitura za izdelavo brazde vratnih in okenskih kril (C)

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje17-pregled_oredja_za_obdelavo_lesa.pdf, (26. 12. 2010)



Kdaj uporabljamo določeno vrsto rezalnega orodja (vidik konstrukcije orodja – fleksibilnost; namen obdelave; vrsto podajanja; vrtilno hitrost vretena; material, ki ga obdelujemo; smer obdelave; zahtevane gladkosti površin)?

Orodja z nalotanimi rezili se uporabljajo tako pri obdelavi lesa kot pri obdelavi tvoriv. Prednost sestavljenih rezalnih orodij je predvsem v hitri oziroma cenovno bolj ugodni izdelavi profilov, ki jih določa izdelek.

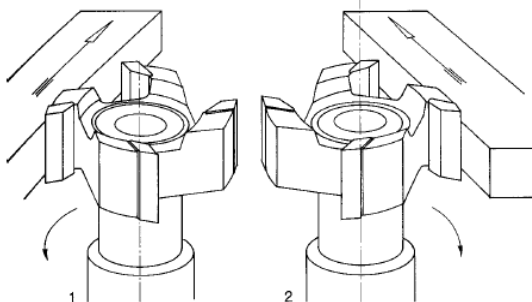


V podjetju so za rezkanje elementov miz in stolov uporabljali sestavljeno rezalno orodje. Rezila (profilni noži) so izdelovali sami. Na CNC stroju za oblikovanje šablon so oblikovali želeno obliko rezila. Na stroju za brušenje rezil pa so po šabloni izdelali rezilo. Enostavne oblike rezil so lahko izdelali v 4 h.

Orodje se vrti v smeri urinega kazalca (desno vrteče se orodje) ali proti smeri urinega kazalca (levo vrteče se orodje). Za določitev smeri vrtenja se izhaja iz smeri pogona orodja (slika 40, str. 35).



Zakaj oziroma kdaj uporabljamo desno in kdaj levo vrteča se orodja?



Slika 40: Desno vrteča se orodja (1) in levo vrteča se orodja (2)

Vir: Gfeller, 2000, 11

Ker lahko pri delu z lesno obdelovalnimi stroji pride do poškodb operaterjev, je potrebno upoštevati varnostna določila, kot so maksimalna vrtilna hitrost, način podajanja in omejitev debeline odrezka, pritrditev nožev, pravilen premer prirobnice idr. Vsako orodje ima določeno največjo vrtilno hitrost, od katere je odvisna tudi rezalna hitrost in produktivnost (tabela 3, str. 26).

4.2 REZALNI MATERIAL

Aktivni del orodja, rezilo, mora biti izdelano iz posebnega materiala, ki ga imenujemo rezalni material. Ta material mora ustrezati naslednjim zahtevam (http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/rezalni_materiali.html, 27. 12. 2010):

- imeti mora veliko trdoto, ki mora biti na vsak način večja od trdote obdelovanca, sicer rezanje ni mogoče; to trdoto pa mora obdržati tudi pri visokih temperaturah;
- imeti mora veliko trdnost in po možnosti čim večjo žilavost, da lahko prenese tudi vibracije in sunkovite obremenitve, ki nastanejo pri odrezovanju;
- mora biti odporen proti koroziji.

Za orodje se uporablja različne rezalne materiale kot npr. orodna jekla, hitrorezna jekla, karbidne trdine, diamant, prevlečeni rezalni materiali idr. Nelegirano jeklo je poceni, vendar je obstojnost rezil iz takšnega jekla majhna. Diamantni rezalni materiali so zelo dragi, a se zelo malo obrabljajo oziroma zagotavljajo veliko število identičnih profilov obdelovanca (zelo majhne spremembe oblike in dimenzije profilov). Izbira optimalnega rezalnega materiala za orodje vpliva na gospodarnost dela. Za odrezovanje pa ni bistvenega pomena samo rezalni material, ampak tudi geometrija rezila, rezalne hitrosti itd. (Klemenšek, 2010).

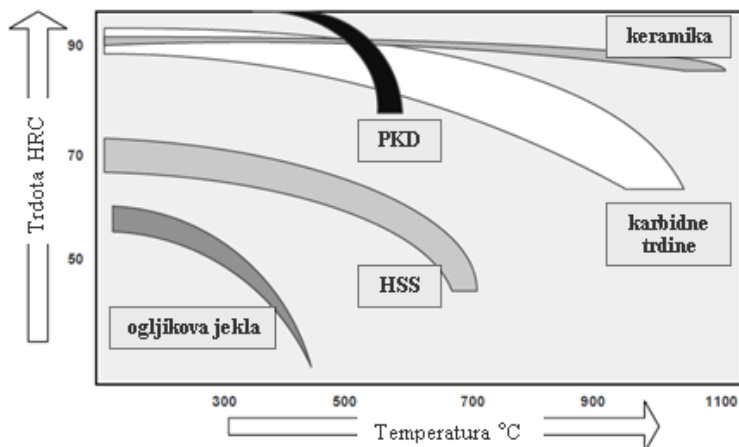
Več o rezalnih materialih lahko prebereta na <http://sl.wikipedia.org/wiki/Sintranje>, http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/rezalni_materiali.html, (27. 12. 2010).



Katere lastnosti rezalnega materiala so pomembne za obdelavo?

Trdota je odpornost snovi proti vrinjenju drugega tršega materiala in je močno povezana z **odpornostjo proti razenju, praskanju in drugim poškodbam površine**. Trdota je odvisna od temperature, kot je prikazano na sliki 41 (str. 36). Z višanjem temperature trdota pada. Temperatura rezila se pri obdelavi povečuje, kar ima za posledico padanje trdote.

Obrazložitev metode Trdota po Vickersu in Rockwellu je dostopna na naslovu http://si.wikipedia.org/wiki/Trdota_po_Vickersu, http://sl.wikipedia.org/wiki/Trdota_po_Rockwellu, (29. 12. 2020).



Slika 41: Vpliv temperature materiala rezalnega orodja na trdoto pri različnih materialih
Vir: Astakhov in Davim, 2008, 9



Zakaj je pri izbiri materiala za rezilo pomembna temperatura?

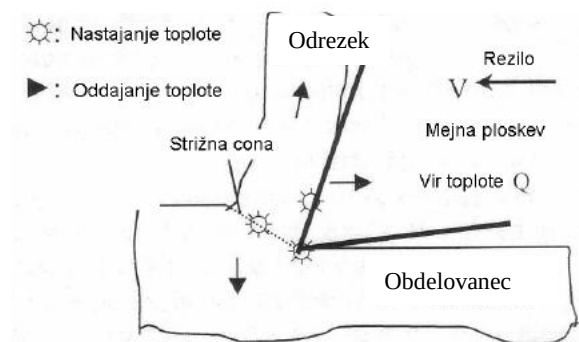
Energija, ki se pri procesu odrezovanja uporablja za nastanek odrezka, se pretvori v toploto. Toplota se razvija (slika 42, str. 37) v treh področjih (Jakopič in Plazar, 2001):

- področje strižne cone, kjer se toplota razvije zaradi deformacijskega dela pri premagovanju notranjega trenja;
- področje na cepilni ploskvi, kjer se razvija toplota zaradi trenja med odrezkom in cepilno ploskvijo orodja;
- področje na prosti ploskvi, kjer se razvije toplota zaradi trenja med obdelano površino in prosto ploskvijo orodja.



Vidic (Vidic, 2005) je analiziral vpliv tehnoloških parametrov struženja na temperaturo rezila. Ugotovil je, da notranje trenje v deformirajočem se materialu ter trenje, ki nastaja med odrezkom, obdelovancem in rezilom, vpliva na toplotne tokove. Delež notranjega trenja v deformirajočem se materialu je bil praktično zanemarljiv, kar pomeni, da je vsa toplota, ki se v deformacijskem območju rezila razvije, posledica tornih razmer med odrezkom, obdelovancem in rezilom (slika 42, str. 37).

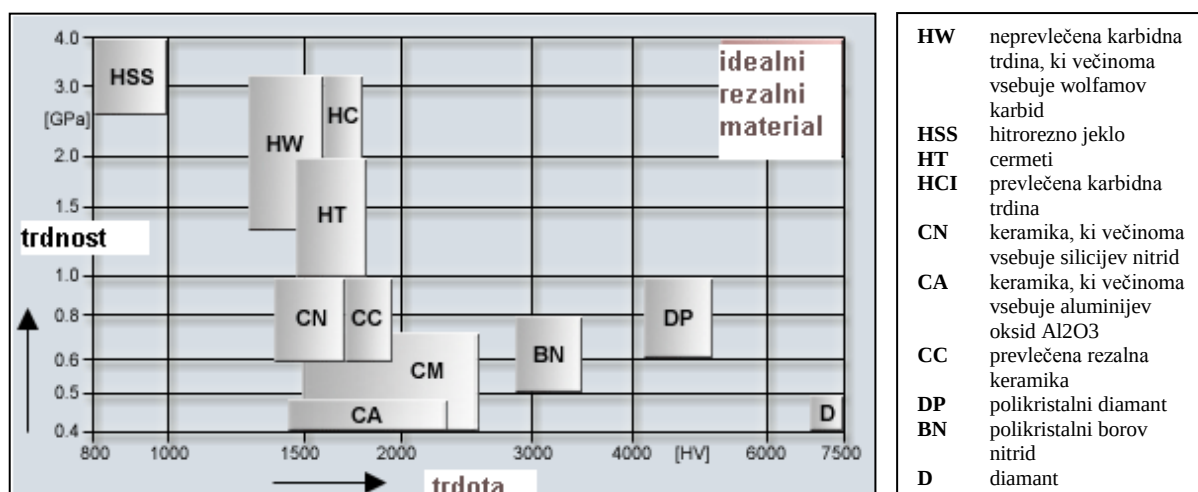
Temperaturo orodja so merili s termočlenom, ki je bil vstavljen pod izmenljivo ploščico nosilnega telesa noža. Izmerjene vrednosti temperature orodja pri struženju bukovega lesa in MDF plošče so nihale od 60 °C do 125 °C.



Slika 42: Mesto nastanka in porazdelitev toplote med odrezovanjem
Vir: Chiou in sod., 2003, 2

»Rezultati kažejo, da naraščajoča podajalna hitrost in globina odrezovanja povzročata povečanje toplotnih tokov oziroma dvig temperature orodja. Vlažnost obdelovancev ima v vseh primerih na temperaturo negativen vpliv« (Vidic, 2005, III)

Trdnost je odpornost materiala proti spremembi oblike. Trdnost materialov določamo eksperimentalno z obremenitvijo preizkušanca in merjenjem deformacije vse do porušitve. Glede na smer delovanja ločimo tlačno, natezno, upogibno, strižno, uklonsko in torzijsko ali vzvojno napetost in deformacije kot sploščitev ali zdrobitev, raztezek in upogib (<http://sl.wikipedia.org/wiki/Trdnost>, 31. 12. 2010).



Slika 43: Trdota in trdnost nekaterih rezalnih materialov
Vir: http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/rezalni_materiali.html, (28. 6. 2010)

Idealni rezalni material bi moral imeti čim večjo trdnost in čim večjo trdoto (slika 43, str. 37). Dejansko se pri rezalnih materialih s povečevanjem trdnosti zmanjšuje trdota in obratno.



Zakaj se pri obdelavi lesa za materiale rezila največ uporablja HSS in karbidne trdine?

Pri obdelavi ivernih in MDF plošč prevladujejo rezila iz karbidnih trdin. Deloma se uporablja tudi diamantna rezila. V tabeli 5 (str. 38) so prikazani najbolj pogosto uporabljeni materiali za rezila v lesno obdelovalni industriji.

Tabela 5: Raba materialov za rezila v lesno obdelovalni panogi

OZNAKA	MATERIAL	RABA	LASTNOSTI
WS	orodno jeklo (nelegirano)	nepomembno	+ VELIKA OBRABA MAJHNA - - ELASTIČEN TRDOTA KRHEK +
SP	orodno jeklo (legirano, delež do 5 %)	dleta, tračne žage, svedri za les, rezila za oblič	
SS	hitro rezno jeklo (legirano, delež do 12 %)	sveder za les in kovino	
HSS	hitro rezno jeklo (legirano, delež nad 12 %)	svedri za les in kovino, rezila za rezkanje, rezila za debelinjenje, skobljanje	
ST	stelitna jekla	dodatki pri rezkarjih in tračnih žagah, rezila za debelinjenje, skobljanje	
HM	karbidna trdina, sintrane kovine	dodatki pri žagah, rezkarjih, svedrih, tračnih žagah	
DP	polikristalni diamant	dodatki pri žagah, rezkarjih, svedrih	

Vir: Gfeller, 2000, 8

Orodna jekla dopuščajo zelo majhne rezalne hitrosti, trdoto pa obdržijo le do temperature 300 °C, zato se jih uporablja le za izdelavo orodij za ročno obdelavo.

Hitrorezna jekla (HSS) so zelo žilava in z veliko upogibno trdnostjo, zato so primerna predvsem za prekinjena rezanja. Trdoto obdržijo do 650 °C (Jakopič in Plazar, 2001).

Karbidne trdine (HM) s trdoto od 1300 do 1550 HV se uporabljajo za rezanje trdega in mehkega lesa. Karbidne trdine z visoko trdoto (1700 do 1800 HV) pa se uporabljajo za obdelavo ivernih, vlaknenih in vezanih ter oplemenitenih plošč. Karbidne trdine z visoko trdoto se uporablja tudi za obdelavo laminatov in ostalih plošč, ki so obdelane s sintetičnimi lepili (Grošelj et al., 1999). Rezalne ploščice, ki so običajno pritrjene na držalo iz konstrukcijskega jekla, obdržijo trdoto tudi pri temperaturi nad 1000 °C. V primerjavi s hitroreznimi jekli so karbidne trdine bolj krhke in občutljivejše na udarce in vibracije (tabela 5, str. 38). Pri udarnih obremenitvah HM ploščice počijo ali odstopijo.

Prevlečeni rezalni materiali (npr. tudi do 10 tankih prevlek debelin 0,2 µm) se uporabljajo za vse vrste rezalnega orodja manjših dimenzij (rezkarji, svedri ...). Menjajoča sestava materiala prevleke poskrbi, da si celotna prevleka deli naloge za zmanjšanje trenja, obrabno odpornost, odpornost proti difuziji idr. Prednost prevlek je predvsem, da lahko dosežemo večjo količino odrezanega materiala v enoti časa – produktivnost (Grošelj et al., 1999).

Diamant (npr. PKD – polikristalinični diamant) je uporaben le za fino obdelavo, pri kateri nastopajo majhne rezalne sile, pa še to samo v primeru, če imamo ustrezno tog in zelo mirno tekoč stroj.

Pri rezkanju poliestrskih materialov s HSS in HM rezili se le – ta zelo hitro obrabijo oziroma je površina neustrezna (cefranje gradiva). Zato se uporablja diamantna rezila, ki obdržijo ostrino (topo rezilo povzroča notranjo razcepitev) .



V podjetju so bila rezila in tehnologija prilagojena obdelavi masivnega bukovega lesa. Ker se je na trgu pojavila možnost prodaje izdelkov iz lesa robinije (pri venčastoporoznem lesu se v trakovih pojavljajo prizmatični kristali), ki je bil bolj primeren za uporabo na prostem, so z enakim orodjem poskusili obdelati les, za katerega je značilna nepravilna rast lesnih vlaken, drugačna dolžina lesnih vlaken in različna vlaga.

Pri rezkanju in skobljanju s HSS rezili so se le – ta hitro obrabila (1 do 2 tekoča metra obdelave). Zato so zamenjali rezila in obdelavo izvedli s HM rezili. S testiranjem optimalne trdote sintrnih trdin so ugotovili, da je najbolj primerna K05. Sprejemljiva je tudi K04, vendar se mora brušenje izvajati bolj pogosto. Pri skobljanju je bilo smiselno uporabiti spiralne rezkarje, saj se je rezilo pri običajnih skobeljnih nožih že po nekaj minutah skrhalo.

Za rezkanje določenih okroglin na nogi in naslonjalu (CNC center) se s HM rezili ni zagotovila kontinuirana oblika okrogline v seriji. Zato so se odločili in rezkanje izvedli s PKD rezili. V začetku se je testiral rezkar z 0,3 mm debelo diamantno ploščico. Zaradi velike občutljivosti na mehanske udarce in neenakomeren pomik rezkarja so ploščice odpadle že po nekaj urah obdelave, zato so debelino ploščic povečali na 1,5 mm. Obstočnost takšne ploščice je bila do 20 krat večja kot HM rezila.

Vzporedno s testiranjem materiala za orodje je bilo potrebno določiti tudi pomik obdelovanca pri obdelavi. Ugotovili so, da pri rezkanju in skobljanju pomik ne sme biti manjši od 6 m/min in ne sme biti večji od 8 m/min. Pri manjšem pomiku so se pri prehodu iz vzdolžnega na prečni les pojavile črne lise kot posledica zažganosti površine. Pri prevelikem pomiku pa je prišlo do volnate površine.

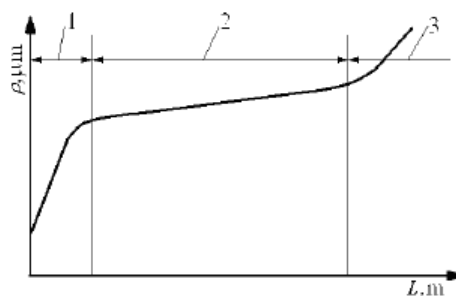
Pri obdelavi se je pojavil tudi problem rezalnih sil glede na smer vlaken. Pri čelnem rezu so se namreč pojavile tako velike sile, da se je obdelovanec premaknil iz vpetja oziroma se je les razletel na manjše koščke. Težavo so rešili z geometrijo orodja. Cepilni kot pri rezkarjih so nastavili na 12° (poglavje 2.3).

4.3 OBRABA REZIL

Med procesom odrezovanja je orodje obremenjeno s silami, ki jih povzročajo deformacije pri nastajanju odrezka, in s silami trenja med orodjem ter obdelovancem in orodjem ter odrezkom. Toplota, ki pri tem nastane, segreje orodje in material. Zaradi obremenitev orodje postopoma izgublja ostrino. Topo orodje pa ne odrezuje, temveč trga in tlači lesna vlakna.

Obraba nabrušenega orodja je v začetku hitra, nato dalj časa enakomerno počasi narašča, potem pa se zopet hitro poveča in rezilo otopi (slika 44, str. 39). Obraba je razdeljena na:

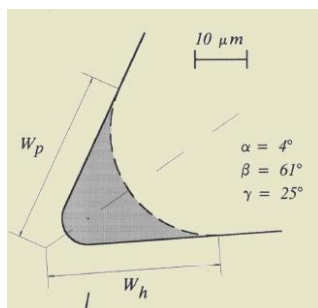
- 1 – začetno fazo obrabe, ki predstavlja 40 % do 60 % celotne obrabe in nastane v 5 % do 10 % celotne dolžine obdelanega materiala;
- 2 – fazo enakomerne obrabe, ki nastane zaradi mehanske obrabe (rezalni rob se segreje od 700 °C do 850 °C, zaradi česar pride do sprememb v strukturi materiala);
- 3 – fazo, v kateri rezilo ne odrezuje, temveč trga.



Slika 44: Obraba orodja (zaobljenost rezalnega roba – ρ) v odvisnosti od dolžine obdelanega materiala (L)

Vir: Keturakis in Lissauskas, 2010, 205

Obrabo rezil merimo na prsni in hrbtni površini, kot prikazuje slika 45 (str. 40) ali tudi z zaobljenostjo rezalnega roba oziroma s skrajšanjem konice (slika 3, str. 11). Merjenje obrabe orodja se največkrat izvaja z meritvami pod mikroskopom. Kot je bilo predstavljeno v poglavju o rezalnih materialih, je med drugim obraba odvisna od vrste materiala rezila in rezalne poti, kot je prikazano na sliki 46 (str. 40). Od primerjanih materialov je najbolj obstojno diamanatno rezilo in najmanj visoko legirano hitro rezo jeklo.

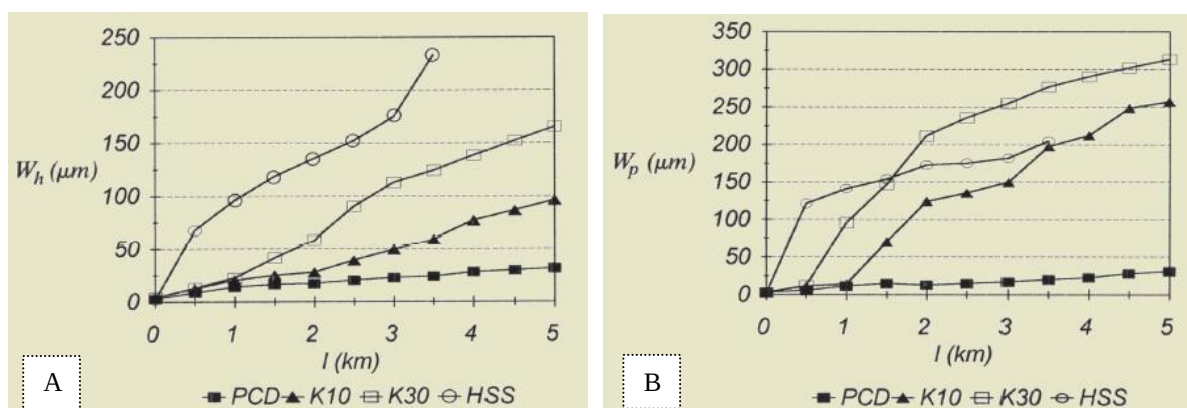


W_p – na prsni površini
izmerjena obraba rezila

W_h – na hrbtni površini
izmerjena obraba rezila

Slika 45: Parametri vrednotenja obrabe rezil

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje_18-Ostrenje_lesnoobdelovalnih_orodij-gradivo_za_seminar.pdf, (26. 12. 2010)

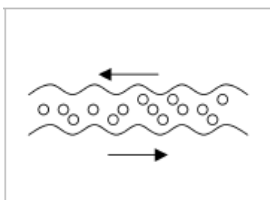


Slika 46: Na prsni površini izmerjena obraba rezila (A) in na hrbtni površini izmerjena obraba rezila (B) v odvisnosti od rezalne poti in materiala rezila (HSS – visoko legirana hitro rezo jekla; K10 – sintrana karbidna trdina trdote 1700 HV; K30 – sintrana karbidna trdina trdote 1300 HV; PCD – polikristalinski diamant)

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje_18-Ostrenje_lesnoobdelovalnih_orodij-gradivo_za_seminar.pdf, (26. 12. 2010)

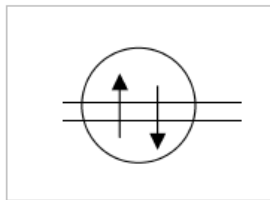
Zaradi obrabe orodja se poslabša kakovost obdelane površine, zatem se povečajo odstopki od dimenzij in oblike obdelovancev. Povečujejo se tudi rezalne sile in poraba moči. Posledica tega je tudi povečanje temperature, ki povzroči, da obraba ne narašča linearно, temveč progresivno, kot je prikazano na slika 44 (str. 39); (Jakopič in Plazar, 2001).

Na sliki 47 (str. 41) so prikazani vzroki za nastanek obrabe rezila. Abrazijska obraba npr. vpliva oziroma ima za posledico obrabo rezalnega roba (skrajšanje konice), obrabo prsne površine (npr. kotanje) ali celo lom.



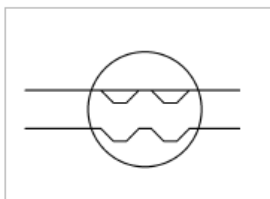
Abrazivna obraba

Mehanska obraba zaradi trenja med obdelovancem in orodjem (odnašanje materiala orodja pri prodoru tršega delca obdelovanca v njegovo površino). Pojavlja se predvsem pri hitroreznem jeklu.



Difuzijska obraba

Zaradi visokih temperatur in tlakov prihaja do migracije atomov med stičnima površinama orodja in odrezka. Difuzija železovih atomov (karbidne trdine) zrahlja kobaltovo vezivo, kar povzroči razpad volframovih karbidov (mehkejša cone).



Adhezijska obraba

Zaradi velik tlakov in visokih temperatur na dotikalnih točkah med orodjem in odrezkom pride do zlepljenja obeh materialov. Spoji se zaradi gibanja takoj porušijo. Slabše zasidrani delci orodja se odtrgajo iz rezila.



Termične napetosti

Napetosti, ki nastanejo zaradi visokih temperatur (400 °C do 750 °C) povzročajo pri dostopu kisika (karbidne trdine) nastanek oksidov z večjo prostornino, zaradi česar prihaja do luščenja materiala (korozivna obraba).



Mehanske napetosti

Napetosti, ki nastanejo zaradi vibracij, pritiskov, udarcev itd. povzročajo izpadanje delcev orodja ali kršenje rezalnega roba (utrujenost materiala).

Slika 47: Vzroki za nastanek obrabe orodja

Vir: <http://www.hssforum.com/UsefulInformationEN.pdf>, (4. 1. 2011)

Najpogostejše poškodbe rezil so:

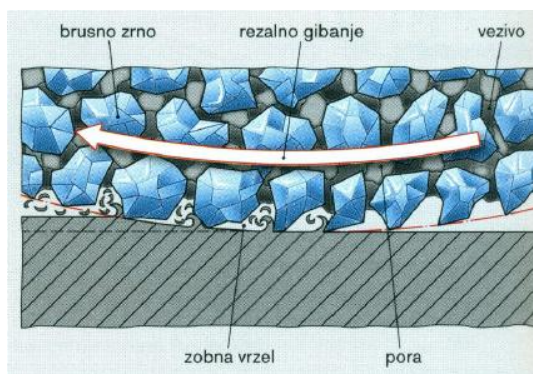
- **lom rezilnega roba**, ki nastane zaradi prisotnosti trdih tujkov v lesu ali nepravilne uporabe orodja (hitro podajanje – udarec). Lom nastopi, ko je prekoračena trdnost materiala.
- **krušenje rezilnega roba**, ki nastane zaradi napačne smeri rezanja brusa pri ostrenju rezil iz karbidnih trdin. Pojavi se lahko tudi zaradi uporabe pregrobage brusa ali vibracij orodja pri ostrenju oziroma zaradi termičnih mikro poškodb.
- **termične razpoke** nastanejo zaradi hitrega segrevanja na rezilih iz karbidnih trdin. Zaradi slabe toplotne prevodnosti trdin nastanejo notranje napetosti, ki povzročajo nastanek lokalnih mikro razpok.
- **razkalitev – zmehčanje**, se pojavi le pri ostrenju in uporabi orodij iz legiranih in hitro reznih jekel. Zaradi prekomernega segrevanja lahko pride do zmehčanja materiala. Orodja iz hitro reznega jekla (HSS) so manj občutljiva na mehčanje (pri temperaturi 550 °C).

4.4 OSTRENJE LESNOOBDELOVALNIH ORODIJ

Z ostrenjem otopelega orodja vzpostavimo pravilno geometrijo rezalnega orodja in na ta način vzpostavimo pogoje za kvalitetno obdelano površino ter optimalno obdelavo. Brusne plošče odrezujejo zelo tanko plast materiala.

4.4.1 Brusne plošče

Brusne plošče so sestavljene iz brusnih zrn in veziva (slika 48, str. 42), ki so pritrjeni na nosilno telo. Materiali za nosilno telo so lahko keramika, jeklo, aluminij ... Izbor optimalne brusne plošče za pravilno ostrenje poteka med karakteristikami brusne plošče, kot so **vrsta in velikost brusnih zrn**, **vrsta veziva**, **oblika** in **dimenzija** ter **trdota** in **struktura brusnih plošč** (Grošelj et al., 1999).



Slika 48: Sestavni deli brusilnega telesa

Vir: Klemenšek, 2010, 194

Več o vrstah in velikostih brusnih zrn, trdoti in strukturi brusilnega orodja, vezivu in obliki brusa je dostopno na naslovu http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje_18-Ostrenje_lesnoobdelovalnih_orodij-gradivo_za_seminar.pdf, http://www.swatycomet.com/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet_vitrified_ENG.pdf, http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje_18-Ostrenje_lesnoobdelovalnih_orodij-gradivo_za_seminar.pdf, (2. 1. 2011).

Priporočila za izbiro brusnih materialov glede na lastnosti obdelovanca in brusa ter oznake brusov so podane po standardu DIN 69100 in DIN 69120 (http://books.google.gr/books?id=vu2LTebXPu4C&pg=PA52&lpg=PA52&dq=DIN+69100&source=bl&ots=pECpohcv7t&sig=9JY2VqxQEjSMTp_tllb5BQKhrwQ&hl=sl#v=onepage&q=DIN%2069100&f=false, 31. 1. 2011).

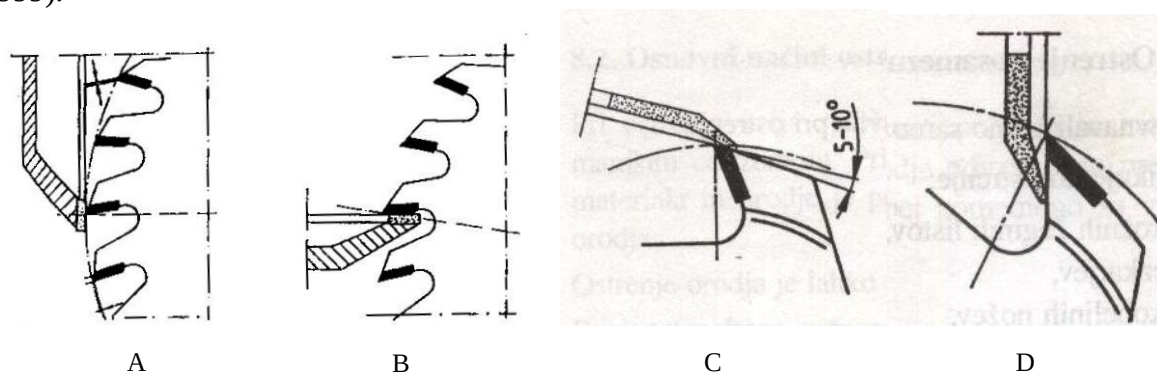
4.4.2 Delovne operacije brušenja

Pri brušenju moramo upoštevati pravilo, da se geometrija rezalnega orodja ne spremeni. Glede na vrsto rezalnega orodja ločimo ostrenje krožnih žaginih listov, rezkarjev, skobeljnih nožev in svedrov.



Pri krojenju vezane plošče se je pojavljal problem zažiganja površine, ki je bila odrezana z že ostreno žago (rob vezane plošče). Nastanek trenja med rezilom ter obdelovalnim materialom je imel za posledico neustrezno kvaliteto obdelane površine. Do pregrevanja je prihajalo zaradi ostankov smole oziroma lepila na rezalnem telesu krožne žage, zato je bilo pred ostrenjem potrebno rezilo očistiti s tekočinami, ki so raztopile umazanijo.

Delovne operacije pri **ostrenju krožnih žaginih listov** potekajo tako, da najprej ostrimo po prosti ploskvi (slika 49 A, str. 43). Pri ostrenju obnovimo ostrino rezalnega roba. Da zagotovimo nespremenjeno geometrijo rezalnega zoba, je potrebno tudi ostrenje cepilne ploskve (slika 49 B, str. 43). Cepilne ploskve ne ostrimo pri vsakem brušenju, temveč samo po nekaj zaporednih ostrenjih proste ploskve. Delovne operacije pri **ostrenju rezkarjev** z nalotanimi vidia rezili so pogojene z načinom pritrditve vidia ploščic. Rezkarje, ki imajo pritrjeno ploščico radialno (za rezkanje utorov), se brusi po prosti ploskvi (slika 49 C, str. 43), rezkarje, ki imajo tangencialno pritrjeno ploščico (rezkanje brazde), pa se brusi po cepilni ploskvi (slika 49 D, str. 43). Profilne rezkarje se vedno ostri po cepilni ploskvi (Grošelj et al., 1999).



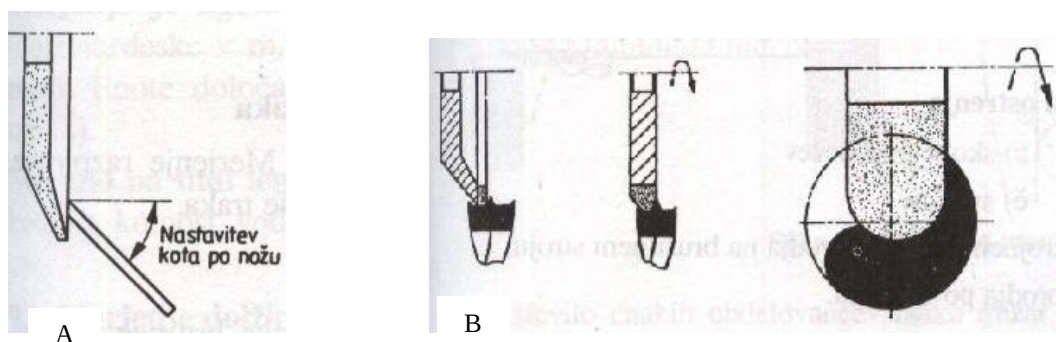
Slika 49: Ostrenje krožnih žaginih listov z nalotanimi rezili in ostrenje rezkarjev (A – ostrenje KŽ po prosti ploskvi; B – ostrenje KŽ po cepilni ploskvi; C – ostrenje rezkarjev pri radialno pritrjeni ploščici; D – ostrenje rezkarjev pri tangencialno pritrjeni ploščici

Vir: Grošelj et al., 1999, 53–54



Pri rezkanju utorov z utornimi rezkarji se je po brušenju orodja širina utora na izdelku zmanjšala. Posledično so morali element izdelka (brazdo) zbrusiti (dodatna operacija).

Pri ugotavljanju vzroka za spremembo širine utora so ugotovili, da je bila rezalna ploščica (radialno pritrjena), brušena po cepilni ploskvi. Ker je imela rezalna ploščica bočni tangencialni kot (slika 7, str. 14), se je geometrija rezila spremenila. Posledično se je spremenila tudi širina utora na obdelovancu. Nove utorne rezkarje so zato brusili po prosti ploskvi. Pri ostrenju proste ploskve rezalne ploščice se je po določenem času ploščica odvezla pod nivo telesa rezkarja, zato so morali pri ostrenju rezalne ploščice brusiti tudi telo rezkarja.



Slika 50: Ostrenje nožev za skobljanje (A) in ostrenje svedrov (B)

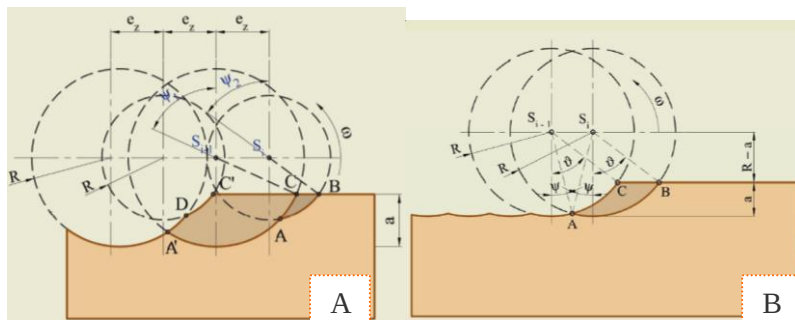
Vir: Grošelj et al., 1999, 55

Pri **ostrenju nožev** se vedno brusi po prosti ploskvi noža, kot je prikazano na sliki 50 A (str. 43).

Ostrenje **svedrov** je prilagojeno konstrukciji svedra. Pri geometriji zoba je potrebno obdržati višino centrirne konice in predrezila. Ostrenje poteka z notranje strani svedra, kot je prikazano na sliki 50 B (str. 43), ker se premer in drugi parametri ne smejo spreminjati.

4.4.3 Postopek kontrole rezalnega kroga

Kadar ostrimo rezilo pri vpetem orodju na obdelovalnem stroju, ostaneta rezilni krog in uravnoteženost orodja nespremenjena. S tem dosežemo, da je geometrija odrezka pri odrezovanju z vsemi noži enaka oziroma da je kvaliteta površine boljša (poglavje 3.5.1) in da lahko odrezujemo pri višjih podajalnih hitrostih (slika 51, str. 44).

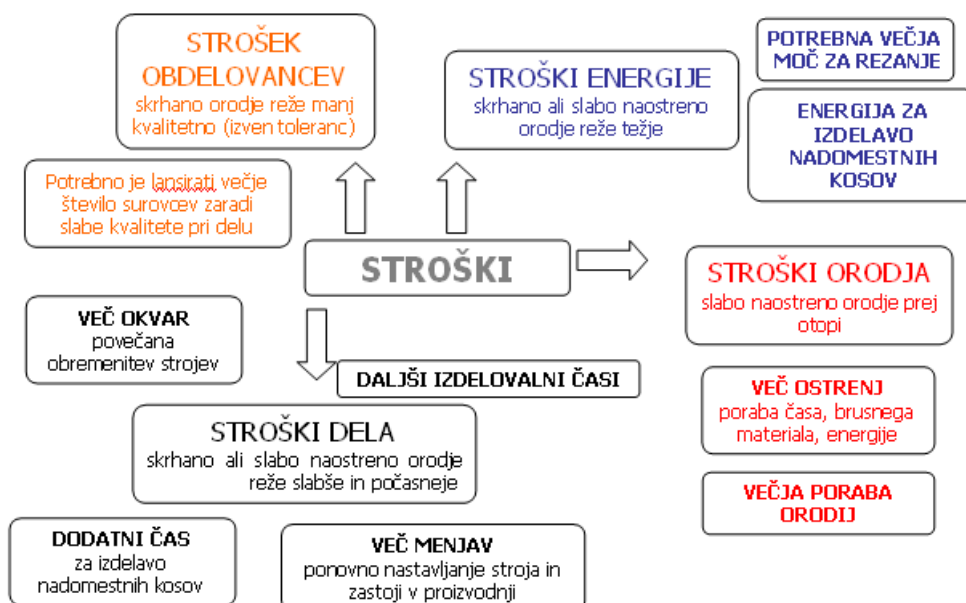


Slika 51: Geometrije odrezka pri odrezovanju orodja z različnimi (A) in enakimi (B) polmeri rezalnih krožnic

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje_18-Ostrenje_lesnoobdelovalnih_orodij-gradivo_za_seminar.pdf, (2. 1. 2011)



POVZETEK



Slika 52: Stroški, ki nastanejo zaradi skrhanosti orodja ali slabo naostrenega orodja

Vir: Lasten

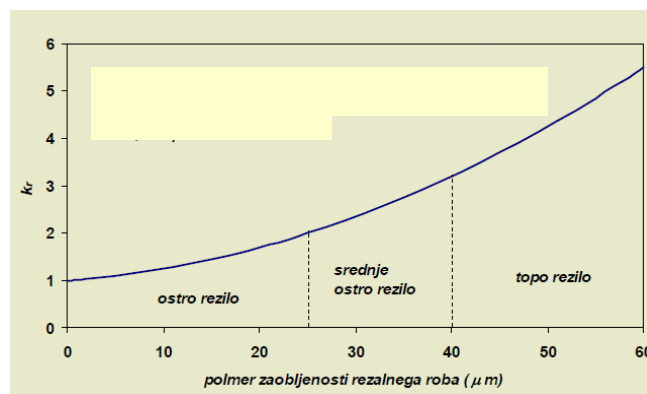
Skrhanost rezalnega orodja in slabo naostreno orodje povzročata stroške (slika 52, str. 44) in vplivata na konkurenčnost podjetja, zato sta poznavanje in delo z orodjem ena izmed ključnih dejavnikov.

Različni proizvajalci orodij in brusov ponujajo materiale, ki so sprejemljivi za obdelavo lesa in ostrenje. Uporabniki moramo presoditi prednosti in slabosti določenih rešitev predvsem z vidika stroškov, ki pri tem nastajajo.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Kateri dejavniki in na kakšen način vplivajo na obrabo rezil?
2. Kako izbrati optimalno (cenovno in kvalitetno) rezalno orodje in material?
3. Utemeljite vpliv obrabe rezila na koeficient specifične rezalne sile, kot je prikazano na slika 53 (str. 45).



Slika 53: Vpliv otopelosti rezalnega roba na korekcijski koeficient specifične rezane sile (k_r)

Vir: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf,
(26. 12. 2010)

4. Ostrilec orodja izbere brusne plošče tudi glede na poškodbo/obrado rezalnega orodja. Večja obraba zahteva večji poseg, ki vpliva tudi na čas ostrenja in odjem. Ocenite kakšne brusne plošče in zakaj je potrebno izbrati, da bo čas ostrenja čim krajši (ob ustrezni kvaliteti in čim manjši obrabi brusne plošče).
5. Operater na skobeljnem stroju zaradi zdravstvenih težav ne vidi. Iznajdite sistem, ki bo omogočal prepoznavanje otopelosti rezila, še preden se pojavi neprimerna kvaliteta obdelane površine.
6. Po montaži stolov je bilo potrebno le-te nivelirati. S tem se preprečuje guganje stola zaradi neenakomerne dolžine nog. V podjetju so za operacijo uporabljali krožno žago iz HSS materiala. S strani kupcev so prihajale reklamacije (občasno) o zatrganosti lesa na spodnjem delu noge. Predlagajte izboljšave, ki bodo odpravile reklamacije.

5 TEHNOLOGIJA LEPLJENJA LESA



Pri prodaji bukovih vezanih plošč na ameriški trg je moralo podjetje pridobiti standard CARB (California Air Resources Board).

Standard omejuje vsebnost prostega formaldehida v izdelkih, zato so bili narejeni testi, pri katerih so pri cenovno najbolj ugodnih urea-formaldehidnih lepilih (LENDUR) zmanjševali koncentracijo formaldehida v lepilni mešanici. Posledica je bila neustrezna trdnost lepilnega spoja (plošče so se razslojevale).

Ker dobavitelj lepila ni imel drugih rešitev, je bilo potrebno poiskati dobavitelja, ki je ravno tako z urea-formaldehidnim lepilom (CASCORID) in ustreznimi dodatki (trdilci in izboljševalci) dosegel dovolj nizko vsebnost prostega formaldehida.

Zamenjava lepil, ki ne vsebujejo formaldehida, je bila z vidika stroškov nesprejemljiva (obstoječa tehnologija).

Poleg zamenjave lepila je bilo potrebno zagotoviti tudi preglednost, sledljivost in ustrezno dokumentacijo za pregled na zahtevo kupca. Izvajale so se kontrole kakovosti za vezane plošče iz trdih lesov (HWPW), ki so bile skladne z zahtevo, po nizki vsebnosti prostega formaldehida v ploščah, kot je določeno po CARB regulativi (tabela 6, str. 46).

Tabela 6: Mejne vrednosti vsebnosti prostega formaldehida po predpisih CARB regulative (ppm – parts per million ali delov na milijon delov zraka; HWPW=vezane plošče; HWPW – CC=vezane plošče iz kompozitne sredice; PB=iverne plošče; thin MDF=tanke MDF plošče)

Datum velj.	HWPW	HWPW-CC	PB	MDF	Thin MDF
1.1.2009	P1: 0,08 ppm	-----	P1: 0,18 ppm	P1: 0,21 ppm	P1: 0,21 ppm
7.1.2009	-----	P1: 0,08 ppm	-----	-----	-----
1.1.2010	P2: 0,05 ppm	-----	-----	-----	-----
1.1.2011	-----	-----	P2: 0,09 ppm	P2: 0,11 ppm	-----
1.1.2012	-----	-----	-----	-----	P2: 0,13 ppm
7.10.2012	-----	P2: 0,05 ppm	-----	-----	-----

Vir: Fletcher, 2007, 117

Če so rezultati testov enaki ali nižji od mejnih vrednosti predpisanih s CARB regulativo za fazo 1 in/ali fazo 2 (faza 1 in faza 2 sta določeni zaradi postopnega prehodnega obdobja), se serija plošč, iz katerih je bil vzet vzorec za testiranje, lahko pošlje na trg oziroma kupcu.

5.1 KAJ JE LEPLJENJE?

Lepljenje je v lesni industriji zelo pomemben tehnološki del obdelave, ki vključuje poznavanje tako lesne anatomije in tehnologije kot tudi kemije in fizike. Lepila so prisotna v večini lesnih izdelkov in tudi v kompozitih kot so npr. lepljeni nosilci, vezane plošče, OSB, MDF in iverne plošče.

Lepila, ki se uporabljajo pri lepljenju lesa, morajo imeti naslednje lastnosti (povzeto po Resnik, 1989):

- imajo ustrezno vezivno trdnost;
- imajo različne hitrosti vezanja (glede na namen uporabe);
- imajo čim daljši čas mešanice ali čas uporabnosti pripravljene lepilne mešanice (od časa, ko v lepilo dodamo primesi, do časa, ko je še možno nanašati lepilo na obdelovanec);
- imajo različne odprte (čas med nanosom lepila in približevanjem obeh lepilnih ploskev) in zaprte (čas med približevanjem obeh lepilnih ploskev in pričetkom delovanja tlaka) čase glede na področje uporabe;
- so kemijsko čim bolj nevtralna (ne povzročajo spremembe barve lesa);
- po utrjevanju so elastična (se prilagodijo delovanju lesa);
- čim manj obrabljajo obdelovalno orodje;
- so enostavna za uporabo in pripravo (tudi možnost dodajanja različnih primesi za pocenitev, proti prebijanju, za obarvanje itd.);
- lahko izpolnjujejo posebne zahteve, v kolikor se zahteva (npr. odpornost proti vlagi in vodi, proti toploti, mrazu, staranju, odpornost proti določenim kemikalijam itd.);
- imajo čim daljši uporabnostni čas (čas, v katerem je lepilo ob predpisanem načinu skladiščenja še uporabno);
- so zdravju neškodljiva (med lepljenjem in tudi pri uporabi lepljencev);
- so cenovno sprejemljiva.

5.2 OSNOVNE ZAKONITOSTI V POSTOPKIH LEPLJENJA

Lepljenje je spajanje lepljencev v celoto, temelji pa na postopnem utrjevanju tekočega lepila. Najpomembnejši fizikalni in kemični pojavi, s katerimi pojasnjujemo vezanje (lepljenje) lesa, so (Čermak, 1998):

- omakalnost in površinska napetost;
- medmolekulske privlačne sile med delci lepila in lesa (stična površina – adhezija);
- medmolekulske privlačne sile med delci lepila (znotraj lepila – kohezija);
- koloidne lastnosti lepil;
- utrjevanje lepil.

5.2.1 Omakalnost in površinska napetost

»Osnovni pogoj za kakovostno lepljenje in doseganje dovolj velike vezivne trdnosti je sposobnost lepila, da dobro omoči površino. Tekočine, ki dobro omočijo površino lepljenca, so npr. voda, alkohol, aceton idr. Le tako med lepilom in lepljencem nastane stik, ki omogoča pojav medmolekulskih privlačnih sil, na katerih sloni proces vezanja. Sposobnost omakanja tekočine je povezana s površinsko napetostjo, ki je rezultat delovanja molekulskih sil v tekočini. Tekoče lepilo lahko omoči površino le, če je površinska napetost lepila manjša kot prosta površinska energija. Posledica površinske napetosti je oblikovanje kapljic. Na obliko kapljic vplivajo sile na mejnih ploskvah med trdo snovjo, tekočino in zrakom. Omakalnost neke tekočine je tem boljša, čim manjši je kot omakanja (φ)« (Čermak, 1998, 15).

Na sliki 54 (str. 48) ima leva oblika tekočinske kapljice velik kot omakanja oziroma stični kot. Desna oblika tekočinske kapljice pa ima majhen kot omakanja in dobro omoči površino. Stični kot je zelo odvisen od časa. Takoj po nanosu je stični kot velik in se po krajšem času spremeni – zmanjša (Jošt, 2009).

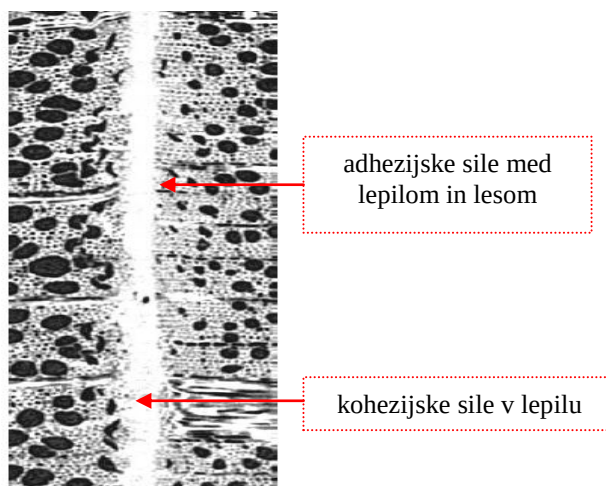


Slika 54: Izboljšanje omočenja lepilne površine z brušenjem
Vir: Frihart, 2005, 232

Na omakalnost vplivajo lastnosti lepila (sestava in viskoznosti) ter zgradba in pravilna priprava površine lesa. Največjo omakalnost dosežemo pri lepilni površini, ki je dovolj gladka (brušenje) in čista. Npr. nekatere tropske drevesne vrste kot je tik, imajo zelo mastno površino, ki jo je potrebno pred lepljenjem ustrezno pripraviti (lepljenje takoj po obdelavi površine, oksidacijske tehnike idr.) (Frihart, 2005).

5.2.2 Medmolekulske privlačne sile med delci lepila in lesa

Lepila lepijo zaradi medmolekularnega delovanja sil, ki se pojavijo na stičnih površinah med lepilom in podlago (adhezija) in vezivnih sil, ki se pojavijo znotraj lepila (kohezija), kot je prikazano na sliki 55 (str. 48).



Slika 55: Medmolekulske sile, ki nastanejo v lepilnem spoju
Vir: Hass et al., 2010, 9

Nastale so različne teorije, ki pojasnjujejo silo adhezije pri lepljenju (mehanska teorija adhezije, difuzijska, polarizacijska, molekularno-disperzijska, adsorpcijska, električna, kemijska idr.). Različne razlage mehanizma adhezije, ki so znane pod imenom specifična adhezije, se med seboj ne izključujejo. Na podlagi nastanka povezav, jih lahko razdelimo v skupini: (Gardner, 2005):

- nastanka povezav na podlagi sider (mehanska in difuzijska) in
- nastanka povezav na podlagi interakcijskih sil, ki delujejo na majhnih razdaljah (elektrostatična, kemijska ...).

Mehanska adhezija temelji na dejstvu, da kapilarne sile vsrkajo tekoče lepilo v pore in razpoke lepljenca (les – porozni material). Po utrditvi lepila se izoblikuje plitva, toda gosta mreža "sider", ki čvrsto povezujejo obe površini lepljencev. Po tej teoriji ne moremo pojasniti lepljenja neporoznih materialov (Resnik, 1989).

»Specifična adhezija je posledica različnih molekulskih (dipolnih, indukcijskih, elektrostatskih in vodikovih) ter kemijskih (ionskih, kovalentnih) vezi. Medmolekulske privlačne sile se lahko pojavijo le, če molekule lepila in lesa pridejo na izredno majhno medsebojno razdaljo. **Osnovni pogoj, da to dosežemo, je dobro omočenje površine, ker se le tako ustvari neposreden stik med lepilom in lepljencem. Takrat se molekule lepila začnejo gibati (t. i. Brownovo gibanje) proti površini. Razdalja med molekulami različnih materialov se zmanjšuje, kar omogoča nastanek adhezijskih sil** (temelji difuzijske oziroma adsorpcijske teorije lepljenja)« (Čermak, 1998, 17).

5.2.3 Medmolekulske privlačne sile med delci lepila

S kohezijo označujemo medmolekularne privlačne sile, ki povezujejo molekule iste snovi. Kohezija je največja pri trdnih telesih, pri tekočinah je veliko manjša, pri plinih pa o njej skoraj ne moremo govoriti. Ko se lepilo utrdi (doseže maksimalno trdnost), postanejo kohezijske sile dovolj velike, da prenašajo natezne in strižne napetosti, ki se pojavijo v lepilnem spoju.



Ker so kohezijske sile lepila večje od tistih v lesu, mora lepilo prenašati večje napetosti kot les. Pri npr. testiranju plošče iz vezanega lesa po standardu EN 314-1 se poleg strižne trdnosti vizualno ugotavlja tudi delež porušitve po lesu (delež lesnih vlaken, ki ostanejo na površini lepilnega spoja po lomu). Ugotovimo lahko, da lom lepilnega spoja ne nastane vedno po lesu, temveč tudi po lepilu, kar pa ne pomeni, da lepilni spoj ni dober.

5.2.4 Koloidne lastnosti lepil

Večina lepil za lepljenja lesa so disperzni sistemi, ki sestojijo iz dveh ali več faz, od katerih je **dispergirana (razpršena) snov** porazdeljena v drugi fazi oziroma **disperznemu sredstvu (topilo)**. Zaradi nujnosti omočenja površine lepljenca so najpomembnejši tisti disperzni sistemi, v katerih je disperzno sredstvo ali topilo tekoče. V tem primeru govorimo o **raztopinah**. Če dispergiramo tekočino, govorimo o **emulziji** (lepila so emulzije). Če v tekočini dispergiramo trdo snov, pa govorimo o **suspenziji**, ki jih ne prištevamo k raztopinam (Grošelj et al., 1999).

RAZTOPINA = DISPERGIRANA SNOV + DISPERZNO SREDSTVO

Koloidi so raztopine manjših delcev, velikosti med 1 nm in 1 µm, ki so razpršeni v gostiteljskem mediju (trdni snovi, kapljevini, plinu).



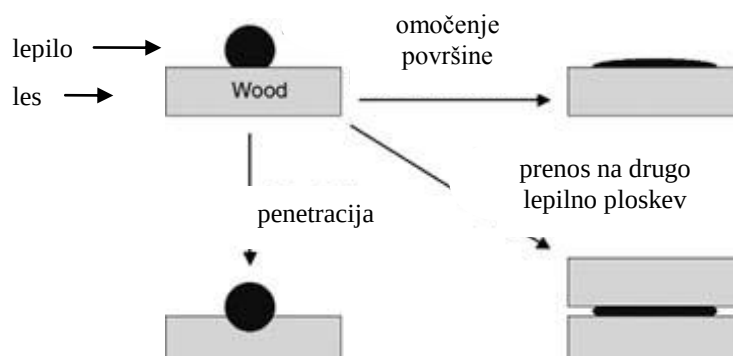
***Lepila so koloidne disperzije.** Pri lesarskih lepilih je disperzno sredstvo praviloma voda (kar je cenovno in ekološko ugodno) ali pa organsko topilo. V lepilih za les je od 30 % do 60 % disperznega sredstva, ki mora iz lepilnega sloja. Dispergirane snovi so visokomolekularne snovi (naravne ali sintetične smole in razni dodatki).*

Poznavanje koloidnokemijskih osnov je pomembno za razumevanje tehnologije lepljenja. Tekočo obliko koloidnih disperzij imenujemo **sol**. Le-ta pod določenimi pogoji (ohlajevanje, koagulacija, kemična reakcija ipd.) prehaja v **gel** (želatinasto) in nato v **trdo obliko**. Pri različnih temperaturah in časih izpostavitve lepilo prehaja v različna stanja. Koloidi, ki lahko prehajajo iz sol v gel in trdo stanje ter obratno, so **reverzibilni**. V to skupino spadajo npr. glutinska lepila. Koloidi, ki prehajajo iz sol v gel stanje s fizikalno-kemično reakcijo

(sintetična polikondenzacijska lepila) so **ireverzibilni**. Pri njih proces utrjevanja ne dopušča vrnitve v prejšnje stanje, kar pomeni, da se ne morejo več utekočiniti (Čermak, 1998).

5.2.5 Utrjevanje lepil

Utrjevanje lepila je postopek, ki je sestavljen iz več medsebojno dopolnjujočih si faz (slika 56, str. 50), ki se začnejo po nanosu tanke in enakomerne plasti tekočega lepila na površino lesa. Lepilo omoči in se razlije po površini ter penetrira v podlago. Bolj je lepilo mobilno v določenem času, več lepilne površine prekrije in s tem omogoča trdnejši spoj. Ko lepljenca združimo in stisnemo, omočimo tudi drugo lepilno ploskev, lepilo pa hitreje prodira v pore lesa (penetracija). V lepilnem spoju se izoblikujejo dovolj velike adhezijske in kohezijske sile. Trdnost spoja narašča (Frihart, 2005).



Slika 56: Prikaz omočenja, penetracije in prenosa lepila
Vir: Frihart, 2005, 230

Poleg opisanih so splošne značilnosti utrjevanja lepila še, da so za prehod v trdo stanje potrebni reagenti, temperatura, tlak in čas. Postopek utrjevanja lahko poteka zaradi oddaje disperznega sredstva (topilo), ohlajevanja, koagulacije ali kemijske reakcije in ob kombiniranem delovanju dveh ali več omenjenih oblik.

Glede na način utrjevanja lahko lepila razdelimo na (Grošelj et al., 1999):

- **fizikalno utrjujoča** (naravna, polivinilacetatna, neoprenska, talilna), ki utrjujejo zaradi oddajanja:
 - vode (disperzno sredstvo), ki pronica (difundira) skozi les in nato izhlapi v okolje pri npr. polivinilacetatnem lepilu;
 - organskih topil (neoprenska ali kontaktna lepila), ki vežejo zaradi izhlapevanja pretežnega dela topila v času med nanosom lepila in približanjem obeh lepilnih ploskev (odprti čas);
 - disperzijskega sredstva in sočasnega ohlajevanja (glutinska lepila kot so kožni in kostni klej); npr. talilna lepila utrjujejo samo zaradi ohlajevanja predhodno segretega lepila;
 - disperzijskega sredstva in sočasne koagulacije, ki jo sproži sprememba temperature pri npr. krvnoalbuminskem lepilu.
- **kemično utrjujoča** (poliuretanska, epoksidna), ki vežejo zaradi kemijskih reakcij, ki jih običajno sproži mešanje dveh komponent (npr. dvokomponentna epoksidna lepila);
- **fizikalno-kemično utrjujoča** (polikondenzacijska), ki utrjujejo zaradi:
 - oddajanja disperzijskega sredstva (fizikalni proces) in
 - nadaljevanja pri izdelavi lepila prekinjene reakcije (kemični proces).

5.3 VRSTE LEPIL IN NJIHOVE ZNAČILNOSTI

Za lepljenje lesa se uporabljajo predvsem sintetična lepila (tabela 7, str. 52). Osnovna surovina za proizvodnjo sintetičnih lepil so proizvodi petrokemije, naravni plin in zrak. Sintetične mase pridobivamo s sintezo snovi z malimi molekulami. Polimeri, ki nastanejo (slika 57, str. 53), pa so produkt različnih kemijskih reakcij, kot so (Resnik, 1989):

- **polikondenzacija** – je proces združevanja nizko molekulskih spojin v spojine z makromolekulami. Pri kondenzaciji se vedno izločajo enostavne snovi, kot npr. voda, amoniak, formaldehid idr. Proces kondenzacije je v začetni fazi endotermen (iz okolice načrpana energija se shrani v produktih), v kasnejši fazi pa postane eksotermen (če se pri nekem procesu sprosti v okolico energija, v obliki toplote, rečemo, da je proces eksotermen). Proces kondenzacije je možno prekiniti v katerikoli fazi (sprememba temperature in pH vrednosti). Pri proizvodnji lepil za les se proces prekine v začetni fazi.
- **polimerizacija** – je kemijska reakcija, pri kateri iz nenasičenih enostavnih molekul nastanejo večje makromolekule. Pri tem se ne izločajo druge snovi. Procesi polimerizacije potekajo tudi v naravi (kavčuk, celuloza, škrob itd.). Osnovne surovine za proizvodnjo polimerizacijskih lepil so polimerizacijske ali kopolimerizacijske smole, ki so dispergirane v vodi ali topilu. Polimerizati so produkti, ki jih naknadno ne moremo več polimerizirati, zato imajo dolgo življenjsko dobo in so odporni proti staranju. Praviloma so polimerizacijska lepila že pripravljena in predstavljajo enokomponentni sistem. Imajo termoplastične lastnosti, kar pomeni, da se pri povišani temperaturi zmechčajo in ponovno strdijo pri ohlajanju.
- **poliadicija** – je kemijska reakcija spajanja molekul, ki vsebujejo nenasičene vezi z nasičenimi molekulami, ki imajo vsaj dve funkcionalni skupini. Pri tem vodikov atom iz spojine, ki vsebuje hidroksilno skupino ($-OH$ ali $-COOH$) preide na dušikov atom izocianatne skupine ($-N=C=O$) druge spojine. Prednost reakcije poliadicije pri izdelavi lepil pred polimerizacijo je, da je reakcijo možno zaustaviti v poljubni fazi, produkti pa so termoneplastni. Pri reakciji poliadicije tudi ne nastaja voda, ki lahko v primeru polikondenzacije povzroča dodatne probleme pri lepljenju. Zaradi visoke cene v lesni industriji uporabljamo poliadiacijska lepila le za najbolj zahtevna lepljenja.

Naravna lepila so izdelana iz naravnih surovin rastlinskega ali živalskega izvora. Dandanes trend uporabe naravnih materialov za izdelavo lepil ponovno narašča. Razlog so komponente, ki sestavljajo nekatera sintetična lepila (formaldehid), naraščanje cene nafte in upadanje količine naftnih derivatov, ki predstavljajo njihovo osnovno surovino. Kvaliteta, odpornost proti temperaturnim spremembam, vodi ter vlagi, trajnost in ugodna cena pa so še vedno tisti dejavniki, ki sintetična lepila postavljajo v prioritetni položaj. Razvoj lepil na osnovi naravnih materialov je osredotočen na izpopolnjevanje le-teh z različnimi postopki in modifikacijami. Omenjeni postopki so fermentacija, obdelava s kislinami ali bazami, dodajanje modifikatorjev in pridobivanje naravnega materiala v obliki, ki vsebuje visok delež proteinov. Z njimi izboljšamo mehanske lastnosti lepilnih spojev in vodoodpornost (Ugovšek in Šernek, 2010).

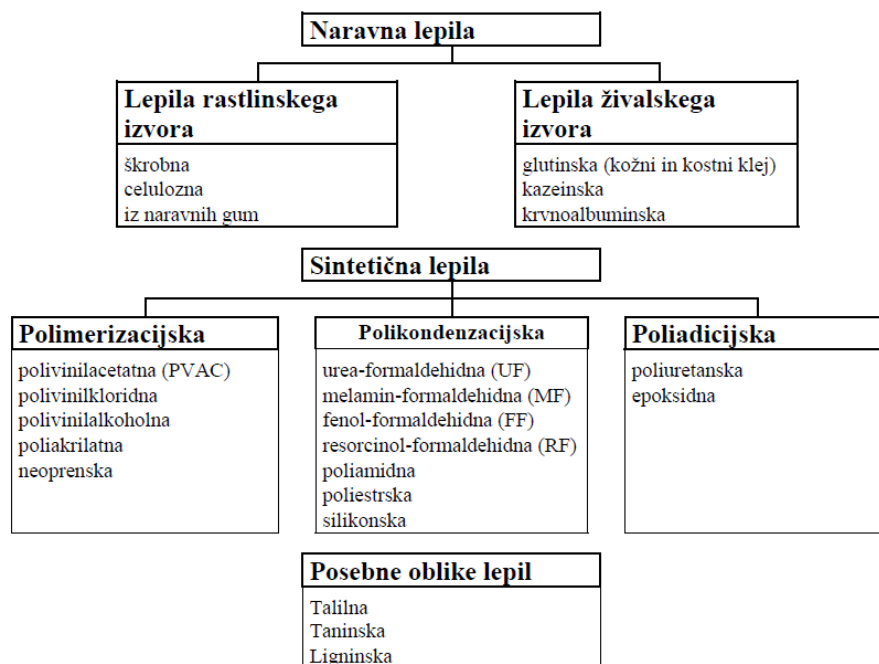
Tabela 7: Primerjava lastnosti najpomembnejših lepil, ki se uporabljajo v lesarstvu

vrsta lepila /nanos	opis	prednosti	slabosti	uporaba
glutinsko za ravne spoje: 150 – 200 g/m ² za neravne spoje: 250 – 350 g/m ² modificirano lepilo: 125 – 175 g/m ²	- čisti glutin je brezbarven - v hladni vodi nabreka, v topli vodi se topi in prehaja v koloidno raztopino - za toplo lepljenje - kožni in kostni klej v obliki ploščic, zrnč ali praška	+ enostavna uporaba + dobra vezivna trdnost + elastični lepilni spoji, ki ne poškodujejo rezil + ekološko sprejemljiva	- termoplastični spoji - ni odporno na vodo - dolg čas utrjevanja - slaba odpornost proti bakterijam, glivam in insektom	- montažna lepljenja - v proizvodnji sedežnega pohištva - restavriranje - obnavljanje starega pohištva
polivinilacetatno PVA belo ali hladno lepilo 140 – 200 g/m ²	- mlečnobela vodna disperzija - utrjeno lepilo je brezbarvno - polimerizacijsko - utrjuje fizikalno z izhajanjem disperzijskega sredstva - za hladno in toplo lepljenje	+ enostavna uporaba + dobra vezivna trdnost + elastični lepilni spoji, ki ne poškodujejo rezil + imajo dolgo dobo skladiščenja (1 leto) + odvečno lepilo lahko očistimo z vodo + ekološko sprejemljiva + odporno proti mikroorganizmom + ni zdravju škodljivo	- spoji navadnih PVA lepil v vodi nabrekajo - neodporno proti kislinam, lugom in nekaterim topilom - ima kisel pH in obarva nekatere lesove - spoji so termoplastični - dolg čas utrjevanja	vsestransko uporabna - za montažna lepljenja - za lepljenje stavbnega pohištva - za lepljenje furnirja na les - za površinska in robna lepljenja...
talilno	- granulat raztalimo pri 190 – 220° C - polimerizacijsko - fizikalno utrjevanje	+ zelo hitro veže	spoj ni odporen proti povišanim temperaturam	robna lepljenja
neoprensko kontaktno lepilo na osnovi umetnega kavčuka	- že pripravljeno - obojestranski nanos - fizikalno utrjevanje - polimerizacijsko - večino topila izhlapi med odprtjem vmesnim časom - lepljenja združimo, ko večino topila izhlapi (po 10 – 20 min)	+ enostavna in vsestranska uporaba + spoji so trdni in elastični + odporen na vlago + delno odporen na kemikalije + ne poškoduje rezil	- je termoplastično - zaradi izhlapevanja topil je zdravju škodljivo - eksplozivno	lepljenje sintetičnih mas, laminatov, robnih folij, kovin, stekla in oume na les in lesne plošče
epoksidno lepilo EP	- dvokomponentno - poliadicijsko - kemijsko utrjevanje - ne vsebuje topil - vsebuje utrjevalec - hladno ali vroče lepljenje tudi brez tlaka	+ visoka vezivna trdnost + elastični spoji + odpornost proti vodi in povišanim temperaturam	hlapi, ki nastajajo med utrjevanjem, so zdravju škodljivi	- lepljenje kovin, sintetičnih mas in lesa - lepljenje sintetičnih mas - lepljenje keramike
poliuretansko PUR	- poliadicijsko - enokomponentno vsebuje topila - dvokomponentno ne vsebuje topil, reagira z utrjevalcem - hladno ali vroče lepljenje - kemijsko utrjevanje	+ elastični, trdni spoji + odporni proti vodi, kemikalijam, temperaturam do 70° C + z dodatkom utrjevalca odporni do 100° C	hlapi, ki izhajajo med utrjevanjem, so zdravju škodljivi	- lepljenje PVA folij - lepljenje lesa s kovinami ali s steklom
sečninsko-formaldehidno SF / UF vroče lepljenje: 120 – 220 g/m ² hladno lepljenje: 150 – 250 g/m ² z dodatkom polnila: 200 – 250 g/m ²	- polikondenzacijsko - fizikalno-kemijsko utrjevanje - dodatek utrjevalca pospeši utrjevanje - hladno, toplo ali vroče lepljenje (toplota pospešuje proces utrjevanja) - na voljo kot rumenkastobela vodna disperzija ali v obliki prahu, ki ga zmešamo z vodo	+ zelo trdni spoji (če so lepilni spoji tanjši od 0,2 mm) + krhki in trdi spoji + odporen na kratkotrajen vpliv vlage + ne povzroča madežev na lesu + lepilni spoji so brezbarvni + razmeroma poceni + dobro se meša z drugimi lepili in dodatki	- neodporen proti vodi in vremenskim vplivom - po preboju jih ni mogoče odstraniti s površine furnirja - obrabljajo rezilno orodje - sproščajo več ali manj zdravju škodljivega formaldehida	- ploskovna lepljenja - v proizvodnji ivernih in vlaknenih plošč
	- disperzijo lahko skladiščimo 2 – 3 mesece, prah pa 1 leto			
melaminsko-formaldehidno MF 120 – 200 g/m ²	- polikondenzacijsko - fizikalno-kemijsko utrjevanje - bolj reaktivno kot SF lepilo - vroče lepljenje brez utrjevalca	ima lastnosti kot SF lepilo + mogoče dodajanje polnil + vsestransko uporabna + spoji odporni proti hladni in vroči vodi, ostri klimi, kemikalijam, organskim topilom	- spoji so trdi in krhki, krhajo rezila - pogosti so preboji skozi furnir - kratka doba skladiščenja (1 – 2 meseca) - visoka cena	- za oplemenitenje slojnih plošč - za ploskovno lepljenje - kot dodatek SF lepilom - za lepljenje izdelkov, ki so izpostavljeni povišani vlazi oz. vodi - za izdelavo furnirnih in drugih plošč, odpornih proti vodi - v proizvodnji plovil, motornih vozil in letal - za zahtevna lepljenja v visokofrekvenčnih stiskalnicah
fenolformaldehidno FF 160 – 200 g/m ²	- polikondenzacijsko - fizikalno-kemijsko utrjevanje - vroče lepljenje brez utrjevalca - na voljo v prašni ali tekoči obliki ter v obliki lepilnih filmov	+ široko področje uporabe + elastični lepilni spoji + primerno za konstrukcijska lepljenja + odporno proti hladni in vroči vodi, večini kislin, organskih topil + odporno proti glivam in bakterijam	- spoj temno rjave barve - preboj lepila je težko odstraniti - kratek čas skladiščenja	- lepljenje vlažnega lesa (u = 25 %) - lepljenje stavbnega pohištva - za proizvodnjo vodo odpornih ivernih in furnirnih plošč - v proizvodnji plovil, vozil, športne opreme in povsod tam, kjer barva ni moteča
rezorcinsko-formaldehidno RF 180 – 220 g/m ²	kot FF lepilo	še boljše lastnosti kot FF lepilo		- za lepljenje zahtevnih gradbenih konstrukcij - za izdelavo čolnov - za izdelke, ki se uporabljajo v tropski klimi

Vir: http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Lesarstvo_tapetnistvo/LEPILA_IN_LEPLJENJE.pdf,
(12. 1. 2011)



Katera lepila so na podlagi primerjalnih lastnosti iz tabele 7 (str. 52) najprimernejša za lepljenje vezanih plošč?

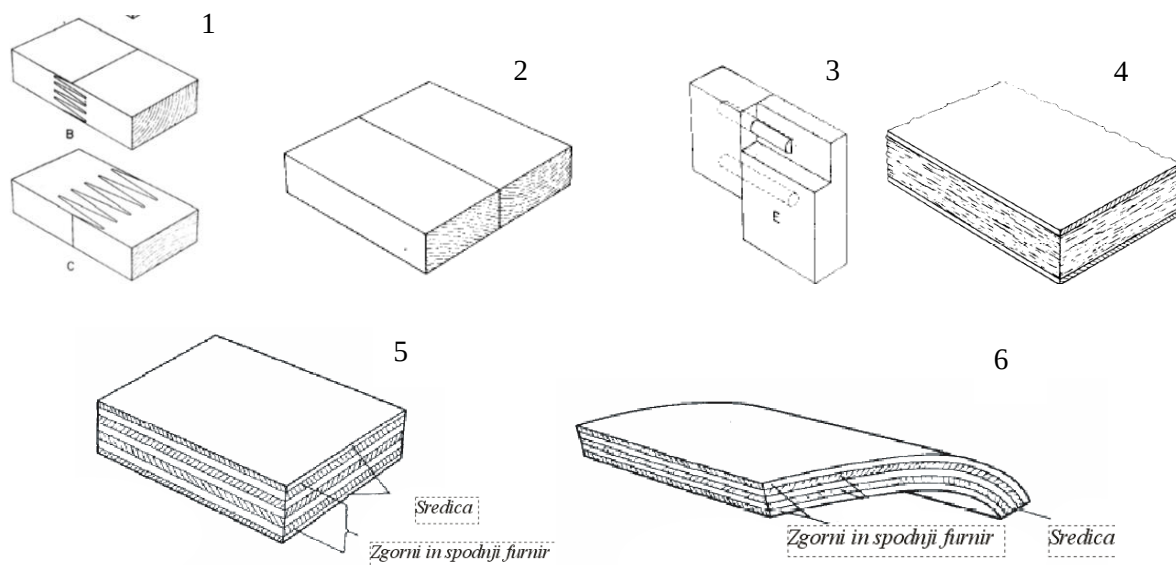


Slika 57: Sistematizacija lepil glede na surovinsko osnovo
Vir: Grošelj et al., 1999, 174

Bolj natančen opis posameznih lepil in njihovih karakteristik lahko najdete na naslovu <http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Ucbeniki/LepilainMaterialiZaPovrsinskoObdelavo.pdf> <http://www.woodcenter.org/docs/tb1512.pdf>, (12. 1. 2011).

5.4 POSTOPKI LEPLJENJA IN POGOJI ZA LEPLJENJE

Na sliki 58 (str. 53) je prikazanih nekaj osnovnih izdelkov, ki nastanejo pri postopku lepljenja.



Slika 58: Prikaz izdelkov, ki nastanejo pri posameznem postopku lepljenja (1 – dolžinsko lepljenje, 2 – širinsko lepljenje, 3 – konstrukcijsko lepljenje, 4 – oplemenitenje ravnih ploskev, 5 – vezana plošča, 6 – lepljenje in krivljenje furnirja)
Vir: Selbo, 1975, 36-38, 49, 51, 61



V podjetju so pri montažnem lepljenju masivnih bukovih elementov (sklop noga mize z mostiščem) ugotovili neustrezno trdnost spoja čep-utor. Po destrukcijski metodi so ugotovili, da na površini čepa ni lepila. Lepilo je bilo samo na dnu luknje. Vzrok je bil preveč tesen spoj med utorom in čepom (toleranca). Pri sestavi je tako čep postrgal lepilo s površine. Lepilo se je umaknilo v dno luknje oziroma je ostalo na površini izven spoja, kar pa ni zadostovalo za ustrezno trdnost lepilnega spoja.



Katere vrste lepljenja še poznate?

Lepljenje poteka po hladnem, toplem ali vročem postopku. **Hladno lepljenje** poteka pri temperaturi delovnega okolja in se uporablja za razna montažna lepljenja (npr. lepljenje masivnega lesa s PVA lepili). Pomanjkljivosti hladnega postopka so omejena uporaba izdelkov v npr. zaprtih prostorih, večji nanos lepila kot pri vročem lepljenju, daljši čas stiskanja kot pri vročem lepljenju idr. **Toplo lepljenje** (temperature do 90 °C) uporabljamo predvsem pri ploskovnem lepljenju (npr. furniranje), ker s tem učinkovito pospešimo proces utrjevanja lepila ob majhnih toplotnih izgubah (tanek sloj furnirja ali folije). **Vroče lepljenje** zelo pospeši utrjevanje lepila. Uporablja se pri pretočnih hidravličnih stiskalnicah (kratek takt). Pomanjkljivosti vročega lepljenja so v višji investiciji v tehnološko opremo in večja poraba energije, sušenju materiala – lepljencev, na relativno nizko vlažnost zaradi nevarnosti nastanka mehurjev in ustrezno kondicioniranje izdelkov. Prednosti vročega lepljenja pa so predvsem v času stiskanja, zlepljene elemente se lahko razmeroma hitro nadaljnje obdeluje idr.

Na utrjevanje lepila in trdnost lepilnega spoja vpliva več dejavnikov (Jošt, 2009):

- **LASTNOSTI LEPIL**, kot so:
 - **vrsta in sestava lepila**
Npr. pri fenol-formaldehidnem lepilu poteka reakcija hitreje, če imamo večji delež formaldehida. Posledično večji delež formaldehida pomeni emisijo prostega formaldehida v okolico, zaradi česar je potrebno dodati le toliko formaldehida, kot ga je potrebno za utrjevanje.
 - **način utrjevanja**
Fizikalno-kemično utrjevanje lepil (polikondenzacijska lepila, kot so urea-, melamin- in fenol-formaldehidna lepila), ki je najbolj pogosto uporabljeno pri lepljenju lesa, omogoča ustrezno trdoto, negorljivost, brezbarvnost in prilagodljivost lepila različnim zahtevam uporabe. Takšna lepila so glede na karakteristike tudi cenovno najbolj ugodna.
 - **priprava lepila**
Obsega pripravo lepilne mešanice iz trde, prašnate ali tekoče oblike lepila oziroma priprave lepilnih filmov. Lepilno mešanico pripravimo izključno po navodilih proizvajalca, ki določi recepturo in vrsto utrjevalca za vsak tip lepila. Lepilu lahko dodamo polnila kot npr. lesno moko, v omejeni količini škrob, v vodi topne celulozne produkte ipd. Polnila dodajamo postopno ob neprekinjenem mešanju v mešalniku. Pripravljeno lepilo pa ima omejen uporabni čas.
 - **vsebnost suhe snovi**
Npr. če povečamo delež hlapnih komponent v lepilu, se pri enaki količini nanosa zmanjšuje količina zamrežene smole v lepilnem spoju. Manjša količina smole v spoju pa privede do slabše trdnosti lepilnega spoja. Večji delež hlapnih komponent vpliva tudi na čas utrjevanja lepila. Ker mora iz spoja iziti

več hlapnih snovi, so časi utrjevanja daljši. Z večanjem deleža hlapnih komponent zmanjšujemo viskoznost lepila.

- **viskoznost**

Vpliva na nanos lepila ker ima velik vpliv na omočitev površine in ustrezno penetracijo lepila. Lepilo, ki ima premajhno viskoznost, prehitro penetrira v les in zato na površini lepljenca ostane premalo lepila. Preveč viskozno lepilo ni dovolj mobilno in slabo penetrira v les ter slabo omaka površino. Z naraščanjem temperature se viskoznost lepilu zmanjšuje, kar moramo upoštevati pri nanašanju.

- **pH vrednost lepila**

Npr. večina fenol-formaldehidnih lepil je bazičnih in imajo pH med 9 in 12. Smole z nižjimi vrednostmi pH vsebujejo manjše molekule, ki zaradi tega utrjujejo daljši čas. Pri višjih vrednostih pH lepila je le – to sposobno topiti nekatere nečistoče na površini lesa, ki se kasneje vgradijo v lepilni film. Posledično se kohezijska trdnost utrjenega filma zniža, vendar pa lepilo zaradi očiščene površine bistveno bolj omoči površino lepljenca. Posledica bazičnosti lepila je tudi nabrekanje lesa in s tem odpiranje strukture celičnih sten, kar lepilu omogoča boljšo penetracijo v les.

- **dodatki**

Npr. polnila fenol-formaldehidnim lepilom dodajamo z namenom uravnavanja viskoznosti in s tem penetracije in gostote. S polnili vplivamo tudi na hitrost utrjevanja in trajnost spoja ter zmanjšujemo ceno lepila. Fizikalno-kemijsko utrjevanje z dodatkom moke je počasnejše kot utrjevanje brez dodatka zaradi vrivanja moke med molekule lepila in s tem povečanja razdalje med molekulami lepila. S polnili lahko tudi preprečujemo prebijanje lepila skozi tanek in porozen furnir.

- **katalizatorji**

Npr. pri fenol-formaldehidnih lepilih katalizatorji vplivajo na hitrost želiranja lepila. Različni katalizatorji različno vplivajo na hitrost želiranja; čista fenol-formaldehidna smola želira precej počasneje kot v primeru, da ji dodamo katalizatorje. Na hitrost želiranja poleg vrste, vpliva tudi količina katalizatorja.

- **količina nanosa**

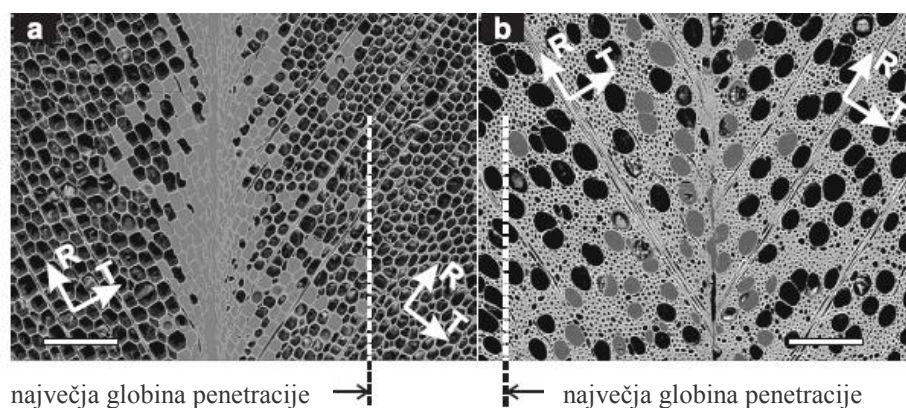
Npr. količina nanesenega lepila ne vpliva bistveno na hitrost reakcije utrjevanja; količina nanosa ima velik vpliv na trdnost utrjenega lepilnega spoja, saj premalo lepila ne more zagotoviti zadostne trdnosti.

- **LASTNOSTI LESA, kot so:**

- **vrsta lesa**

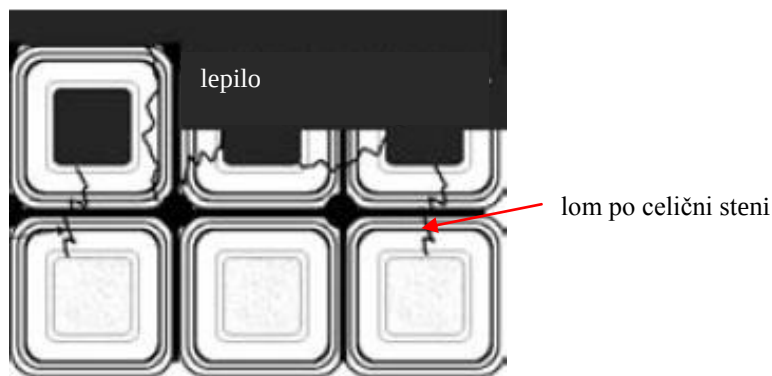
Anatomske lastnosti lesnih vrst vplivajo predvsem na gibanje lepila (penetracija). Lepljenje lesov z visoko poroznostjo je lahko problematično, ker večina lepila zelo hitro penetrira v les. To povzroči pust lepilni spoj. Za lepljenje se lepila lahko pripravi tako, da idealno penetrirajo v določeno lesno vrsto, vendar pa zaradi naravne variabilnosti lesa ali uporabe več lesnih vrst hkrati (npr. proizvodnja ivernih plošč) običajno uporabljamo univerzalno pripravljena lepila.

Na sliki 59 (str. 56) je prikazana globina penetracije lepila pri smreki in bukvi. Pri smreki je lepilo zapolnilo traheide v povezani coni, ki sega od stičišča lepljenec v les. Pri bukvi pa je lepilo penetriralo v bolj oddaljene traheje, ki niso bile povezane v cono (Hass et al., 2010).



Slika 59: Penetracija lepila (PUR) pri smreki (a) in bukvi (b); dolžina bele črte je 200 μm
Vir: Hass et al., 2010, 2

Traheje listavcev in celice ranega lesa imajo tanko celično steno, ki se enostavno razdvoji pri odrezovanju in s tem odpira celične lumne, v katere penetrira lepilo. Na drugi strani imajo vlakna listavcev in celice kasnega lesa debele celične stene, pri katerih cepitev pri odrezovanju najpogosteje poteka po srednji lameli, zaradi česar nastane manj prostora za mehanska sidra pri lepljenju. Pri pripravi lesne površine za lepljenje lahko nastanejo različne površine v odvisnosti od porušitve/cepitve celic, kot je prikazano na sliki 60 (str. 56). Če se celice cepijo v vzdolžni smeri prečno na celično steno (najbolj optimalno), predstavljajo lumni celic glavno lepilno površino. Na adhezijo vpliva tudi kemijska sestava lesa (kovalentne vezi med lepilom in podlago). Hemiceluloza in celuloza vzpostavljajo vodikove vezi z lepilom. Pri odrezovanju lahko na lepilni površini odkrijemo sloje, ki vsebujejo veliko celuloze (npr. sloj S3) ali pa sloje, ki v večini vsebujejo lignin (npr. srednja lamela in bradavičasti sloj). Posledično je tudi število vodikovih vezi in s tem adhezija različna (Frihart, 2005).



Slika 60: Prikaz porušitve/cepitve lesnih celic pri odrezovanju in penetracija lepila v lumne celic
Vir: Frihart, 2005, 228

- **gostota**
Gostejši lesovi so navadno manj permeabilni in imajo višjo trdnost, ki omogoča večjo trdnost lepljenca oziroma lepilnega spoja.
- **smer lesnih vlaken**
Poroznost je odvisna od lesne vrste, vrste lesnih vlaken in anatomskih smeri (tangencialno, radialno in vzdolžno). Npr. penetracija urea formaldehidnih lepil pri bukvi je boljša v tangencialni smeri kot v radialni.

- **vlažnost**

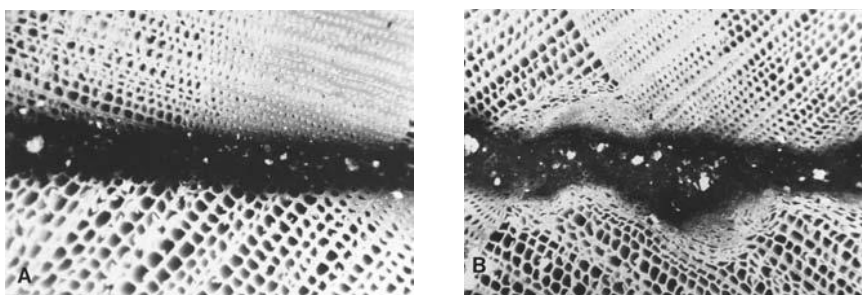
Les je higroskopen material, kar pomeni, da se zaradi spremembe relativne zračne vlažnosti (RZV) in temperature suši oziroma navlažuje. Vlažnost lesa in njena porazdelitev vplivata tako na oblikovanje lepilnega spoja kot tudi na kasnejše lastnosti utrjenega lepilnega spoja. Pri višji vlažnosti lesa se lepilu zmanjša viskoznost in je zato bolj mobilno in zaradi tega bolj penetrira v les. To lahko povzroči pust lepilni spoj. Poleg tega vlaga iz lepila in lesa pri vročem lepljenju zavira porast temperature v lepilnem spoju, ker se energija poleg segrevanja lesa porablja tudi za izparevanje vode. Če je nasprotno vlažnost lesa zelo nizka, zaradi visoke higroskopsnosti lesa v les penetrira večinoma le voda iz lepila. Posledično molekule lepila ostanejo na površini lesa in je zato trdnost spoja majhna (adhezija). Ob spremembi vlažnosti lesa se spremenijo tudi dimenzije lesa. V tangencialni smeri je skrček lahko tudi do 12 %, medtem ko je v radialni smeri približno dvakrat manjši. Pri lepljenju lesa pogosto zlepimo površine, ki so nekoliko različno orientirane, zato je tudi krčenje in nabrekanje dveh takšnih kosov med kasnejšo uporabo različno. Lepilo mora biti dovolj elastično, da ob teh spremembah ne popusti.

- **pH vrednost lesa**

Z naraščanjem kislosti lesa na območju pH med 4,5 in 7 pri določenih lepilih (UF smole) narašča tudi čas želiranja, saj večja kislost lesa deluje kot katalizator.

- **priprava površine**

Za dobro omočitev lesne površine (manjši omočitveni kot), mora biti površina očiščena in aktivna. Površina ne sme biti mastna, prav tako pa med pripravo površine in lepljenjem ne sme preteči preveč časa, ker lahko zaradi izpostavljenosti toploti, svetlobi, zraku ... nastane neaktivna površina. Različna priprava površine lepljenca (npr. skobljanje, brušenje ...) vpliva predvsem na trdnost lepilnega spoja (slika 61, str. 57). Za pripravo površine pri npr. umetnih masah ali aluminiju, se uporablja različne dodatke, ki mehansko spremenijo površino elementa in izboljšajo oprijemnost lepila na podlago (prajmer).



Slika 61: Dobra penetracija lepila (A) in slaba penetracija lepila pri porušeni in prepleteni strukturi vlaken (B) na površini lesa, ki je posledica odrezovanja s topim rezilom

Vir: Frihart, 2005, 227

- **jedrovina in beljava**

Ker jedrovina vsebuje različne ekstraktive, celice pa niso več aktivne kot v beljavi, lepilo lažje penetrira v beljavo.

- **termične lastnosti lesa**

Les je dober toplotni izolator, kar negativno vpliva na hitrost prenosa toplote (pri toplem in vročem lepljenju) in s tem podaljšuje čas stiskanja. Med stiskanjem v klasični vroči stiskalnici za ploskovno lepljenje segreti plošči

oddajata toploto. Toplota se prenaša do lepljenca in se zatem prevaja (izkustveno za prehod toplote skozi 1 mm lesa pri temperaturi 100 °C potrebujemo 1 min) proti lepilnemu spoju, ki se počasi segreva. Stiskanje mora trajati toliko časa, da se lepilo v lepilnem spoju segreje na določeno temperaturo in da ostane segreto na tej temperaturi predpisan čas.

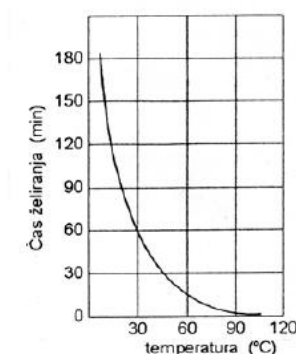
- **rani in kasni les**

Lepilo zaradi večjih lumnov v ranem lesu bolje penetrira v rani les kot v kasni les.

- **POGOJI UTRJEVANJA**, kot so:

- **temperatura**

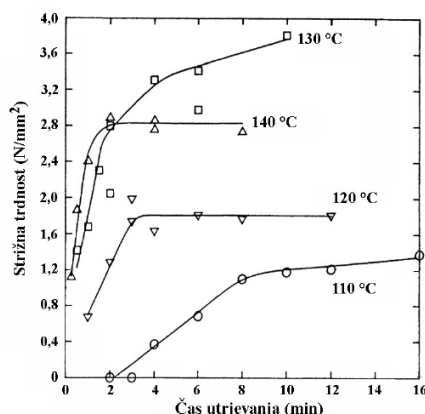
Nekatera lepila za utrjevanje potrebujejo visoko temperaturo, ker kemijska reakcija dovolj hitro poteka šele pri povišani temperaturi. Z naraščajočo temperaturo se običajno časi lepljenja skrajšujejo. Npr. čas želiranja pri UF lepilih je odvisen od temperature lepljenja (slika 62, str. 58). Ustrezna temperatura lepljenja je pogojena z vrsto lepila in možnostjo dovajanja toplote.



Slika 62: Odvisnost časa želiranja UF lepilne mešanice od temperature lepljenja

Vir: Resnik, 1989, 33

Pri lepljenju, ki poteka pri temperaturah nad 100 °C, poleg utrjevanja lepila poteka tudi uparjanje vode, ki se nahaja v lesu in lepilnem spoju. Ker se energija porablja za izparevanje, se zmanjša hitrost utrjevanja lepila. Ker ima vodna para bistveno večjo prostornino in če ne uspe iziti iz lesa in lepilnega spoja, lahko v njem nastanejo mehurji. Zaradi segrevanja se lepilu tudi poveča mobilnost, zato je penetracija lepila v času stiskanja zelo intenzivna.



Slika 63: Strižna trdnost FF lepilnega spoja v odvisnosti od časa utrjevanja in temperature

Vir: Jošt, 2009, 12

Pri utrjevanju fenol-formaldehidnega (FF) lepila je pomembna minimalna temperatura lepljenja. Bazična FF lepila lahko dobro utrdijo le pri temperaturi, ki je višja od 125 °C. Utrjevanje pri nižjih temperaturah je počasnejše, trdnost takega lepilnega spoja je nižja (slika 63, str. 58).

▪ **čas in tlak stiskanja**

Tlak stiskanja je v glavnem odvisen od kvalitete površin in drevesne vrste, ki jih lepimo. Pri lepljenju površin, ki se slabo prilagajajo, in za lepljenje gostejših lesov uporabljamo višje tlake. Glavna funkcija tlaka je zagotoviti čim boljše prilagajanje površini (ustrezen kontakt) in iztiskanje odvečnega lepila. S povišanim tlakom povečamo mobilnost lepila. Ustrezen tlak omogoči zadostno penetracijo lepila v les.

▪ **debelina nanosa lepila**

Količina potrebnega lepila je neposredno odvisna od deleža suhe snovi v lepilu, hrapavosti površine in poroznosti lesa. Ustrezna količina nanosa je običajno podana s strani proizvajalca lepila. Nanašanje lepila najpogosteje poteka v tekoči obliki. Pojavljajo pa se tudi prašnate, raztaljene ali trde (film) oblike nanosov.

▪ **vmesni čas**

Čas od nanosa lepila na obdelovance do stiskanja lepljencev imenujemo vmesni čas (odprti in zaprti čas). V odprtem času vmesnega časa iz lepilne mešanice izhaja topilo, zaradi česar se mešanici zmanjša mobilnost *npr. lepila, ki vsebujejo organska topila (neoprenska ali kontaktna lepila), vežejo zaradi izhlapevanja pretežnega dela topila v času med nanosom lepila in približanjem obeh lepilnih ploskev (odprti čas)*. Zaprti del vmesnega časa traja od prileganja lepljencev do vzpostavitve tlaka v stiskalnici. Vmesni čas je poleg lepila odvisen še od:

- nanosa (debelejši nanosi imajo daljši vmesni čas);
- od vrste lesa in njegovega prereza (lepilo, nanešeno na porozni les ali na prečni prerez, ima zelo kratek vmesni čas);
- temperature zraka in obdelovancev (višja je temperatura, krajši je vmesni čas);
- vlažnosti prostora in obdelovancev (če lepimo vlažen les v vlažnem prostoru, je vmesni čas daljši).

Po stiskanju lepljencev je potrebno le-te **aklimatizirati** (npr. po toplem ali vročem lepljenju se lepljenci prilagajajo normalnim klimatskim razmeram) in **kondicionirati**, kar pomeni izenačevati vlago (na ravnovesno vlažnost) po prečnem prerezu in s tem popuščanje napetosti, ki so nastale zaradi povečane vlažnosti v okolici lepilnega spoja.

5.5 TEHNOLOGIJA LEPLJENJA

Naprave in pripomočki za stiskanje so prilagojeni hladnemu, toplemu ali vročemu lepljenju in delujejo na mehanskem, pnevmatskem ali hidravličnem principu ustvarjanja delovnega tlaka. Za hladno lepljenje uporabljamo (Grošelj et al., 1999):

- stiskalnice s pnevmatičnimi bati (okvirna stiskalnica za lepljenje okvirnih konstrukcij in korpusne stiskalnice za lepljenje korpusov kot npr. kuhinjski elementi),
- svore za ravna in poševna lepljenja (lepljenje v obrtni proizvodnji), v katera sodijo tudi stiskalnice s pomičnimi vrtljivimi svorami (karusel),
- tlačne in vakuumske membranske stiskalnice za lepljenje reliefnih površin.

Za topla in vroča lepljenja pa najpogosteje uporabljamo:

- eno in več etažne ogrevane hidravlične stiskalnice (npr. ploskovno oplemenitenje ali furniranje),
- pretočne kratkotaktne hidravlične stiskalnice v proizvodnji vezanih plošč,
- visokotlačne pretočne stiskalnice v proizvodnji vlaknenih in ivernih plošč,
- visokofrekvenčne stiskalnice za lepljenje in hkratno krivljenje (npr. naslon iz laminata).

5.6 NAČINI NANOSA LEPILA

Nanašanje lepila lahko poteka ročno ali strojno in je prilagojeno obliki lepilne ploskve (npr. ravna, kriva, prostorsko razgibana) in obliki lepila (npr. disperzija, talina, film, prah idr.).

Ne glede na tehniko nanašanja je potrebno zato, da dosežemo željeno vezivno trdnost in da se izognemo izcejanju lepila na robovih oziroma da prispevamo k racionalni porabi lepila, nanašati lepilo enakomerno po celotni lepilni površini. Količina nanosa, ki jo predpiše proizvajalec (g/m^2) je odvisna od vrste lepila, drevesne vrste oziroma materiala, ki ga lepimo, priprave površine, tehnike nanašanja in potrebnega stiskanja (Grošelj et al., 1999).

Osnovni pripomočki za **ročno nanašanje**, ki se najbolj pogosto uporabljajo pri montažnem postopku lepljenja in v obrtniških proizvodnjah, so čopiči, strgala, ročni valji in platenke oziroma pnevmatske naprave z različnimi nastavki za nanos lepila. Pri takšnem načinu težko dosežemo enakomeren nanos, težko se izognemo pocejanju odvečnega lepila in delo je glede na strojno nanašanje bistveno počasnejše.

Strojno nanašanje lepila je bolj racionalno in zmogljivo glede na ročno nanašanje. Strojne tehnike nanašanja so možne le pri primernih oblikah lepilne ploskve in so smiselne le pri dovolj veliki količini lepljencev (priprava in čiščenje nanašalcev). Tehnike strojnega nanašanja lepila so nanašanje z brizganjem in polivanjem, ekstrudiranjem in nanašanje z valji.

Glavna prednost nanašanja lepil z **brizganjem in polivanjem** je v enostavnosti nanašanja in možnosti oblikovanja lepilnega filma tudi v primeru odstopanj v npr. debelini furnirja. Poseben način nanašanja lepil, bodisi v obliki disperzij ali prahu, je oblepljenje iveri in lesnih vlaken pri izdelavi ivernih in vlaknenih plošč. V tem primeru oblikujemo meglo disperzije ali prahu lepila, ki v posebnem stroju za oblepljenje obloži iver z lepilom. Tehniko brizganja uporabljamo npr. pri neoprenskih lepilih pri izdelavi oblazinjenega pohištva. Za brizganje se uporablja brezračne pištrole, ki zagotavljajo razprševanje lepila z uporabo tlaka (Resnik, 1989).

Valjčno nanašanje lepila se najpogosteje uporablja pri oblepljenju ravnih, večjih površin. Valji zagotavljajo racionalen in enakomeren nanos. Sistem nanašanja je zasnovan iz:

- nanašalnega valja, ki ima običajno negladko in gumirano površino, ki zagotavlja enakomeren nanos in povečano trenje, ki je potrebno za transport lepljenca med valji;
- dozirnega valja, ki je manjšega premera in ima gladko jekleno ali gumirano površino. Hitrost in smer vrtenja dozirnega valja je lahko tudi različna od nanašalnega valja.

Količino nanosa reguliramo z oddaljenostjo med nanašalnim in dozirnim valjem in primerno pripravo lepila. Nekateri valji so tudi hlajeni z namenom podaljševanja uporabnosti časa mešanice.

Nanašanje lepila z ekstrudiranjem se uporablja predvsem za oblepljenje večjih ravnih površin. Lepilo se poliva v obliki niti, ki tečejo na površino lepljenca na določeni medsebojni razdalji. Problem nanašanja je "trganje" zavese lepila pri doziranju manjših nanosov.

Pri furniranju s tankimi in poroznimi furnirji se uporablja tudi nanašanje lepila v obliki lepilnih filmov. S tem načinom se prepreči preboj lepila (Resnik, 1989).



POVZETEK

Lepilo je snov, ki je zmožna zlepit dve površini zaradi površinskega zlepljenja in notranjih sil (adhezije in kohezije).

Lepljenje je spajanje lepljencev v celoto, temelji pa na postopnem utrjevanju tekočega lepila. Najpomembnejši fizikalni in kemični pojavi, s katerimi pojasnjujemo lepljenje lesa, so omakalnost in površinska napetost, medmolekulske privlačne sile med delci lepila in lesa (stična površina – adhezija), medmolekulske privlačne sile med delci lepila (znotraj lepila – kohezija), koloidne lastnosti lepil in utrjevanje lepil.

Za lepljenje lesa se uporabljajo predvsem sintetična lepila. Osnovna surovina za proizvodnjo sintetičnih lepil so proizvodi petrokemije, naravni plin in zrak. Sintetične mase pridobivamo s sintezo snovi z malimi molekulami. Polimeri, ki nastanejo, pa so produkt različnih kemijskih reakcij, kot so polikondenzacija, polimerizacija in poliadicija.

Izbor najprimernejšega lepila, katerega lepljenje lahko poteka po hladnem, toplem ali vročem postopku, je odvisna od karakteristik lepila in zahtev lepljenca (npr. vodoodporen, nizka vsebnost formaldehida idr.). Običajno se izbere lepilo, ki zagotavlja lepilni spoj s čim nižjimi stroški (stroški lepila kot material in stroški tehnologije za nanos lepila). Na izbor vpliva tudi serija izdelkov.

Na utrjevanje lepila in trdnost lepilnega spoja vpliva več dejavnikov kot npr. lastnosti lepil, lastnosti lesa in pogoji utrjevanja.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

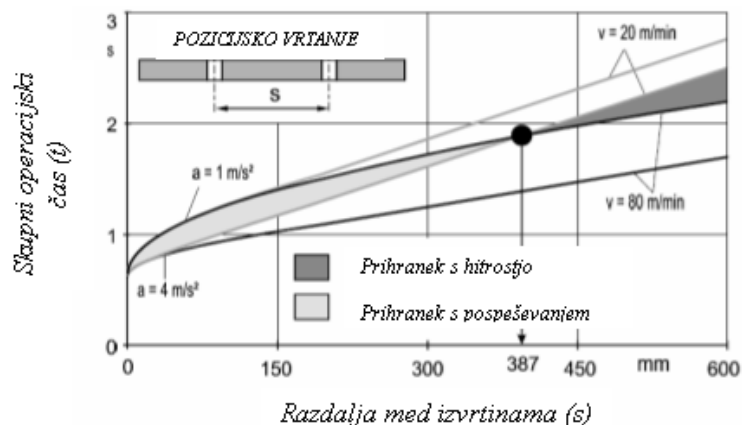
1. Pri lepljenju vezi na masivni omarici (spoj stranica-dno-strop) je bilo potrebno lepilo nanesti na čelno ploskev (prečni prerez vlaken). Uporabljali so polivinil acetatno disperzijo, ki zahteva temperaturo prostora, materiala in lepila od 18 °C do 20 °C, vsebnost vlage v lesu od 8 % do 10 %, relativno zračno vlažnost od 60 % do 70 %, nanos pri montažnem lepljenju od 40 g/m² do 200 g/m², odprti čas pri 150 g/m² od 6 min do 9 min in pritisk stiskalnice za obdelovance brez napetosti od 0,1 N/mm² do 0,5 N/mm². Napovejte možne probleme pri lepljenju in predlagajte ukrepe, ki bodo preprečevali neustrezno trdnost lepilnega spoja.
2. Na hidravlični stiskalnici je bilo potrebno zlepit sklope stola z enakim lepilom kot pri nalogi 1. Zaradi napetosti na spoju noga-naslon (oblika naslonjala medaljon) je spoj popustil, če je bil čas stiskanja krajši od 8 min. Ker je bilo potrebno izdelati 500 sklopov stola in je bil termin odpreme že postavljen (proizvodnja je zamujala), je bilo

- potrebno pospešiti čas utrjevanja lepila. Predlagaj, kako lahko pospešimo postopek lepljenja. Kritično osvetli nastalo situacijo.
3. V proizvodnji vezanih plošč je potrebno po končanem delu očistiti valje za nanos lepila. Čiščenje valjev poteka z vodo. Odpadna voda se v prvi fazi vodi skozi usedalnik, kjer se loči gostejša snov (mulj) iz odpadne vode (prekatna greznica). Odpadno vodo se v nadaljevanju obdela s koagulant, ki dodatno očistijo odpadno snov. Tako mulj, ki nastane na usedalniku, kot tudi mulj, ki nastane pri koagulaciji, se v posebnih embalažnih posodah odpelje kot nevaren odpadek na sežig. Tekočina, ki ostane, se spušča v fekalno kanalizacijo. Kritično presodite, kako postopek vpliva na onesnaževanje narave. Predlagajte izboljšave.
 4. Pri lepljenju bukovega furnirja debeline 0,6 mm na iverno ploščo debeline 16 mm, 18 mm, 22 mm, 25 mm, 28 mm in 30 mm so v podjetju uporabljali urea-formaldehidno lepilo. Stiskanje je potekalo z grelnimi ploščami na površini 10 m² (grelni medij je bila nizkotlačna para oziroma termično olje s toplotnim izmenjevalcem). Pri temperaturi stiskanja 105 °C je lepilo utrdilo v 2,5 min do 3 min (slika 62, str. 58). V zimskem času je zaradi oddaljenosti proizvodnje od vira toplote (nizkotlačna para) temperatura pare na vhodu v izmenjevalec toplote dosegla samo 95 °C oziroma na grelni plošči od 80 °C do 85 °C. Padec temperature na grelni plošči je podaljšal čas stiskanja na 20 min. Dodatno ohlajevanje grelnih plošč je predstavljal tudi material, ki se je v zimskem času skladiščil v prostoru, ki ni bil ogrevan. Presodite in se odločite, na kakšen način boste ukrepali, da se čas stiskanja v zimskih mesecih skrajša na največ 4 min (še sprejemljivo z vidika proizvodnih kapacitet in obremenitve delavcev na stiskalni liniji).

6 DELO Z LESNO OBDELOVALNIMI STROJI Z VIŠJO STOPNJO ZAHTEVNOSTI



Pri obdelavi lesa s CNC tehnologijo je pomembna hitrost obdelave (produktivnost). Skupni operacijski čas je odvisen od hitrosti premika orodja in vračanja orodja ter hitrosti rezalnega gibanja (npr. vrtanje, rezkanje idr.). Na produktivnost pa vplivajo tudi pospeški pri premiku orodja (Heisel et al., 1996).



Slika 64: Vpliv hitrosti gibanja/premika orodja in pospeševanja na skupni operacijski čas
Vir: Heisel et al., 1996, 6

Na sliki 64 (str. 63) je prikazano, kako se lahko doseže prihranke pri skupnem operacijskem času z ustrezno izbiro pospeškov in hitrostjo premika orodja glede na razdalje med operacijami (npr. razdalja med izvrtinami). V prikazanem primeru sta pospeška pri premiku 1 m/s^2 oziroma 4 m/s^2 . Hitrost premika orodja pa je 20 m/min in 80 m/min . Predpostavka je tudi, da se hitrost rezalnega gibanja (vrtanje) ne spreminja. Ugotovljeno je bilo, da pri krajših razdaljah med izvrtinami (do razdalje 387 mm) dosežemo krajše operacijske čase, če uporabljamo CNC tehnologijo, ki omogoča pospeške 4 m/s^2 . V kolikor pa so razdalje med operacijami daljše, na skupni operacijski čas bolj vpliva hitrost pomika orodja.

6.1 CNC STROJI

Kratiki NC in CNC pomenita Numerical Control (numerično krmiljenje) in Computer Numerically Controlled (računalniško numerično krmiljenje). NC je predhodnik CNC krmiljenja.

Prvi NC stroji so se pojavili v začetku petdesetih let v Združenih državah Amerike. Glavni razlogi, vodilo in cilji pri razvoju CNC strojev so bili (Alain, 2010):

- povečati produktivnost (predvsem pri majhnih serijah ali tudi posameznih izdelkih) in omogočiti hitro preureditev z ene na drugo obdelavo (fleksibilnost),
- izboljšati kvaliteto in natančnost izdelkov (minimalna kontrola izdelkov),
- zmanjšati proizvodne stroške (manjša poraba energije in delovnega prostora),

- prihranki na materialu,
- izdelava zahtevnih izdelkov, ki jih na drugačen način ne moremo izdelati.

Investicija v CNC tehnologijo je bistveno višja od klasičnih strojev in zahteva tudi:

- usposobljenost delavcev (zahtevnejše delo kot pri uporabi klasičnih strojev),
- kakovostno vzdrževanje vseh mehanskih, pnevmatičnih, hidravličnih in električnih sistemov,
- konstruiranje in risanje ter računalniško obdelavo podatkov.

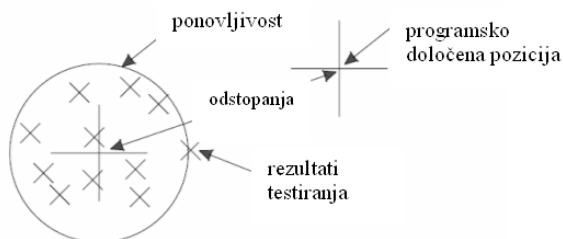
Naslovi na katerih so video predstavitve obdelave materialov s CNC stroji:

<http://www.thermwood.com/>; <http://www.directindustry.com/>; <http://www.sahos.cz/>,
(24. 1. 2011).

6.2 TEHNOLOŠKE ZNAČILNOSTI STROJNE OPREME Z VIŠJO STOPNJO ZAHTEVNOSTI VEČVRETENSKIH IN CNC STROJEV

CNC tehnologija se uporablja pri različnih aplikacijah. Glavne tehnološke značilnosti strojne opreme pa so (Alain, 2010):

- **avtomatizacija**
Vpliv spretnosti operaterja na kvaliteto in čas izdelave lahko zelo zmanjšamo ali celo odpravimo. Večina CNC strojev obdeluje material brez človeškega nadzora in spremljanja, kar omogoča, da operater izvaja tudi druge naloge.
- **produktivnost**
Izkoriščenost stroja se poveča, ker se porabi manj časa za pozicioniranje oziroma delovne gibe, ki ne dodajajo vrednosti izdelku. Običajno CNC stroji vsebujejo več različnih agregatov (vrtalni, rezkalni, žagalni ...), ki omogočajo obdelavo različnih operacij z enim vpetjem.
- **fleksibilnost**
CNC stroji so računalniško krmiljeni, zato je obdelava različnih obdelovancev enostavna (zamenjava programa, zamenjava šablone in orodja). Menjava je enostavna in hitra. Zaradi združevanja operacij na enem stroju se posledično zmanjša tudi število konvencionalnih strojev v proizvodnji. Skrajša se tudi čas ležanja materiala v skladiščih (brez dodane vrednosti) med operacijami, kar pomeni manjše zaloge. CNC stroji lahko delajo brez odmora (izgube časa). Za vsako vrsto lesa lahko nastavimo optimalno smer in hitrost pomika rezalnega orodja. Tako zagotovimo kvaliteto obdelavo ter preprečimo lome orodja. Večstopenjski obdelovalni stroji sledijo novim proizvodjalno – programskim zahtevam.
- **natančnost**
Gibi CNC strojev dosegajo natančnost obdelave v območju 0,05 mm do 0,10 mm. Dosega se tudi velika natančnost pri ponovljivosti (npr. dva, tri ali tisoč identičnih obdelovancev (slika 65, str. 64) lahko obdelamo z enako natančnostjo npr. 0,02 mm).



Slika 65: Pozicijska natančnost (sposobnost doseganja točke v prostoru z določeno toleranco)

Vir: Alain, 2010, 15

- togost ogrodja

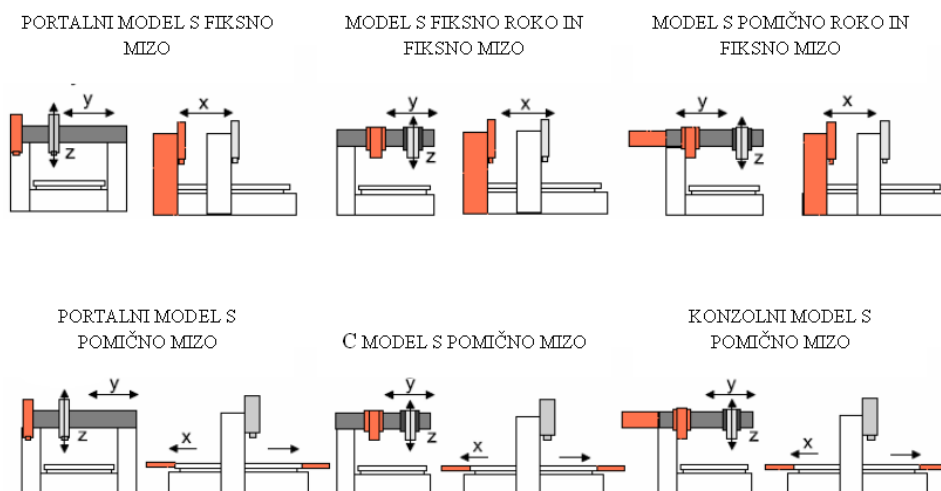
Na kvaliteto reza vpliva togost ogrodja (stroja) in natančnost obdelave. Drugi pomembni dejavniki so še kontrola gibov, pospeševanje in zaviranje, način vpenjanja orodja in obdelovanca. Težko premikajoče se ogrodje povzroča večje torzijske sile, kar pomeni omejitve pri zagonu in ustavitvi ogrodja. Prelahka ogrodja pa imajo omejitve glede sil, ki jih prenašajo oziroma se pojavljajo vibracije, zato je potrebno pri konstruiranju optimizirati tako dejavnike, ki vplivajo na kvaliteto reza, kot tudi ostale dejavnike. Poglavitne razlike v modelu stroja so prikazane na sliki 66 (str. 65). Npr. **portalni model s fiksno mizo** je namenjen obdelavi izdelkov z večjimi dimenzijami (obojestranska podpora prečnega nosilca). Slabost je nagib mostu pri višjih pospeških zaradi vztrajnostnih momentov in slaba dostopnost pri posluževanju stroja. Pri **portalnem modelu s pomično mizo** stebri podpirajo prečni nosilec, ki se ne premika. Longitudinalno gibanje izvaja miza, na kateri je vpet obdelovanec. Dobre dinamične lastnosti omogočajo hitro pospeševanje. Slabost je velika površina (gibanje mize), ki jo potrebujemo za delovanje stroja (dvakrat več kot celotna površina stroja). Pri **modelih s pomično in fiksno roko in fiksno mizo** se zahteva manj prostora za obdelavo. Izvedba omogoča lažje posluževanje kot portalni modeli. Zaradi premikanja nosilca roke oziroma roke v longitudinalni smeri je dinamika stroja slabša kot pri modelih s pomično mizo. **C model** ima dobre dinamične lastnosti zaradi premikanja lahke konstrukcije (orodje in delovna gred). Longitudinalno gibanje izvaja miza, na kateri je vpet obdelovanec. Slabost je tako kot pri portalnem modelu s pomično mizo, velika površina (gibanje mize), ki jo potrebujemo za delovanje stroja. Pri **konzolnem modelu** se gibanje v longitudinalni smeri izvaja s pomično mizo. Fiksni nosilni steber nosi ročico, ki se premika v prečni smeri.

- zmožnost predvidevanja in simulacija

Kontrolni sistem preračuna pot orodja za več korakov vnaprej in opozori operaterja oziroma ustavi delovanje, če ugotovi napako. Posledično se poveča tudi varnost operaterja.

- omejitve

CNC stroji so narejeni tako, da optimalno izvajajo določene funkcije. Kljub temu pa je pri določenih nalogah bolj optimalno uporabiti konvencionalne stroje oziroma delavca, ki je mobilni in mnogostranski. Takšen način dela zahteva veščine operaterja, ki jih operater na CNC stroju ne potrebuje. Na drugi strani pa CNC obdelava ne more potekati brez veščin risanja, programiranja idr.



Slika 66: Izvedbe CNC strojev za obdelavo lesa

Vir: Heisel et al., 1996, 3

6.3 PRIMERJAVA CNC IN KLASIČNIH OBDELOVALNIH STROJEV

Klasične stroje je potrebno sproti nastavljanju in kontroliranju, saj običajno opravljajo eno operacijo. Med stroji za različne delovne operacije moramo imeti medfazna skladišča.

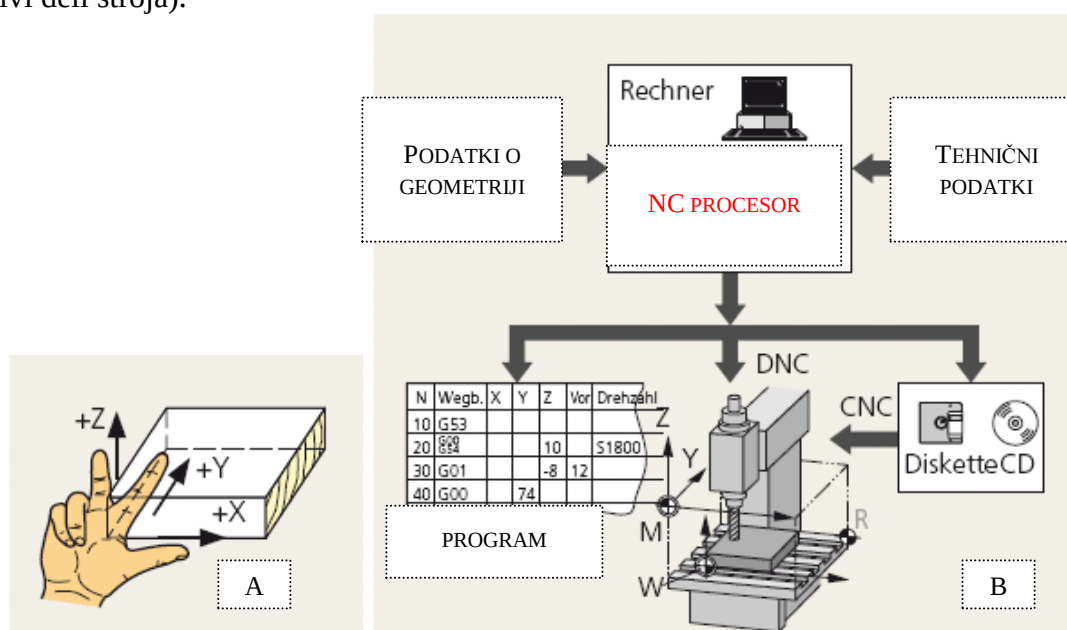
Numerično krmiljeni stroji se običajno uporabljajo za obdelavo različnih operacij kot npr. rezkanje, vrtanje, utorjenje, žaganje idr. Ker lahko obdelovanec z istim vpetjem, obdelujemo z različnimi orodji, se izognemo časom za pripravo in zaključek vmesnih operacij

6.3.1 Obdelovalne osi na strojih

Standardne izvedbe CNC obdelovalnih strojev imajo tri obdelovalne osi, ki omogočajo obdelavo v x, y in z osi. Dodatno gibanje se doseže z rotacijo okoli osi, smer vrtenja pa se določa po pravilu desnega vijaka. Pri krmiljenju CNC strojev je za določen gib potrebno izračunati (algoritem) **smer, hitrost in pospešek** v vsaki smeri osi.

Za določanje geometrijskih podatkov v programu se uporablja kartezijski koordinatni sistem. Sistem določajo dve ali tri med seboj pravokotne si osi, ki sekajo skupno sečišče, imenovano izhodišče koordinatnega sistema (slika 67, str. 66).

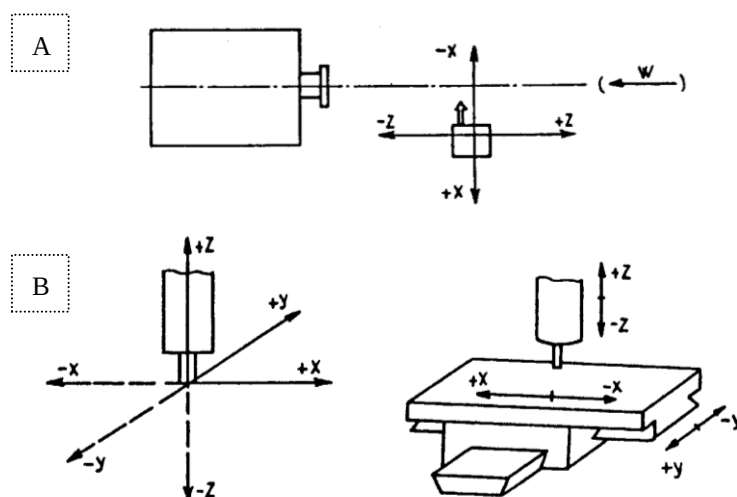
Vsaka os ima dve možni smeri gibanja, ki so prikazane s pravilom desne roke (slika 67 A, str. 66). Krmiljene osi predstavljajo smeri gibanja delovne mize, vretena ali nosilcev orodja (gibljivi deli stroja).



Slika 67: Smer gibanja in pravilo desne roke (A); prikaz glavnih osi na CNC stroju in zgradba krmiljenega stroja (B)

Vir: http://www.bildungsverlag1.de/bv1web/assets/Probeseiten/4612a_4.pdf, (24. 1. 2011)

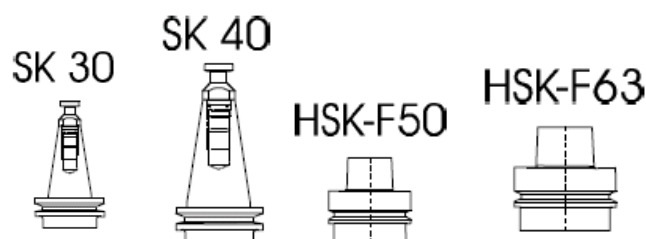
Pri konvencionalnih strojih je ravno tako potrebno upoštevati dimenzije in lego orodja ter obdelovanca. Za postavitev in določene odmike obdelovanca glede na orodje se lahko uporablja matrice ali omejevalne prislone. Enostavnejši stroji imajo ravninski koordinatni sistem, pri katerem je možno dvoosno krmiljenje (stružnica). Prostorski koordinatni sistem pa uporabljamo pri rezkalnih in vrtalnih strojih. Os Z je vedno vzporedna z osjo glavnega vretena stroja (slika 68, str. 67).



Slika 68: Ravninski (A) in prostorski (B) koordinatni sistem
Vir: Geršak, 1998, 107, 108

6.3.2 Orodje in nosilci orodja

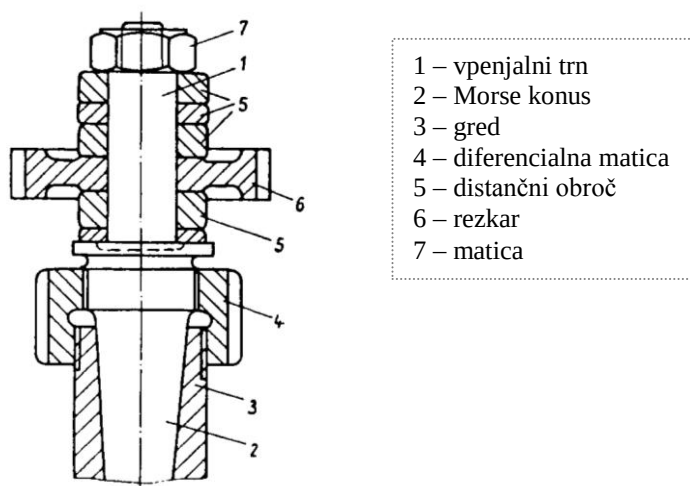
Nosilci rezalnega orodja so običajno samostojni delovni agregati, revolverska glava ali delovni agregat s shrambo orodja (avtomatizacija menjave orodja). Večstopenjski obdelovalni stroji so lahko opremljeni z vpenjalnimi sistemi, na katere je mogoče namestiti katerekoli rezalno orodje neodvisno od načina vpetja (npr. cilindrično steblo, Morse Konus ali vpenjalni sistem za rezkar z izvrtino). Na sliki 69 (str. 67) so prikazane najpogostejše standardizirane oblike vpenjalnega dela držala s stročnico.



Slika 69: Oblike vpenjalnega dela s stročnico
Vir: Heisel et al., 1996, 8

Več o vpenjanju in orodju pri CNC strojih lahko preberete na naslovu: http://www.visjales-mb.org/download/PROGRAMIRANJE_CNC_STROJEV.pdf, (24. 1. 2011).

Pri konvencionalnih lesnoobdelovalnih strojih se pri npr. pritrdjevanju rezkarja na vpenjalni trn in trn na gred običajno uporablja Morse konus številka 1 do 5 (MK1 do MK 5), diferencialne matice, distančnike in matice (slika 70, str. 68). Pritrditev orodja s pomočjo Morse konusa se uporablja tudi pri nadmiznem rezkalniku in pri nekaterih strojih za vrtanje. Pri krožnih žagalnih strojih se uporablja prirobnice in matice.



Slika 70: Pritrditev rezkarja in trna na gred

Vir: Geršak, 1998, 26

6.3.3 Gibanja pri obdelavi in nastavitve

Pri konvencionalnem stroju glavno gibanje (rezalno in podajalno gibanje) zagotavlja elektromotor. Za menjavo vrtilne hitrosti glavnega vretena imamo na razpolago večstopenjske jermenice, ki se jih lahko premika v času, ko stroj ne obratuje. Za zagotavljanje podajalnih gibanj imamo na razpolago podajalne naprave ali pa se podajanje izvaja ročno (matrica).

Pri numerično krmiljenih strojih zagotavlja glavno gibanje elektromotor, s pomočjo regulatorja (frekvenčni regulatorji) pa se spreminja vrtljaje motorja in s tem zagotavlja ustrezno vrtilno hitrost. Doseženo pozicijo orodja meri posebni merilni sistem, ki je povezan s krmilnikom. Celotno delovanje stroja nadzira in upravlja krmilnik po določenem programu.

Za enostavno in hitro vpenjanje pri računalniško vodenih strojih, se pri ploskovnih obdelovancih uporablja vakuumske izvedbe delovnih miz (možne tudi rotacije). Pri kosovni proizvodnji pa se uporablja oprijemala, ki so nastavljiva v dveh ali več ravninah.

Vpenjanje pri klasičnih obdelovalnih strojih je običajno izvedeno z matricami ali pnevmatskimi oprijemali oziroma se obdelovanec podaja ročno ali z avtomatskim podajalnim sistemom (podajalno gibanje).



V proizvodnji stolov so na konvencionalnih strojih izvajali operacije vrtanja, rezkanja, utorjenja, rezanja itd. Zaradi majhnih serij (med 50 in 100 kosov/serijo) je bilo potrebno čas nastavitve strojev skrajšati.

Ena izmed možnih rešitev je bila investicija v CNC obdelovalni center, ki bi združeval različne operacije na enem stroju. Zahteva proizvajalca stolov je bila, da se morajo operacije prireza, vrtanja in utorjenja na nogi fotelja (slika 71, str. 69) izdelati v čim krajšem času. Ker bi bilo povprečno število menjav v eni izmeni na CNC stroju vsaj 10, je bila zahteva tudi, da se CNC stroj nastavi v čim krajšem času.

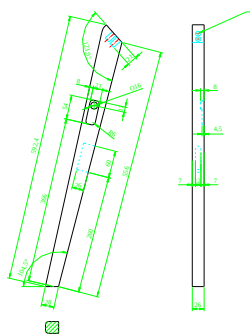
Poiskati je bilo potrebno rešitev, ki ustreza potrebam oziroma zahtevam podjetja in ne prilagoditi potrebe k rešitvi. Zgodilo se je, da so prodajalci ponujali opremo in programsko podporo, ki ni bila optimalna za določene zahteve. Zato je bilo potrebno s primerjavo različnih ponudnikov izbrati tistega, ki je ponujal najboljšo rešitev.

Dobavitelj strojne opreme, ki je ponudil najboljšo rešitev, je za dosego opisanih zahtev predlagal:

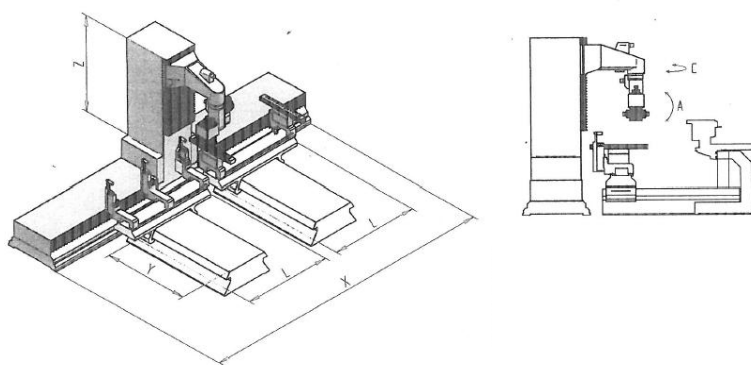
- CNC obdelovalni center (tri linearne in dve rotacijski osi) z dvema obdelovalnima enotama (dva elektro motorja z dvema izhodoma za vpetje štirih različnih rezil (slika 72, str. 69),
- podajalni mizi za sinhronizirano polnjenje in praznjenje obdelovancev na pozicijo obdelave,
- numerično krmiljenje oprijemal po X (dolžina) in po Z (višina) osi – dvojni referenčni sistem (oprijemala se uporabljajo za postavitev obdelovanca na delovno površino brez matrice)
- vpenjanje ISO 30 s stročnicami ETS/32 (v podjetju so takšen sistem že uporabljali, zato je bilo smiselno standardizirati način vpetja).

Nastavitveni čas pri enooperacijskih strojih je bil za prirez noge spodaj in zgoraj, vrtanje in utorjenje 145 min. Za izdelavo opisanih operacij so bile potrebne matrice. Skupni izdelavni čas je bil 55 s/kos.

Nastavitveni čas pri CNC obdelovalnem centru je bil po simulaciji ocenjen na 15 min do 20 min, izdelavni čas pa na 20 s. Za obdelavo ni bilo potrebnih matric.



Slika 71: Načrt noge
Vir: Novoles d.d., (20. 1. 2011)



Slika 72: CNC stroj

Vir: <http://www.bacci.com/cgi-bin/bacci/pagina.pl?Tipo=famiglia&IdM=&IdF=11&Lin=eng>,
(20. 1. 2011)

6.4 NC IN CNC STROJNA OPREMA

Računalniško vodeni obdelovalni stroji so sestavljeni iz **mehanskega dela** ter iz **krmilnega dela** in **merilnih sistemov**. Osnovna naloga krmilne naprave pri obdelavi je, da uravnava gibanje in položaj suporta po oseh in pripadajoče podajalne in vrtilne hitrosti. Zgradba

numerično krmiljenega stroja je prikazana na sliki 67 B (str. 66). Program vnesemo v krmilno napravo, ki podatke obdela, shranjuje in preko merilnega sistema spremlja podatke o trenutnem stanju stroja, nato pa krmili stroj v obliki električnih impulzov.

Več o strojni opremi je dostopno na naslovu http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/avt_pro_po/Hiske/Porocilo_Proizvodnja%20in%20sestavljnje%20hiske.pdf, (20. 1. 2011).

6.5 NAČRTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESOV S STROJI VIŠJE STOPNJE ZAHTEVNOSTI

Za načrtovanje tehnološkega procesa mora programer poznati standardne postopke obdelave in tehnološke možnosti CNC strojev, karakteristike oblike in konstrukcije izdelka idr. Vrstni red operacij obdelave izdelkov se določi tako, da se optimizira izdelavni čas (čim manj menjav orodij, čim manj prestavitev, čim manj prelaganja obdelovancev idr.).

Osnova za programerja so tehnološki načrti, ki se jih nadgradi z operacijskim načrtom in programom, načrtom za vpetje obdelovanca in pozicioniranje, opisom uporabljenega orodja idr.



POVZETEK

Glavni razlogi, vodilo in cilji pri razvoju NC (numerično krmiljenje) in CNC (računalniško numerično krmiljenje) strojev so bili povečati produktivnost in omogočiti hitro preureditev z ene na drugo obdelavo (fleksibilnost), izboljšati kvaliteto in natančnost izdelkov, zmanjšati proizvodne stroške in povečati prihranke na materialu ter izdelava zahtevnih izdelkov, ki jih na drugačen način ne moremo izdelati.

Numerično krmiljeni stroji se običajno uporabljajo za obdelavo različnih operacij kot npr. rezkanje, vrtanje, utorjenje, žaganje idr. Standardne izvedbe CNC obdelovalnih strojev imajo tri obdelovalne osi, ki omogočajo obdelavo v x, y in z osi. Dodatno gibanje se doseže z rotacijo okoli osi.

Računalniško vodeni obdelovalni stroji so sestavljeni iz **mehanskega dela**, ki se po izgledu bistveno ne razlikuje od klasičnega, ter iz **krmilnega dela** in **merilnega sistema**.

Glavna naloga krmilnika je, da prevede program v stroju razumljiv jezik. Ti impulzi so posredovani pogonskim motorjem. Merilni sistem beleži dejanski položaj orodja in ga posreduje krmilniku, ta pa med sabo primerja dejanski in želeni položaj. Ko se stanje izenači, se izvede zaustavitev gibanja. Vsaka regulacijska zanka je sestavljena iz krmilnika, podajalnega pogona in merilnega sistema. Če hočemo doseči veliko natančnost pri izdelavi, moramo zagotoviti majhno zračnost med posameznimi strojnimi deli, veliko togost posameznih delov stroja in majhne vztrajnostne momente podajalnih motorjev.

Za načrtovanje tehnološkega procesa mora programer poznati standardne postopke obdelave in tehnološke možnosti CNC strojev, karakteristike oblike in konstrukcije izdelka idr. Vrstni red operacij obdelave izdelkov se določi tako, da se optimizira izdelavni čas (čim manj menjav orodij, čim manj prestavitev, čim manj prelaganja obdelovancev idr.).

Za delovanje CNC stroja je potrebno izdelati program oziroma zaporedje programskih ukazov, ki nekemu CNC stroju določa postopek izvajanja delovnih operacij za izdelavo določenega izdelka. Postopek obdelave je v CNC programu opisan s krmilnimi ukazi (geometrijskimi, tehnološkimi in pomožnimi funkcijami). Primer programiranja CNC stroja Masterwood-Winner je prikazan na naslovu http://www.visjales-mb.org/download/PROGRAMIRANJE_CNC_STROJEV.pdf. (20. 1. 2011).

Za izdelavo programa potrebujemo risbo obdelovanca in velikost obdelovalnega materiala. Opisati oziroma določiti moramo izbrana orodja v skladu s karakteristikami orodja. Definirati moramo pravilno pot gibanja vrha/konice orodja za vsako fazo obdelave in za vsako orodje posebej. Definirati moramo torej pravilno dolžino in globino reza. Definirati moramo vklope in izklope ustreznega gibanja npr. vrtilno hitrost vretena idr.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Navedite prednosti in pomanjkljivosti CNC in klasičnih strojev.
2. Delovni agregat CNC stroja ima vrtilno hitrost 8.000 obratov/min. Bukov les obdelujemo z rezkarjem, ki ima vpeta štiri rezila in ima premer 60 mm. Izračunajte podajalno hitrost, da bomo dosegli srednje kvalitetno površino (rezultat pri $r_v = 0,3 \mu\text{m}$ je $v_p = 8,6 \text{ m/min}$).
3. Na kaj je potrebno paziti pri izbiri stroja in kaj vpliva na ceno?
4. Presodite, kje se uvaja numerično krmiljenje pri lesnoobdelovalnih strojih.

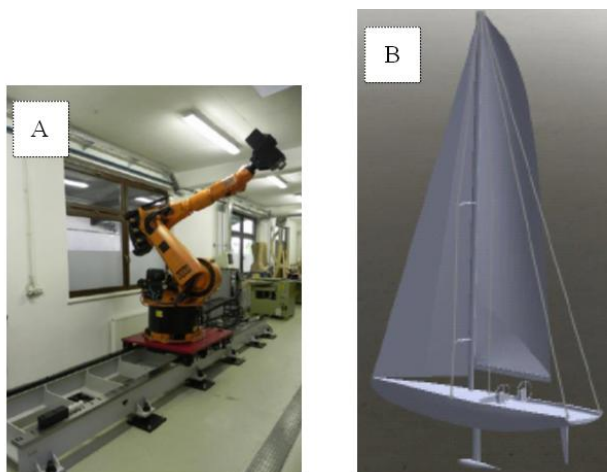
7 AVTOMATIZACIJA PROIZVODNJE IN ROBOTI



Režkanje s pomočjo robota se v industriji pojavlja zelo redko. Bolj pogosto se robote uporablja za prenašanje težkih bremen, vstavljanje komponent, varjenje idr. Razlogov, da se robotov ne uporablja pri rezkanju, je več (povzeto po Tratar, 2010):

- CNC petosni obdelovalni centri so bolj dodelani tako z vidika strojne kot tudi programske opreme;
- togost robota je manjša od togosti klasičnih obdelovalnih centrov;
- programska oprema robotov je nedodelana itd.

V nalogi so si zadali cilj izrezkati model trupa jadrnice z robotom KUKA KR 150 L150 (slika 73, str. 72). Izdelali so dve polovici trupa iz penastega polistirenskega materiala (stirodur). Stirodur kot material je mehek in enostaven za obdelavo. Omogoča pa tudi popravke in izboljšave na modelu v smislu izboljšanja površine ali skrajševanja časa obdelave.



Slika 73: Robot na tirnici (A) pred rezkanjem trupa jadrnice, narisane v programu SolidWorks (B)

Vir: Tratar, 2010, 38, 16

Podajalna hitrost pri obdelavi je znašala 8.500 mm/min. Obdelovanec je bil izdelan v 243 min (ena stran trupa). Na koncu so oba dela trupa zlepili. Na podlagi opazovanj so ugotovili:

- zaradi nepopolnosti programske opreme (počasnost in togost) so se pri rezkanju pojavljale težave v smislu singularnosti robota, točkastem pomiku pri velikih radijih idr.,
- zaradi manjše togosti robota je smiselno rezkanje materialov z manjšimi specifičnimi rezalnimi silami (npr. les, kompoziti, poliuretanske pene),
- robotsko rezkanje je uporabno pri hitri izdelavi kompliciranih prostorskih površin. Prototip se lahko izdelava v enem kosu, ker je robot manj omejen z dimenzijami v primerjavi s CNC stroji,
- roboti zasedejo tudi manj prostora za enako obdelovalno površino kot primerljivi petosni centri.

7.1 ZAKAJ AVTOMATIZIRATI PROIZVODNJO?

Osnovni razlogi za avtomatizacijo in robotizacijo so:

- zniževanje stroškov,
- razbremenitev človeka,
- zagotavljanje zmogljivosti in
- zagotavljanje kakovosti proizvodnje.

Avtomatizacija in robotizacija vplivata na skrajševanje časa izdelave, večanje zmogljivosti in posledično zniževanje proizvodnih stroškov in hitrejša vračanje investicije. Če se ozremo na začetke avtomatizacije in robotizacije, vidimo, da so ju spodbudile zahteve po razbremenitvi človeku škodljivega in monotonega dela, pa tudi dejstvo, da nekaterih nalog z ročnim delom in človeškimi zmožnostmi ni bilo mogoče več učinkovito izvrševati. Človek na ročno vodenem obdelovalnem stroju namreč ni zmožen zagotoviti gibanja orodja po zapletenih krivuljah prostora ter časa, točnosti in natančnosti obdelave, ki jih omogočajo sodobni večosni obdelovalni stroji. Podobno je pri uporabi robotov za varjenje, barvanje, kjer je pomembno poleg kakovosti predvsem varovanje človekovega zdravja. Pri sestavljanju pa robotizacija zagotavlja čase izdelave in ustrezno kakovost, ki jih človek z ročnim delom ne more več doseči (Perme, 2006).

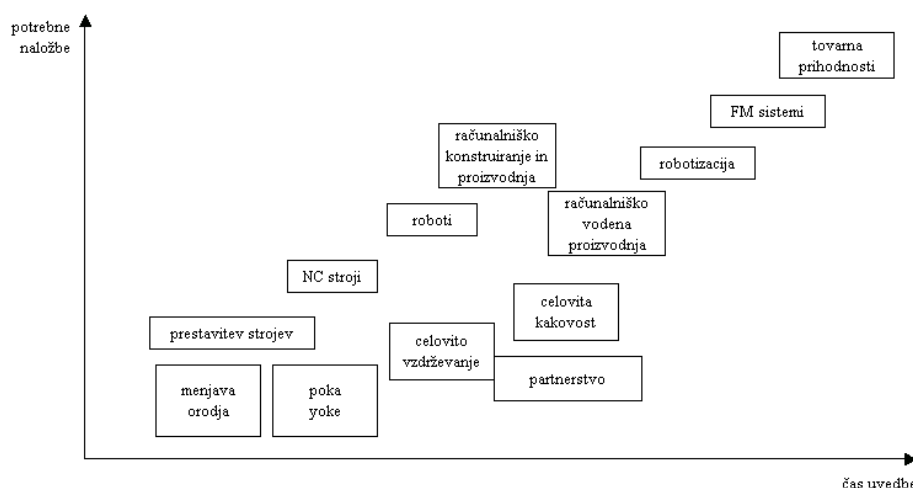
Avtomatizacija lahko poteka na celotnem ali pa samo na delu proizvodnje. Načeloma velja, da bolj kot so izdelki zahtevni, večja je stopnja avtomatizacije.

7.2 NAČINI AVTOMATIZACIJE IN ROBOTIZACIJE PROIZVODNJE IN UPORABA NAPRAV V RAZLIČNI IZVEDBI

Inovacijski proces lahko delimo na tri faze (Bizjak, 1997):

- **izboljšave** (npr. prestavitve delovnih mest, opustitev operacij, hitra menjava orodij, racionalizacija gibov idr.),
- **racionalizacije** (npr. podajalne naprave, racionalizacije procesov, celostno vzdrževanje, celovita kakovost, cenena avtomatizacija, metode optimiranja idr.),
- **nove tehnologije** (npr. NC stroji, robotizacija, FMS sistemi, tovarna prihodnosti).

Faze inovacij je potrebno izvajati v navedenem zaporedju, saj na ta način zagotovimo smotrno vlaganje (slika 74, str. 73).



Slika 74. Naložbe in čas za različne ukrepe
Vir: Bizjak, 1997, 26

Pred modernizacijo moramo obvladati procese (Beranger, 1989). Avtomatizacija ene operacije ne spremeni osnovne narave dela. Npr. vplivi obdelovanca na rezilo in obratno ostanejo nespremenjeni ne glede na to, ali izvajamo obdelavo na klasičnem stroju ali pa na avtomatskem obdelovalnem centru. Vse parametre, ki vplivajo na obdelavo, je potrebno opredeliti in upoštevati pri avtomatizaciji.



Če se je zlomilo orodje, je operater ustavil delovanje klasičnega stroja in ga zamenjal. Če hočemo ta postopek avtomatizirati, moramo vnaprej določiti obrabo orodja in ustaviti obdelavo, preden pride do zloma orodja.

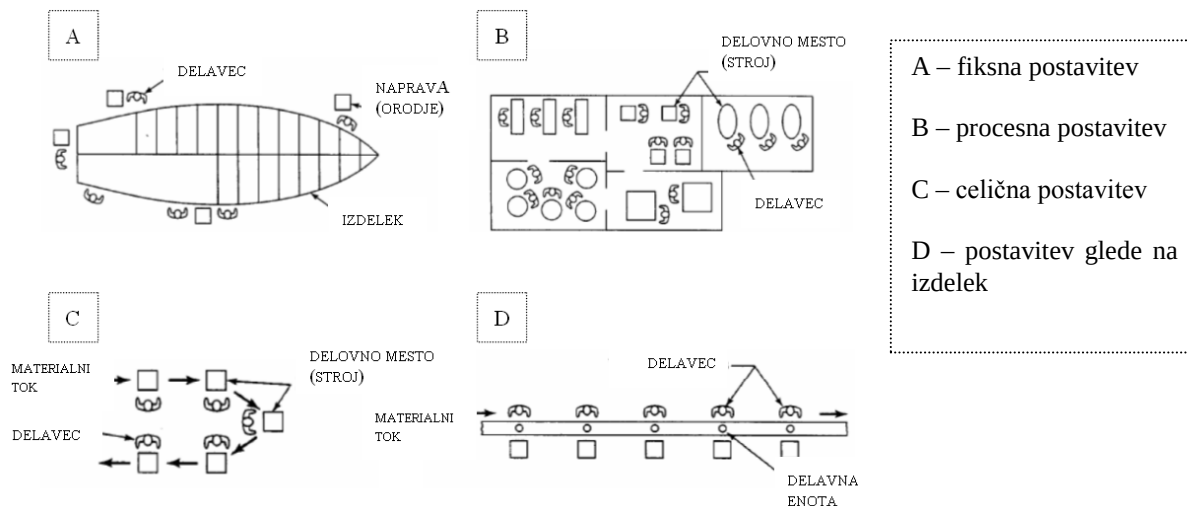
Kadar obvladujemo kakovost, zanesljivost in ostale parametre, ki vplivajo na delovanje tradicionalnega stroja, lahko stroj pustimo delovati določen čas brez izvajalca (**prva stopnja**). Nato je potrebno vgraditi tipala, ki merijo odstopanja, in zaznavajo nepravilnosti. Zaznavala morajo avtomatsko zaustaviti stroj, kadar pride do naključnega dogodka. Stroj se lahko opremi tudi s preprosto napravo za dodajanje in odvzemanje obdelovancev. Za to ne potrebujemo robotov, saj zadostuje preprost mehanični podajalec. Operater ali izvajalec lahko v takem primeru pride do stroja, doda obdelovance in nato opravlja drugo delo (**druga stopnja**). V primeru modernizacije z visoko tehnologijo (robotizacija, FM sistemi idr.) lahko obdelovance avtomatsko preoblikujemo, sestavljamo, prestavljamo, pregledujemo idr. (**tretja stopnja**).

Avtomatizirano proizvodnjo lahko ločimo v štiri osnovne tipe ([http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Industrial%20Automation%20control/pdf/L-01\(SM\)\(IA&C\)%20\(\(EE\)NPTEL\).pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Industrial%20Automation%20control/pdf/L-01(SM)(IA&C)%20((EE)NPTEL).pdf), (26. 1. 2011)):

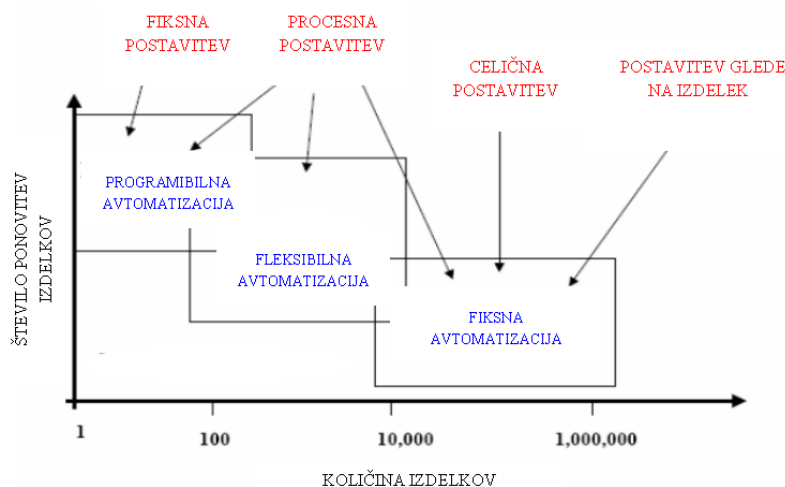
- **fiksna avtomatizacija** se uporablja v procesu, kjer se na mehaniziranih strojih izvaja ponavljajoče operacije in velike količine podobnih ali enakih izdelkov. Značilnost avtomatizacije so vlaganja v namenske naprave z visoko proizvodno zmogljivostjo in relativno nizka fleksibilnost v smislu prilagajanja proizvodnje različnim izdelkom (npr. tekoči trak, prenosne linije idr.). Predvidena doba za proizvodnjo enakih izdelkov je od 2 do 5 let.
- **programska avtomatizacija** se uporablja pri proizvodnji, kjer se spreminjajo zaporedja operacij. Strojna oprema ima vgrajeno elektronsko kontrolo. Avtomatizacija nudi manjše proizvodne zmogljivosti kot fiksna avtomatizacija, vendar omogoča večjo fleksibilnost pri različnih izdelkih in ostalih spremembah. Najbolj primerna je za maloserijsko proizvodnjo, kjer so obdelovanci veliki (primer rezkanja s pomočjo robota).
- **fleksibilna avtomatizacija** se uporablja v fleksibilnih proizvodnih sistemih (**FMS**) s kontinuirano računalniško kontrolo. Operaterji izvajajo izključno ukaze v obliki računalniških kod za identifikacijo produktov in njihovo lokacijo v določenem zaporedju. Vse ostale aktivnosti, kot npr. vodenje strojev, zamenjava orodij, transport idr. so avtomatizirane. Avtomatizacija zahteva visoka vlaganja v namenske inženirske sisteme. Uporablja se večnamenske CNC stroje, avtomatično vodena vozila, robote, avtomatične kontrolne sisteme idr. Omogoča kontinuirano proizvodnjo različnih izdelkov in srednje proizvodne zmogljivosti. Omogoča tudi fleksibilnost pri načrtovanju različnih izdelkov.
- **integrirana avtomatizacija** pomeni celotno avtomatizirano proizvodno tovarno, kjer so vse procesne funkcije pod nadzorom računalnika in so koordinirane preko digitalnih informacijskih procesov. Avtomatizacija vključuje tehnologijo, kot npr. računalniško podprto konstruiranje, računalniško podprto planiranje, CNC stroje, avtomatska skladišča, sistem avtomatskega transporta, računalniško planiranje in produkcijska kontrola idr. (npr. CIM – računalniško integrirana proizvodnja). CIM se običajno uvaža

v proizvodnji z visoko razvitimi in dragimi izdelki, ki se jih proizvaja v velikih količinah. Izdelki imajo običajno veliko podsestavov, ki so kompleksni za montažo.

Fizična velikost, količina in različnost izdelkov vpliva tudi na koncept postavitve proizvodnje (slika 75, str. 75). Izbira posamezne avtomatizacije je med drugim odvisna od velikosti serije, ki jo proizvodimo, in razdrobljenosti proizvodnega programa (slika 76, str. 75).



Slika 75: Koncepti postavitve proizvodnje
Vir: Majcen et al., 2006, 8



Slika 76. Avtomatizacija in koncepti postavitve proizvodnje v odvisnosti od količin izdelkov in števila ponovitev izdelave izdelka iste vrste

Vir: [http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Industrial%20Automation%20control/pdf/L-01\(SM\)\(IA&C\)%20\(\(EE\)NPTEL\).pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Industrial%20Automation%20control/pdf/L-01(SM)(IA&C)%20((EE)NPTEL).pdf), (26. 1. 2011)

Fiksna postavitvev (*Fixed Position Layout*) je značilna za proizvodnjo, kjer se delavci in naprave gibljejo okrog končnega izdelka. Pri **procesni postavitvi** (*Process Layout*) so skupne operacije ali procesi združeni v eno enoto. Pri **celični postavitvi** (*Cellular Layout*) se stroje razmesti po načelu linijske proizvodnje. Vsaka posamezna delovna celica pa je specializirana v svojem delu na določenem delovnem procesu. Pri **postavitvi proizvodnje glede na izdelek**

(Product Layout) pa se delovna mesta in delavci postavijo specifično glede na izdelek, ki ga proizvajamo.

7.3 SESTAVNI DELI NAPRAV ZA AVTOMATIZACIJO IN ROBOTIZACIJO

Glavne sestavine za avtomatizacijo proizvodnje so pogoni, zaznavala, krmilniki, manipulatorji in roboti. Osnovni gradniki oziroma sestavine značilnega avtomatiziranega proizvodnega sistema ali linije za sestavljanje pa so delovna postaja, transportni sistem, vrtljiva miza, manipulator, robot in zalogovnik. Tu gre večinoma za avtomatizirane procese in naprave, pa tudi za delovna mesta in procese, kjer se zahteva človeško delo ali poseg operaterja (Perme, 2009).

Več o sestavnih delih za avtomatizacijo je dostopno na naslovu <http://www.eod.gvsu.edu/~jackh/books/integrated/pdf/integratedbook.pdf> in http://www.irt3000.si/data/clanki/2009/20_AI_sklop.pdf, (26. 1. 2011).

7.4 UPORABA RAZLIČNIH SISTEMOV ZA AVTOMATIZACIJO IN APLIKACIJO V POSAMEZNEM PRIMERU



Avstrija letno poseka cca. 20 milijonov m³ lesa, ki ga enakomerno dobavljajo na žagarske obrate. Vstopno merjenje hlodov se izvaja za potrebe prevzema in sortiranja hlodovine po debelinskih razredih. Vso hlodovino se olupí in se ji reducira koreničnike. Polovico žaganega lesa proizvedejo na iverilnih linijah, drugo polovico pa na visoko mehaniziranih polnojarmeniških linijah. Produktivnost na prvih je 8.000 m³ letno razžagane hlodovine na zaposlenega, pri polnojarmenikih pa 2.000 m³ hlodovine na zaposlenega.

Visoka stopnja avtomatizacije zahteva od upravljalca strojev kontrolo ustreznega načina žaganja hloda in normalni tek strojev, medtem ko usmerjanje hlodov v stroj, njihovo centriranje in določanje podajalne hitrosti poteka avtomatsko. Zaradi velikih količin žaganega lesa poteka v proizvodnji sortiranje centralnih in stranskih desk ločeno. Kvaliteto izdelkov določi človek, sortiranje, zlaganje in uvajanje žaganega lesa v bokse pa je avtomatizirano (črtne kode in čitalci).

Pri dragi avtomatizaciji je potrebno dosežati visoko produktivnost.



Dva študenta sta dobila za nalogo zasnovati pripomoček za pomivanje krožnikov (Beranger, 1989). Prvi študent je zasnoval robota, ki je bil sposoben pomivati vrsto različnih krožnikov. Robot je imel dve roki, s katerima je prijel krožnik enega za drugim in ga vizualno nadzoroval, da bi odkril umazanijo. Nato je vzel ščetko in s pomočjo pralnega sredstva umil krožnik ter nato naslednjega.

Drugi študent je zasnoval stroj, ki ni posnemal delovnega procesa človeka. V stroj se je lahko naenkrat zložilo tudi petdeset krožnikov. Namesto, da bi pomival s ščetko, pa jih je čistil z vodnim curkom. Pomivalni stroj je bil bistveno cenejši od robota.

Uporabljanje robota zato, da bi posnemali delavca, je neracionalno. Zato je pri izbiri avtomatizacije in robotizacije ekonomično upoštevati razdelitev nalog, ki najbolj ustrezajo posebnostim vsakega. Npr. robot, ki zahteva urejenost, se uporablja pri:

- ponavljajočih delih,
- pri vedno enakem zaporedju operacij,
- pri operacijah, ki zahtevajo veliko natančnost,

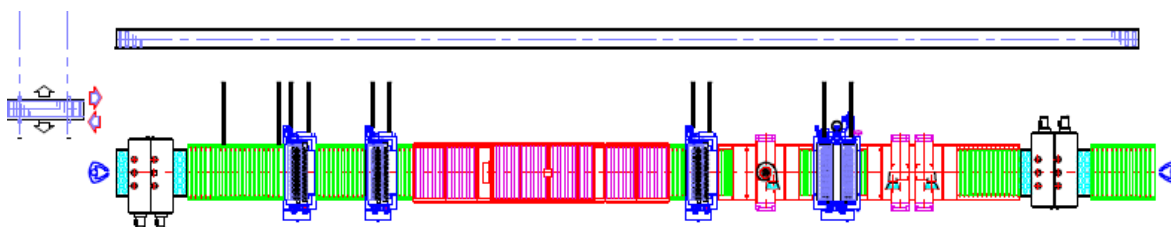
- *pri delu, ki je mučno ali nevarno za človeka.*

Človek je še vedno nenadomestljiv:

- pri presojanju,
- pri delu, kjer so potrebne odločitve zaradi nepredvidenih dogodkov,
- pri delu, kjer je potrebna velika prožnost in pri katerem so operacije težko predvidljive,
- pri delu, kjer so določeni prijemi delov preprosti za človeka in zelo dragi za robota,
- pri popravih okvar in napak idr.



Podjetje je želelo avtomatizirati površinsko obdelavo lesa. Ponudnik strojne opreme je pripravil linijo (slika 77, str. 77), ki jo poslužujeta dva operaterja in omogoča brušenje površin pred površinsko obdelavo, valjčni nanos lužila, hitro sušenje (toplozračni kanal), valjčni nanos temelja, hitro sušenje temelja (polimerizacijski UV sušilnik), kitanje, hitro sušenje (polimerizacijski UV sušilnik) in brušenje površine pred končnim nanosom



Slika 77: Linija za površinsko obdelavo plošč

Vir: Lasten

Vrednost naprav in dodatne opreme brez strojev za brušenje je bila ocenjena na 320.000 €. Za nastavitev linije bi potrebovali cca. 30 min. V eni izmeni bi lahko obdelali cca. 4.000 m² površine. Zaradi nefleksibilnosti (povprečna serija je bila 25 kosov) in slabe izkoriščenosti (cca. 5 % instalirane kapacitete) ter porabe energije, se podjetje ni odločilo za investicijo. Za površinsko obdelavo so postavili kabine za brizganje z ročnimi pištolami.

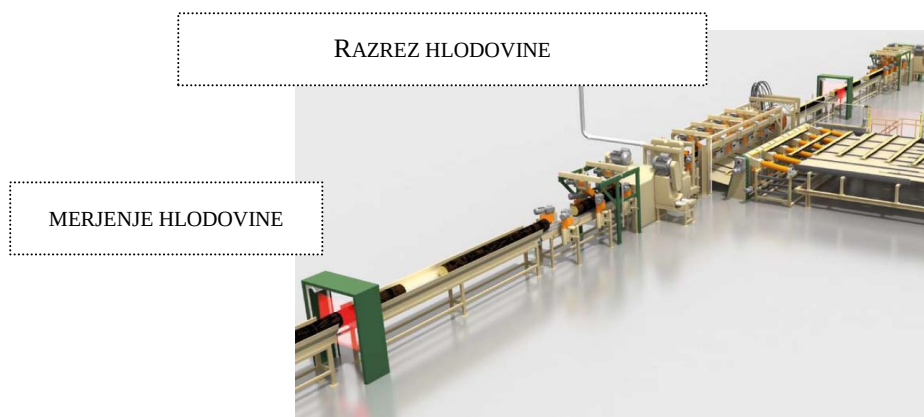


 Kako bi lahko avtomatizirali izbrano postavitev (teža obdelovancev, poraba materiala idr.)?

7.5 UPORABA AVTOMATIZACIJE IN ROBOTOV V LESARSTVU

Tako pri transportu kot pri obdelavi se uporablja veliko naprav, ki pomagajo pri delu kot npr. dvigala, viličarji, transportne in hidravlične naprave, obračalniki, zlagalniki, podajalne naprave idr. S ciljem zagotoviti čim boljše izkoristke materiala in čim krajše čase obdelave ter transporta, se uporablja različne metode avtomatizacije kot npr.:

- **optimizacija razreza lesa** (vrednostni, materialni ali časovni izkoristek)
Merjenje debeline, dolžine, ukrivljenosti in oblike debel v prehodu skozi senzorje ali laserske merilne naprave. Glede na dimenzije izhodnih proizvodov (npr. žagan les) in karakteristike vhodnega materiala se s programom določi najbolj ekonomičen način krojenja (slika 78, str. 78). Merjenje hlodovine se uporablja tudi za potrebe avtomatizacije procesa sortiranja in zlaganja hlodovine v skladišču.



Slika 78: Optimizacija razreza hlodovine na podlagi 3D slike

Vir:

http://www.google.gr/search?hl=sl&rlz=1T4RNWN_slSI321SI321&q=SICK%20sensor%20wood&spell=1&sa=X, (25. 1. 2011)

- **avtomatizirano čeljenje in krojenje lesa**

Laserske kamere, skeniranje z LED osvetlitvijo idr. omogoča sistemom za avtomatsko čeljenje in krojenje lesa izločanje napak (slika 79 A, str. 78), kot so grče, razpoke, smolni kanali, barvne napake idr. Podobne kamere se uporablja tudi pri avtomatizaciji krojenja furnirja (slika 79 B, str. 78).



Slika 79: Skeniranje letev (A) in furnirja (B) pred krojenjem

Vir:

http://www.google.gr/search?hl=sl&rlz=1T4RNWN_slSI321SI321&q=SICK%20sensor%20wood&spell=1&sa=X, (25. 1. 2011)

- **centriranje obdelovancev**

Preden hlodovino razžagamo, luščimo ali pred bočnim rezkanjem hlodovine, je potrebno obdelovanec vpeti v center z namenom, pridobiti čim višje materialne izkoristke.

- **avtomatizirano robljenje žaganega lesa**

Z merjenjem dolžin in širin žaganega lesa oziroma lisičavosti (sled površine hloda na robu) se optimizira robljenje v letve.

- **avtomatizacija vlaganja, razlaganja, transporta in sortiranja obdelovancev**

Razbremenitev operaterja in povečanje produktivnosti se doseže tudi z avtomatiziranim:

- dvigovanjem in spuščanjem obdelovancev (npr. dvižne mize),
- posluževanjem strojev (npr. naprave za dodajanje pred strojem in podajalne ročice za postavitev obdelovancev na delovno mizo),
- transportom obdelovancev od operacije do operacije (npr. transportni trak med strojem za obrez plošč in robnim furniranjem plošč),

- obračanjem obdelovancev (npr. pred zlaganjem vezanih plošč v paleto je potrebno pregledati kvaliteto površine plošče iz obeh strani),
 - pakiranjem obdelovancev in računalniško vodenim transportom in skladiščenjem polizdelkov ter izdelkov (npr. sestava kartonov, avtomatizirano skladišče za končne izdelke idr.),
- **površinska obdelave z robotom**
 Za najhitrejša brizganja se uporablja pri lakiranju stolov večosne robote. Hitrosti lakiranja znašajo do 2 m/s. Največkrat se za nanos premaza uporablja elektrostatsko brizganje, redkeje pa tudi kombinirano brezračno zračno brizganje. Ostali načini brizganja se zaradi manjšega izkoristka nanosa skoraj ne uporabljajo. Sprva so bili lakirni roboti razviti za velike serije, sedaj pa se vse več uporabljajo tudi za manjše. Uporabnost pri manjših serijah omogoča sistem, ki izdelke poskenira in glede na njihovo obliko izbere najprimernejši program. Programiranje robotov je možno prek programov ali pa z vodenjem robotske roke (Frumen, 2007).

Avtomatizacija je možna tudi pri merjenju/kontroli izdelkov (npr. kontrola širine obdelovanca po razrezu) in omogoča večjo varnost pri delu (npr. operater v času obdelave ne sme posegati v nevarno območje podajalne naprave, ki poslužuje iverno ploščo v stroj za razrez plošč) idr. Več o avtomatizaciji je dostopno na naslovu <http://www.abb.com/product/seitp327/83958875abdc94efc12574c2004c32ba.aspx>, (26. 1. 2011).



POVZETEK

Avtomatizacija in robotizacija vplivata na skrajševanje časa izdelave, večanje zmogljivosti in posledično zniževanje proizvodnih stroškov, hitrejše vračanje investicije ter večjo varnost pri delu.

Faze avtomatizacije je potrebno izvajati v določenem zaporedju, saj na ta način zagotovimo smotrno vlaganje.

Izbira posamezne avtomatizacije je odvisna tudi od velikosti serije, ki jo proizvajamo, in razdrobljenosti proizvodnega programa. Fizična velikost, količina in različnost izdelkov vpliva tudi na koncept postavitve proizvodnje.

Proces uvajanja avtomatizacije višje tehnološke stopnje običajno poteka tako, da se izdela predštudija, kjer se ugotovi potrebe in zahteve proizvodnega procesa. S podrobnejšim projektom se oceni tudi predvideno ekonomičnost. Po izbiri najprimernejšega dobavitelja in odločitvi za investicijo se izvedejo še dopolnilne študije in priprave lokacije. Po prevzemu in postavitvi opreme pa je potrebna še faza prilagajanja in zagon.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Oblikujte delovno mesto in izdelajte avtomatizacijo delovnega mesta, kjer je potrebno sestavljen stol (slika 80, str. 80) površinsko obdelati (luženje, temelj, končni lak). Pri

obdelavi se uporablja poliuretanske lake, ki se nanašajo z brizganjem. Časi sušenja po nanosu lužila so 3 h, čas sušenja temeljnega nanosa pa je 24 h. V povprečju obdelujemo 200 stolov/serijo. Na delovnem mestu se obdeluje tudi druge izdelke, ki po obliki in konstrukciji bistveno ne odstopajo od predstavnika.



Slika 80: Stol dimenzije 470 mm x 530 mm x 940 mm
Vir: Novoles .d.d., (26. 1. 2011)

2. Zakaj lahko z avtomatizacijo in robotizacijo proizvodnje dosegamo boljše učinke v primerjavi z ročno proizvodnjo? Podajte primer, kje so učinki modernizacije najbolj evidenci.
3. Pri kateri proizvodnji je smiselno uvesti CIM in zakaj?
4. Kakšno vrsto avtomatizacije predlagate za proizvodnjo jaht, počitniških prikolic, stolov, puškinih kopit?

8 REZANJE Z VODO



Ali lahko obdelujemo les z vodnim rezom?

V nekaterih primerih je rezanje z vodo praktično zaradi doseganja zahtevnih oblik in velike natančnosti pri rezanju. Kljub temu pa se rezanje z vodo v praksi uporablja zelo malo, ker obstajajo druge enostavnejše oblike rezanja lesa, ki so tudi cenovno sprejemljive (http://www.waterjets.org/index.php?option=com_content&task=view&id=112&Itemid=31, 26. 1. 2011).

Pri projektu izdelave lesene kitare (slika 81, str. 81) so izdelali načrt (CAD) kitare, ki je bil sestavljen iz treh delov (tanek sloj na vrhu in spodaj ter debelejši sloj v sredini).



Slika 81: Prikaz rezanja masivnega lesa (perujski javor) z vodo

Vir: http://www.waterjets.org/index.php?option=com_content&task=view&id=112&Itemid=31, (26.01.2011)

Pri projektu so ugotovili:

- les se odrezuje enostavno in hitro;
- les se zmoči, kar povzroča nabrekanje in deformacijo (pri obdelavi so obdelovanec dvignili nad vodo na mizi);
- les je mehak material, zato je bilo potrebno rezanje na mrežasti podlagi, da ni prišlo do odboja in poškodbe spodnjega dela obdelovanca.

8.1 KAJ JE VODNO REZANJE?

Vodni razrez je hladen način rezanja materiala z erozijo oziroma razkrajanjem materiala na zelo majhni površini, za kar odpadejo vsi negativni vplivi, ki jih povzroča toplota pri rezanju.

Odrezujemo lahko s sistemom čistega vodnega razreza (ČVR) ali z abrazivnim rezom (AVR).

Abraziv dodajamo vodi, da povečamo učinkovitost curka (tabela 8, str. 82). Abrazivne peske delimo na okside (korundi kot npr. aluminijev oksid, kremenčev pesek oziroma silicijev oksid) ter na silikate (granat, olivin in cirkonijev silikat). Najpogosteje uporabljen abraziv je granat, ki je trd, težek in tudi ekonomsko najbolj sprejemljiv. Druga abrazivna sredstva, ki se uporabljajo z vodnim curkom, so še zdrobljena žlindra in lomljena stekla oziroma stekleni biseri, ki se uporabljajo predvsem za odstranjevanje prevlek. V medicinski industriji se uporabljajo abrazivi, kot so disaharidi, sladkorji, alkoholi, aminokisline in soli za rezanje.

Uporaba abraziva je povezana s stroški obdelave, saj lahko le-te poveča do 30 %, zato pri mehkejših materialih dotok abraziva smiselno zmanjšamo. Glede na učinkovitost in ekonomsko upravičenost je smiselna poraba abraziva do 24 kg/h. Dobra lastnost je, da je možno že uporabljen abraziv reciklirati in ga ponovno uporabiti

S čistim vodnim rezom se režejo elastomeri, termoplasti, guma, vlaknasti materiali, tkanine, usnje, kamena volna, stiropor, mavčne plošče, različna hrana, zamrznjeno meso, lepenka, karton, poliuretanske in druge pene, tapisoni itd.

Z abrezivnim rezom se režejo trde in kompaktne snovi, kot so kovine, kamen, steklo ali keramika in drugi trdi materiali.

Tabela 8: Primeri hitrosti rezanja [m/min] v odvisnosti od vrste in debeline materiala, ki ga obdelujemo (AVR – abrazivno vodno rezanje; ČVR – čisto vodno rezanje)

snov	način	debelina snovi [mm]				
		1,5	5	10	20	30
Al / AlMg ₃ / F28	AVR	0,500	0,350	0,130	0,090	0,040
baker elektrolitski	AVR	0,500	-	-	-	0,040
granit	AVR	-	-	0,500	0,300	0,150
guma	ČVR	25.000	17.000	10.000	2.000	-
guma z jeklenimi vložki	AVR	-	-	0,300		
jeklo St37	AVR	0,600	0,200	0,130	0,050	0,040
jeklo - legirano	AVR	0,400	0,170	0,100	0,050	0,030
jeklo - nerjavno	AVR	0,500	0,150	0,100	0,050	0,030
les - smreka	AVR			0,500	0,350	
lesonit z folijo	ČVR	1.500	0,400			
vezana plošča bukev	AVR			0,500		
marmor	AVR		0,750	0,630	0,200	
medenina	AVR	0,550	0,240	0,100	0,070	0,040
plastika	AVR		1.000	0,300		
PVC trdi	AVR	1.000	0,700	0,550	0,450	
PE trdi	AVR		1.000			
razne pene	ČVR		30.000	25.000	20.000	15.000
tapisoni	ČVR		20.000			
steklo	AVR		0,450	0,200	0,100	0,090

Vir: <http://www.inotech.si/slovene/inojet.htm>, (26. 1. 2011)

Hitrost rezanja je lahko do 50 m/min, odvisno od vrste in debeline materiala, ki ga režemo.

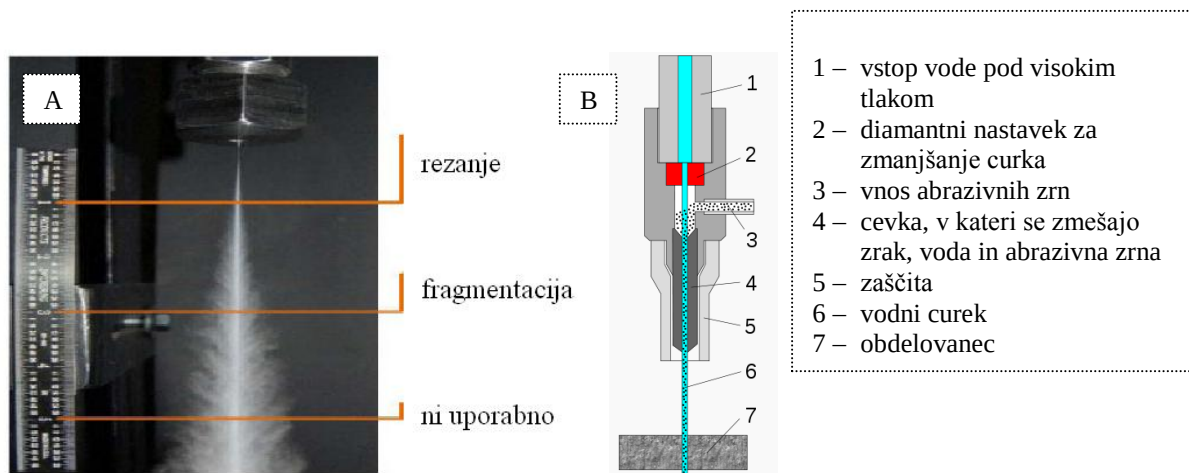
8.1.1 Osnove delovanja

Rezanje z abrezivnim vodnim curkom je postopek, pri katerem delci abreziva v vodnem curku z veliko hitrostjo zapuščajo rezalno šobo in zadevajo v obdelovanec (slika 82, str. 83), (Jan et al., 2001). Abraziva imajo določeno hitrost in trdoto, zaradi česar naredijo na materialu razpoke, v katere prodira voda, ki odnaša material delček za delčkom.

Ko se debelina curka zmanjša (šobe iz umetnega safirja, ki ima nalogo, da premer curka zmanjša s 3 mm na 0,5 mm), se mu izredno poveča hitrost (5.500 km/h). Curek s takšno hitrostjo potuje po šobi (cca. 10 cm). Na tej poti se zmešajo med sabo voda, zrak in abrazivna zrna (10 % vode in 90 % zraka), kot je prikazano na sliki 82 B (str. 83).

V trenutku, ko vstopi vodni curek v zračno atmosfero, se razprši (slika 82 A, str. 83). Delimo ga na izstopno območje, kjer ima trdno jedro, ki je primerno za rezanje. Drugo območje se imenuje prehodno, kjer nastaja vodna meglica. To področje vodnega curka je namenjeno za

fragmentacijo. Ko vodni curek preseže robno območje, preide njegova oblika v kapljični tok, zgubi moč in ni več uporaben v proizvodnji.

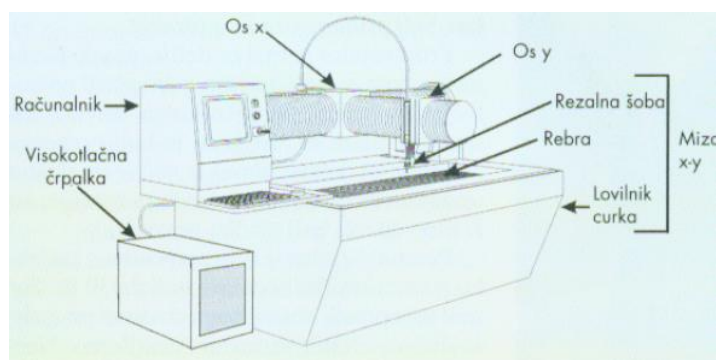


Slika 82: Prikaz uporabnosti vodnega curka (A) in prikaz rezalne šobe (B)

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Water_jet_cutter, (26. 1. 2011)

Naprava za obdelavo z abrazivnim vodnim curkom je sestavljena iz visokotlačnega dela, ki vsebuje visokotlačno črpalko in tlačno posodo. Sestavni deli črpalke so elektromotor, vodni rezervoar, polnilne črpalke, filtri in hladilni sistem. Stroj je priključen kar na navadno vodovodno napeljavo (poraba cca. 5 l/min), od koder je voda speljana skozi filtre, kjer se očisti in pošlje v vodni rezervoar v črpalke.

Stroj za obdelavo z vodnim curkom (slika 83, str. 83), pa naj bo z ali brez abraziva, je računalniško numerično voden. Ostali sestavni deli naprave so še podajalna miza, na kateri so rebra ali mreža, na katero postavimo obdelovanec. Pod rebri se nahaja lovilec curka oziroma vodni bazen, kamor odteka in se zbira voda.



Slika 83: Shema stroja za rezanje z abrazivnim vodnim curkom

Vir: Jan et al., 2001, 27

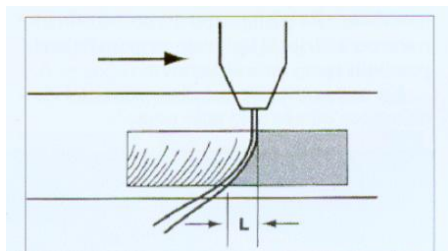
Predstavitve rezanja z vodnim curkom so na naslovu <http://www.xrez.si/index.php?viewPage=111>, (26. 1. 2011)

8.1.2 Prednosti in slabosti vodnega rezanja

Prednosti vodnega reza so bolj gladek ter tanjši rez (manj odpada) v primerjavi z ostalimi načini rezanja, hiter prenos od risanja do rezanja, velika natančnost skupaj z veliko hitrostjo rezanja, varnejši delovni proces, velika prilagodljivost skozi CAD programsko opremo, natančnost in oblikovanje skoraj vsake še tako zapletene oblike ter zmožnost rezanja skoraj vseh materialov z ogromnim razponom debeline.

Vodni razrez ne potrebuje orodja in vpenjalnih naprav, je hladno rezanje, zato odpadejo vsi stranski učinki, ki spreminjajo strukturo in obliko materiala. Izdelki so brez deformacij, brez zažganih robov in brez mikro razpok. Vodni curek zaradi razkrojnega učinka pritiska na material le z majhno silo (ca. 20 N do 140 N), zato je zelo primeren za rezanje na pritisk občutljivih materialov. Pri rezanju umetnih mas se ne pojavlja smrad in strupeni plini. Tehnologija rezanja je okolju prijazna. Vpenjalne naprave niso potrebne (<http://www.inoteh.si/slovene/inojet.htm>, 26. 1. 2011).

Slabost rezanje je, da se pri rezanju pojavljajo pare in voda, ki navlažijo izdelek. Pri veliki hitrosti rezanja in debelih materialih se poveča hrapavost rezane površine. Največja slabost je brazdavost. Na rezalni ploskvi, se zaradi izgube energije curka z globino reza pojavljajo brazde (slika 84, str. 84).



Slika 84: Odklon curka z globino rezanja
Vir: Jan et al., 2001, 30

8.2 UPORABA VODNEGA REZANJA

Tehnologija obdelave z vodnim curkom se uporablja v različne namene. Eden takih postopkov, kjer se je uporaba vodnega curka uveljavila najprej, je čiščenje. Uporablja se tudi za fragmentacijo, kjer lahko s pomočjo vodnega curka odstranimo beton, brez da bi poškodovali armaturo, z njim lahko odstranjujemo premaze (prevleke in barve), recimo odstranjevanje cestnih oznak. Izrezujejo se lahko najzahtevnejši dvodimenzionalni liki. V zadnjih letih se uveljavlja tudi rezanje 3D oblik. Aplikacije vodnega curka se izvajajo tudi za preoblikovanje površin. V zadnjem času se veliko pojavljajo na področju medicine, kjer se režejo različna tkiva in kosti (za abraziv se uporablja sladkor ali sol, ki se po uporabi raztopi). Na področju medicine ima vodni curek veliko prednosti, saj povzroča minimalne krvavitve, dela lep in natančen rez, med delom nudi preglednost zaradi istočasnega izpiranja nastalih tekočin. Vodni curek služi kot podpora konvencionalnim tehnikam v rudarstvu, kamnoseštvu in obdelavi kovin.

Vodno rezanje se uporablja tudi pri **rezanju lesa**. Reže se lahko vse vrste lesa in kompozitov. Abrazivni delci tudi brusijo površino, zaradi česar dobimo zelo kvalitetno površino. Težava pri obdelavi je nabrekanje lesa oziroma pri razrezu laminatov penetracija vode med lepilne sloje, kar povzroča razslojevanje.



POVZETEK

Rezanje z abrazivnim vodnim curkom je postopek, pri katerem delci abraziva v vodnem curku z veliko hitrostjo zapuščajo rezalno šobo in zadevajo v obdelovanec (Jan, Lebar, Junkar, 2001). Abraziva imajo določeno hitrost in trdoto, zaradi česar naredijo na materialu razpoke, v katere prodira voda, ki odnaša material delček za delčkom.

Glavna prednost procesa rezanja z vodo je mrzel rez, kar ima za posledico majhen učinek na material in površino rezanja, bolj gladek ter tanjši rez (manj odpada) v primerjavi z ostalimi načini rezanja, hiter prenos od risanja do rezanja, velika natančnost skupaj z veliko hitrostjo rezanja, varnejši delovni proces idr.

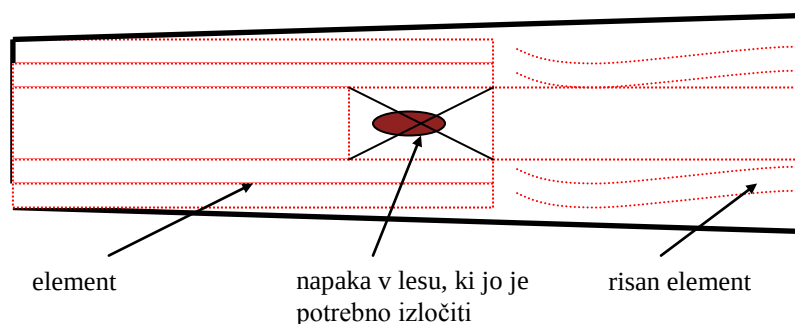
Les je higroskopen material. Čas oziroma uravnovešanje je v glavnem funkcija higroskopnosti in difuzijskega upora. Na splošno je stabilnost lesa tem večja, čim počasneje les sprejema ali oddaja vlago. Razlike med lesovi se pripisuje gostoti in razlikam med beljavo in jedrovino. Na difuzivnost lesnega tkiva pa vpliva še temperatura, vlažnost materiala, usmerjenost vlaken in smeri toka (povzeto po Gorišek, 1994). Slabost rezanja z vodo je, da se pri rezanju pojavljajo pare in voda, ki navlažijo izdelek. Pri veliki hitrosti rezanja in debelih materialih se poveča hrapavost rezane površine. Največja slabost je brazdavost. Na rezalni ploskvi se zaradi izgube energije curka z globino reza pojavljajo brazde.

Z vodnim rezanjem lahko režemo vse vrste lesa in kompozitov. Abrazivni delci tudi brusijo površino, zaradi česar je ta zelo kvalitetna. Težava pri obdelavi je nabrekanje lesa oziroma pri razrezu laminatov penetracija vode med lepilne sloje, kar povzroča razslojevanje.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Kakšna je vlažnost lesa pri rezanju s konvencionalnimi načini rezanja?
2. Razmislite in predlagajte, kakšne pogoje bi morali zagotoviti pri vodnem rezanju, da obdelovanec (npr. les ali vezana plošča) ne bi nabrekli oziroma se razslojil.
3. Značilni problem pri vodnem rezanju je:
 - a) kopičenje prahu,
 - b) nizka hitrost obdelave,
 - c) groba obdelava površine,
 - d) hrup pri obdelavi.
4. Kritično osvetlite (odsosavanje, orodje, poraba energije, logistika idr.) primer razreza žaganega lesa z vodnim rezom (slika 85, str. 85). Primerjajte klasičen razrez žaganega lesa, ki je predstavljen v poglavju 10.4.



Za povečanje pretočnosti se uporablja dve glavi, ki sočasno režeta element.

Površina žaganega lesa se posname in določi se optimalni izkoristek glede na določeno krojno listo in posnete parametre.

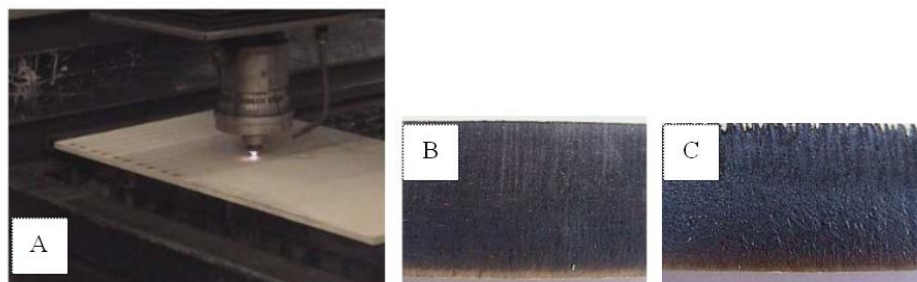
Slika 85: Razrez žaganega lesa (krojni načrt)

Vir: Lasten

9 UPORABA LASERJEV V LESARSTVU ZA OZNAČEVANJE, GRAVIRANJE IN REZANJE



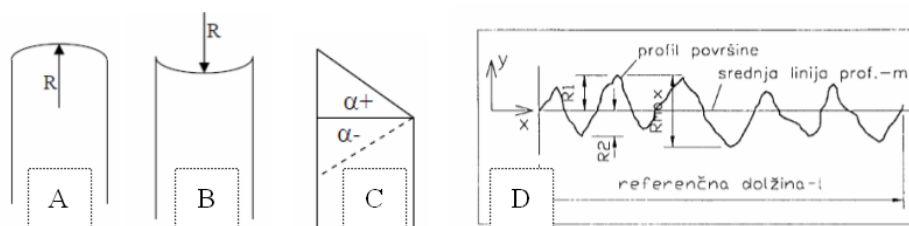
V preizkusu rezanja srednje goste vlaknene plošče (650 kg/m^3), ki je bila zlepljena z urea-formaldehidnim lepilom, so s plinskim laserjem (CO_2) izvedli testiranje laserskega reza pri ploščah debeline 6 mm, 10 mm in 16 mm (povzeto po Maček, 2006). Rezanje (slika 86 A, str. 86) je bilo izvedeno z različnimi laserskimi parametri. Rezalno hitrost so spreminjali od 1.500 mm/min do 6.500 mm/min. Uporabljali so dva pomožna laserska plina, in sicer dušik in zrak pod tlakom 4,2 barov in 9,6 barov. Položaj fokusa žarka so spreminjali tako, da so lasersko glavo približevali oziroma oddaljevali od obdelovancev (2 mm in 5 mm). Pri vseh rezih so uporabili moč laserja 2000 W in frekvenco 1500 Hz.



Slika 86: Izvedba laserskega rezanja na vlakneni plošči (A) in prikaz nastalih površin pri debelini plošče 16 mm po laserskem rezu (B – hitrost pomika laserske glave 2.000 mm/min in pomožni plin dušik; C – hitrost pomika laserske glave 5.000 mm/min in pomožni plin kisik)

Vir: Maček, 2006, 23 in priloga

Ugotovljeno je bilo, da brez nadaljnje obdelave rezanih površin (minimalno brušenje) plošče niso uporabne zaradi hrapavosti, zогlenelosti, ukrivljenosti (slika 87 A in slika 87 B, str. 86) in poševnosti rezalnih površin. Z uporabo dušika (slika 86 B, str. 86) se je zmanjšala stopnja ožganosti površine reza. Z naraščajočo hitrostjo rezanja se je radij ukrivljenosti (konkavno) zmanjševal. Z naraščanjem hitrosti rezanja in debeline plošče narašča tudi hrapavost površine (slika 87 D, str. 86). Poševnost površine (slika 87 C, str. 86) reza se je večala z naraščajočo hitrostjo in razdaljo rezanja. Širina laserskega reza je bila na zgornji strani plošče, kjer je laserski žarek vstopil, večja kot na spodnji strani izstopa žarka (moč laserja je večja na vstopni kot na izstopni strani oziroma se laserski žarek med prodiranjem odkloni). Z naraščajočo rezalno hitrostjo se je zmanjševala širina reza. Pri plošči debeline 16 mm, pri hitrosti večji od 4.000 mm/min, laserski žarek ni prodril skozi celotno debelino plošče. Pojav zmanjševanja širine reza z dolžino je pri fokusni razdalji 2 mm zanemarljiv.



Slika 87: Lastnosti rezalnih površin (A – konkavna ukrivljenost; B – konveksna ukrivljenost; C – poševnost roba; D – hrapavost profila površine)

Vir: Maček, 2006, 25-27

9.1 KAJ JE LASER?

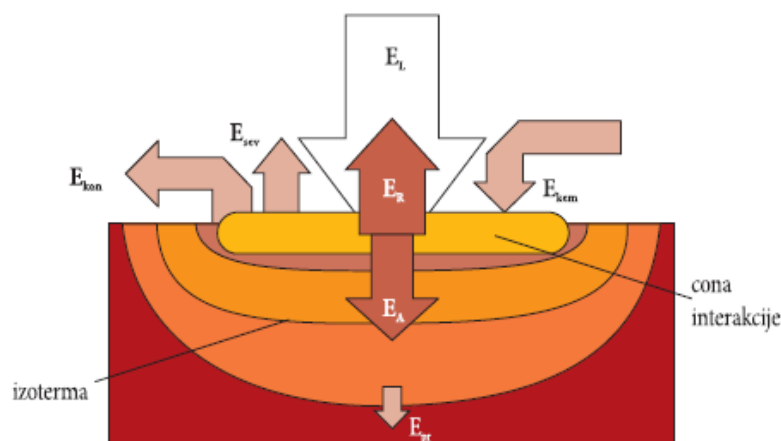
Beseda **LASER** je kratica za **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, kar pomeni ojačitev svetlobe s stimulirano emisijo sevanja. Naprava emitira ozek snop svetlobe natančno določene valovne dolžine med poljubnimi točkami. V svetlobnem snopu je vedno konstantna fazna razlika (koherentna svetloba). Laser je naprava, v kateri nakopičimo energijo, ki se potem v trenutku sprosti v zelo močnem svetlobnem curku (Rozman, 2001).

V letu 1960 je bil izdelan laser na trdno snov (rubinski laser), sledili pa so mu plinski laserji kot npr. CO₂, He-Ne, Ar in drugi (danes največ uporabljamo CO₂- in Nd-YAG-laserje). V proizvodnji se je začela uporaba laserjev šele po kombinaciji laserja z NC krmilnim sistemom (Kramar in Junkar, 2007).

Več o laserju in laserski svetlobi si lahko preberete na: <http://www.kvarkadabra.net/vprasanja/teksti/laser.html>, <http://zvonko.fgg.uni-lj.si/seminarji/laser-uporaba/LASER3.htm>, (31. 1. 2011).

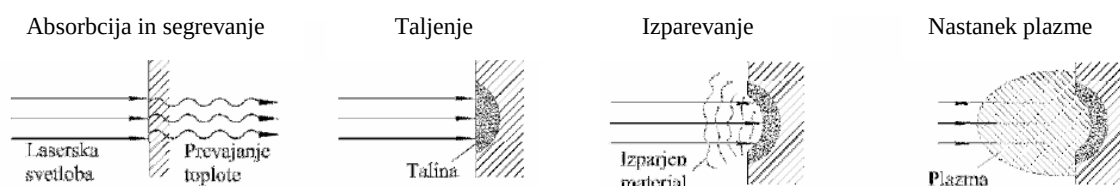
9.2 DELOVANJE LASERJA

Lasersko rezanje je termični postopek. Žarek, ki je izvor sevalne energije E_L , je fokusiran na površino obdelovanca kot je prikazano na sliki 88 (str. 87). S tem dosežemo zadostno površinsko gostoto moči, da se material segreje, stali ali tudi upari. Material, ki ga obdelujemo, del laserske energije v obliki svetlobe absorbira (vibracije v kristalni rešetki) v obliki toplote E_A , del jo odbije E_R , del pa jo lahko tudi prepusti skozi. Pri laserskem rezanju skušamo zagotoviti razmere, pri katerih se material obdelovanca stali (fazne spremembe obdelovanca v coni interakcije zaradi absorbirane energije) in odstrani, preden pride do pomembnega prevajanja toplote E_{pr} v okolico reza. Manjše izgube nastanejo tudi zaradi sevanja E_{sev} in konvekcije E_{kon} (Kramar in Junkar, 2007).



Slika 88: Energetske razmere pri rezanju z laserjem
Vir: Kramar, Junkar, 2007, 52

Interakcija laserske svetlobe z materialom spremljajo različni fizikalni pojavi. V začetku se svetlobna energija laserskega žarka zelo hitro pretvori v toplotno energijo (slika 89, str. 88). Toplota se v nadaljevanju širi v material s prevajanjem (toplotna prevodnost). Ko doseže temperatura površine tališče, se začne meja taline pomikati v notranjost. Ob nadaljevanju obsevanja začne talina izparevati (vrtanje luknje v material). Del sevanja se absorbira v materialu, ki odpari, zaradi česar nastane vroča, neprozorna plazma. Plazma se lahko razširi nazaj proti laserskemu žarku in na ta način absorbira svetlobo in zasenči površino obdelovanca (Ready, 1997).



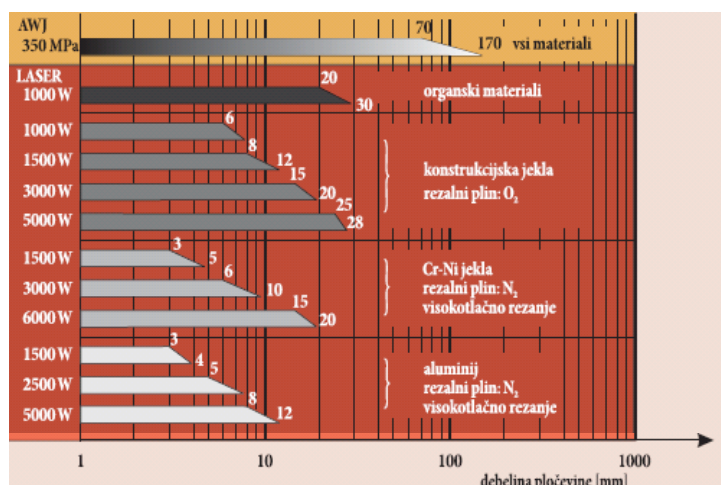
Slika 89: Prikaz fizikalnih procesov, ki spremljajo interakcijo laserske svetlobe s snovjo
Vir: Ready, 1997, 14

Proces rezanja z laserjem vključuje interakcije laserske svetlobe s snovjo in medsebojno gibanje materiala in laserja. Skoraj vsak proces laserskega rezanja spremlja tudi pomožni plin, ki izpihuje staljeni material iz reže, odnaša pare ali pa služi kot oksidant. Osnovni princip rezanja lahko povzamemo (Powel, 1993):

- laserska naprava omogoča visoko energijski infrardeči žarek,
- žarek se s pomočjo leč fokusira v majhno točko na površino obdelovanca,
- fokusiran žarek segreva površino materiala in povzroča lokalizirano taljenje skozi celotno debelino materiala,
- raztaljeni material se izloča s pomočjo pomožnega plina, ki ga dovajamo skozi šobo,
- lokalizirano območje odstranjevanja materiala se pomika po površini (premik laserskega žarka ali premik obdelovanca) in tako dobimo proces rezanja materiala.

9.3 DELOVANJE IN UPORABA POSAMEZNIH TIPOV LASERJA

Laserje ločimo na **pulzne** in **kontinuirane**. Moči kontinuiranih laserjev segajo od manj kot 1 mW do približno 20 kW pri komercialnih ter do več kot 1 MW pri posebnih vojaških laserjih. Pulzni laserji (bliski) lahko za kratek čas dosežejo bistveno večje moči, povprečna moč pa je primerljiva z močmi kontinuiranih laserjev. Pulzni laser, ki ga uporabljajo za proučevanje fuzije, ima npr. moč 10^{14} W, čas trajanja pulza pa je le $3 \cdot 10^{-9}$ s. Laserska snov je lahko trdna, tekoča ali plinasta. Od trdnih je najbolj v uporabi rubinov kristal, od plinskih pa je najbolj znan He-Ne laser (Rozman, 2001). Za npr. brezkontaktno optično merjenje hrapavosti površine se uporabljajo laserski merilniki z močjo 1mW.



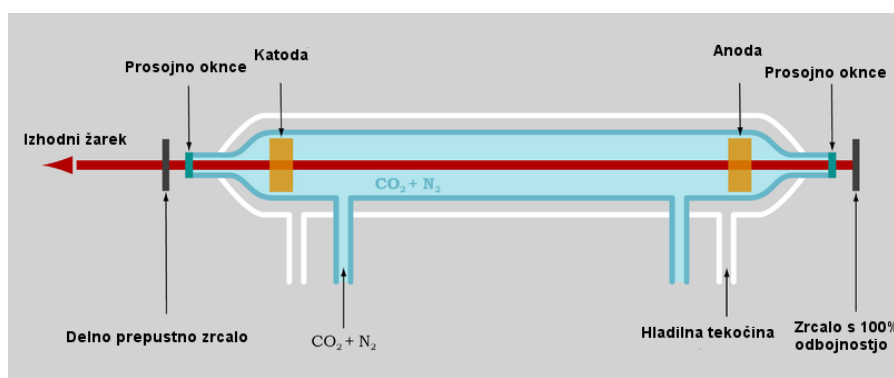
Slika 90. Območje uporabe laserskih postopkov in vodnega abrazivnega curka v odvisnosti od vrste materialov

Vir: Kramar in Junkar, 2007, 55

Na sliki 90 (str. 88) so prikazana uporabna območja določenih rezalnih materialov. Laserski parametri so odvisni od materiala, ki ga režemo. Na drugi strani pa parametri rezanja z npr. abrazivnim vodnim curkom (AWI) ostanejo podobni za širok spekter materialov (Kramar in Junkar, 2007).

V nadaljevanju je opisan plinski CO₂ laser, ki se ga uporablja npr. za rezanje lesa. Uporaba merjenja z laserji je prikazana v poglavju 7.4. Druge vrste in značilnosti laserjev so prikazane na naslovu: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf>, <http://www.micro-epsilon.com/index.html>, (31. 1. 2011).

CO₂ laserji (slika 91, str. 89) delujejo na osnovi izkoriščanja energijskih stanj, ki so značilna za prehode elektronov. Ojačevalno sredstvo v CO₂ laserju je mešanica ogljikovega dioksida, dušika (N₂) in helija (He), ki so jim pri različnih izvedbah dodani vodik (H₂), vodna para (H₂O) ali ksenon (Xe). Črpanje z enosmernim ali izmeničnim tokom vzbuja dušikove molekule v metastabilno vibracijsko stanje, na molekule ogljikovega dioksida pa se energija prenese s trki. Vzbuje molekule ogljikovega dioksida padejo v nižje vzbujeno stanje z oddajanjem fotonov, v osnovno stanje pa se vrnejo po trku s helijevimi atomi. Svetlobno valovanje z valovno dolžino določa postavitev zrcal, uklonski element ali pa etalon, s katerim lahko izberemo posamezen energijski prehod (http://sl.wikipedia.org/wiki/Ogljikov-dioksidni_laser, 31. 1. 2011).



Slika 91: Shematski prikaz CO₂ laserja

Vir: http://sl.wikipedia.org/wiki/Ogljikov-dioksidni_laser, (31. 1. 2011)

CO₂ laser, ki uporablja kot aktivni del medija plinsko mešanico ogljikovega dioksida, dušika in helija, ima visok izkoristek spremembe električne v optično energijo (10 % do 30 %). Npr. večina drugih laserjev ima izkoristek do 3 %. CO₂ laserji lahko delujejo kontinuirano ali impulzno. Izhodne moči pa so lahko od 50 kW do 45 kW (Ready, 1997).

9.4 LASERSKO REZANJE LESA

Materiale, kot so npr. les, papir, širok spekter umetnih mas, kompoziti idr., se z visoko intenzivnostjo laserskega žarka upari (temperature v coni rezanja so običajno od 2.000 °C do 3.000 °C) in odnese pod nizkim pritiskom inertnega plina, kot so dušik ali stisnjen zrak (Kramar in Junkar, 2007). Opisani način rezanja imenujemo lasersko sublimacijsko rezanje. Za tovrstno rezanje se najpogosteje uporablja CO₂ laser. Ready (1997) ugotavlja, da ima večina organskih snovi nizko specifično izparilno toploto, zaradi česar je možno dosegati visoke rezalne hitrosti. Pri rezanju gorljivih snovi zaradi ožiga nastanejo zaobljeni robovi. Za doseganje čim bolj čistega in ne pooglenelega roba je potrebno uporabljati laserski žarek, ki je obdan s curkom inertnega plina. Prednosti laserskega rezanja so:

- 0,2 mm do 2 mm široka reža (manjša izguba materiala),
- možnost rezanja pravokotnih rezov ali rezov poljubnih oblik,

- manjši hrup,
- manj oziroma nič prahu,
- enostavno vodenje procesa rezanja.

Slabosti laserskega rezanja so omejena globina rezanja, ožgana površina reza in izpostavitve lesa visokim temperaturam.

Za lasersko rezanje lesa lahko uporabljamo večje rezalne hitrosti in manjše moči laserjev kot pri rezanju kovine. Zaradi večje prostornine razgradnega materiala, ki nastane pri laserskem rezanju, se pojavljajo težave pri izhodu tega materiala iz reže. Posledično nastane slabša kvaliteta reza. Pri obdelavi organskih snovi se lahko pojavljajo tudi škodljive toksične snovi (Migliore, 1996).

Steen (2003) navaja tudi uporabnost laserjev za graviranje (10 W do 150 W) oziroma vrisovanje podob na površino lesa. Kot slabost navaja ožgano površino na mestu laserskega reza, ki je posledica ostanka ogljika, do katerega pride zaradi kemijskega razpada celuloze v lesu. Meni tudi, da je možno temno plast odstraniti z brušenjem. Pri graviranju s pomočjo laserja odstranjujemo material, pri čemer gravirana površina spreminja obliko in se različno obarva. Na globino rezanja in barvni odtенок ožgane površine vplivamo z nastavitvijo moči laserja in hitrosti pomika.

Laserji se v industriji pohištva najpogosteje uporabljajo za rezanje debelin do 40 mm. Z uporabo laserjev se izdelavni časi skrajšajo za 10 % do 50 %. Zaradi večje homogenosti in manjših notranjih napetosti dosežemo boljšo kvaliteto rezanja in večjo hitrost rezanja pri lesnih tvorivih kot pa pri masivnem lesu. Hitrost rezanja je obratno sorazmerna z gostoto lesa (Powell, 1993).

Pri lesnih kompozitih (vezan les, iverne in vlaknene plošče) vpliva na hitrost rezanja tudi vrsta uporabljenega lepila. Kompozite, ki so zlepljeni z urea-formaldehidnim lepilom lahko režemo tudi s trikrat večjo rezalno hitrostjo kot kompozite, zlepljene s fenol-formaldehidnim lepilom (Chryssolouris, 1991).

Pri rezanju lesa in lesnih tvoriv s CO₂ laserskim sistemom je za rezanje vlažnih elementov potrebna manjša rezalna hitrost. Zrak, ki se nahaja v lesu sam po sebi ne vpliva na rezalno hitrost. Voda pa v primeru, da uporabljamo CO₂ lasersko svetlobo, med procesom zavre in izpari, kar zmanjšuje hitrost rezanja. Pri procesu rezanja nastaja dim, ki povzroča težave pri dihanju, zato ga je potrebno odsesavati iz cone rezanja. Ker vsebuje dim veliko lepljivih delcev in snovi, ki jih ni možno uspešno filtrirati, rekuperacija zraka ni priporočljiva (Powell, 1993).

9.5 VARNOST PRI DELU Z LASERJI

Laserska energija v obliki optičnega snopa povzroča veliko nevarnost pri delu. Z dobro zasnovanim varnostnim programom pa so možne nevarnosti za poškodbo z laserjem zmanjšane na minimum. Glavne poškodbe oziroma oblike nevarnosti so poškodbe kože, poškodbe oči, električni udar in nevarnost izhajanja par. Visokoenergijski laserji lahko povzročijo trajne posledice že pri vstopu enega samega pulza v oko. Nizkoenergijski laserji pa so nevarni, če je oko dalj časa izpostavljeno curku svetlobe (če npr. gledamo v laser). Nevarnost pri posameznem laserju je odvisna od moči, trajanja pulza in valovne dolžine. Tveganja za poškodbo so se zmanjšala z uvedbo standardov, ki so ga sprejele različne organizacije in oblasti. Varnostni predpisi imajo določene zahteve za proizvajalce opreme in zahteve za uporabnike. Za certificiranje izdelkov se uporablja standard EN 608251-1.

Obdelava materialov s pomočjo laserja je obravnavana tudi z vidika obveznih zahtev za stroje (smernica za strojogradnjo ISO 11553). Zahteve so podane še v EN 292 del 1 in 2. Navedeni standardi podajajo navodila in pravila v zvezi s krmilnimi napravami, napotke za osebno varnostno opremo, administrativni nadzor, nadzor postopkov in posebni nadzor. Sistemi z laserskim izvorom morajo imeti tudi pooblaščenca za varnost, ki mora preverjati upoštevanje teh varnostnih zahtev (Steen, 2003).



POVZETEK

Lasersko rezanje je termični postopek. Žarek, ki je izvor sevalne energije, je fokusiran na površino obdelovanca. S tem dosežemo zadostno površinsko gostoto moči, da se material segreje, stali ali tudi upari. Material, ki ga obdelujemo, del laserske energije v obliki svetlobe absorbira v obliki toplote, del jo odbije, del pa jo lahko tudi prepusti skozi.

Osnovni princip rezanja poteka tako, da laserska naprava omogoča visoko energijski infrardeči žarek. Žarek se s pomočjo leč fokusira v majhno točko na površino obdelovanca. Fokusiran žarek segreva površino materiala in povzroča lokalizirano taljenje skozi celotno debelino materiala. Raztaljeni material se izloča s pomočjo pomožnega plina, ki ga dovajamo skozi šobo. Lokalizirano območje odstranjevanja materiala se pomika po površini (premik laserskega žarka ali premik obdelovanca) in tako dobimo proces rezanja materiala.

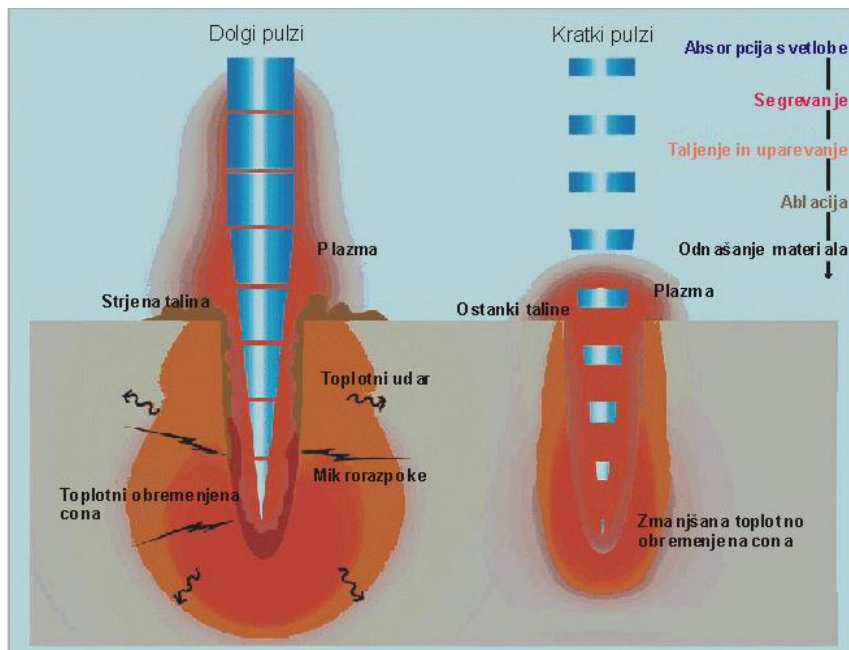
Učinkovitost laserske obdelave je odvisna od termičnih in v določeni meri optičnih lastnosti materiala, ne pa od njegovih mehanskih lastnosti. Materiale, kot so npr. les, papir, širok spekter umetnih mas, kompoziti idr., se z visoko intenzivnostjo laserskega žarka upari in odnese pod nizkim pritiskom inertnega plina, kot so dušik ali stisnjen zrak. Opisani način rezanja imenujemo lasersko sublimacijsko rezanje. Za tovrstno rezanje se najpogosteje uporablja CO₂ laser. Polprevodniški injekcijski laser se uporablja npr. za merjenje širin.

Prednosti laserskega rezanja so majhna širina reza, možnost rezanja pravokotnih rezov ali rezov poljubnih oblik, manjši hrup, manj oziroma nič prahu ter enostavno vodenje procesa rezanja. Slabosti laserskega rezanja pa so omejena globina rezanja, ožgana površina reza in izpostavitve lesa visokim temperaturam.



Vprašanja za razmislek in ponavljanje znanja

1. Z laserjem lahko obdelujemo:
 - a) krhke, trde in mehke materiale z nizko toplotno prevodnostjo,
 - b) trde in mehke materiale z visoko toplotno prevodnostjo.
2. Zakaj je težko določiti optimalno rezalno hitrost pri laserskem rezanju v odvisnosti od posamezne vrste lesa?
3. Na sliki 92 (str. 92) je prikazano delovanje dolgo pulznega in kratko pulznega laserja na odvzem, vpliva na material in na natančnost rezanja. Kateri laser je bolj primeren za obdelavo lesa?



Slika 92: Vpliv kontinuiranega in pulznega laserja na odvzem in natančnost obdelave
Vir: Junkar in Orbanić, 2010, 17

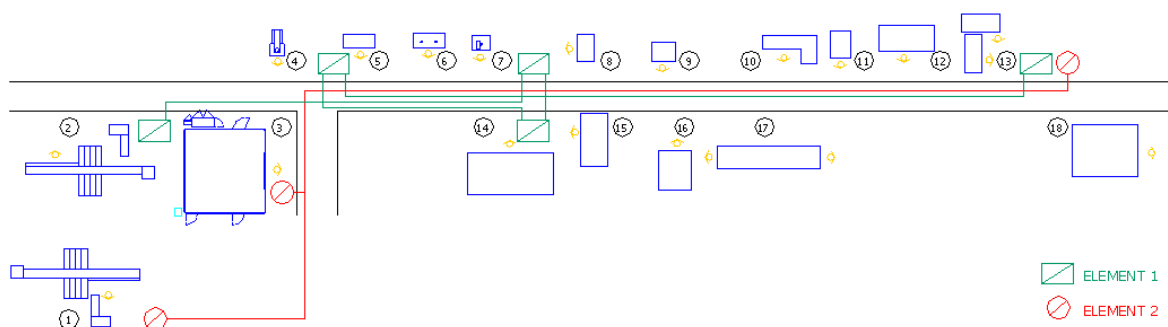
10 STROJNE LINIJE IN TEHNOLOŠKI POSTOPKI IZDELAVE IZDELKOV



Za proizvodnjo stolov je značilno, da se posamezen izdelek lahko izdeluje na različnih delovnih mestih z različnimi izdelovalnimi časi. Odločitev o zaporedju izvajanja operacij in izbiro posameznega delovnega mesta, na katerem bomo operacije izvajali, je pogojena s tehnološkimi in konstrukcijskimi značilnostmi izdelka.

V podjetju so lahko izvajali operacije na štirih strojih za izdelavo čepov, osmih vrtnalnih strojih, petnajstih rezkalnih strojih idr. Na sliki 93 (str. 93) je prikazana razporeditev delovnih mest v oddelku strojne obdelave in sestave sklopov ter zaporedje izvajanja dveh različnih elementov istega izdelka. Operacije prvega elementa so rezkanje na obliko, izdelava čepov, rezkanje okrogline, vrtanje in lepljenje. Zaporedja operacij drugega elementa pa so rezkanje na obliko, izdelava čepov, vrtanje ter lepljenje. Iz transportnih poti je razvidno, da je dolžina poti drugega elementa 70 m, prvega elementa pa 77 m. Časovne izgube pri prestavljanju obdelovancev iz stroja na stroj so pogojene tudi z izbiro delovnih mest, zato se pri določanju lokacije za izvedbo posamezne operacije pojavljata dve zahtevi:

- transportna pot obdelovanca mora biti čim krajša,
- podobne operacije različnih obdelovancev istega izdelka ne razporedimo na isto delovno mesto (preprečevanje "ozkih grl").



Slika 93: Tloris proizvodnje stolov oddelka strojne obdelave in sestavljanja sklopov s prikazom transportnih poti dveh različnih elementov istega izdelka (1 in 2 – kopirni rezkalni stroj; 3 – CNC obdelovalni center; 4 – nadmizni rezkalni stroj; 5, 8 in 11 – vrtnalni stroj; 6 in 7 – mizni rezkalni stroj; 9, 15 in 16 – vrtnalni oscilirni stroj; 10 – stroj za prirez, vrtanje in rezkanje; 12 in 14 – stroj za izdelavo čepov; 13 – stiskalnica; 17 – brusilni stroj

Vir: Lasten

Z namenom oblikovanja linij je bil izdelan program za simulacijo zaporedij operacij za posamezen element izdelka. Analizirana je bila mesečna proizvodnja stolov s 3.966 različnimi lokacijami/delovnimi mesti za obdelavo vseh elementov in sklopov. Zaradi neenotnosti izdelkov je bilo ugotovljeno, da je zaporedje obdelave po delovnih mestih zelo različno. V mesečni simulaciji je bilo izračunanih 823 različnih kombinacij zaporedij ali poti, ki so imela vsaj tri med seboj enake ponovitve.

Število zaporedij, ki so se ponovila samo enkrat, je bilo 2.047 ali 67 % vseh ponovitev. Število poti, ki so se ponovile dvakrat, je bilo 579 ali 19 % vseh ponovitev. Delež zaporedij, ki so se ponovila 10 ali večkrat predstavlja samo 2 %. Število zaporedij, ki so se ponovila 20-krat pa je bilo 4.

Zaradi majhne ponovljivosti zaporedij operacij, postavitve strojev v eno proizvodnjo linijo iz obstoječega proizvodnega programa ni bila možna. Izdelani pa so bili predlogi za izboljšanje pretoka materiala in planiranja:

- standardizacija programa (podobno zaporedje operacij),
- lokalne celice (npr. linija brušenja),
- centralna linija, na kateri se izvaja operacije po izbranem ključu; ostale operacije se izvaja na stranskih enotah,
- investicija v obdelovalne centre, na katerih se izvaja več različnih operacij,
- prerazporejanje strojev glede na zaporedje operacij (pri simulaciji skupne transportne poti je bilo ugotovljeno, da lahko z optimalno postavitvijo strojev prihranimo na razdaljah pri transportu elementov za 12.921 tekočih metrov/mesec ali 7 h transporta (ročni viličar)),
- oblikovanje kratkih (dve operaciji) povezav med stroji, ki si najpogosteje sledijo (npr. povezava s transportnim trakom; povratni transport na stroju idr.).

10.1 KAJ VPLIVA NA INVESTICIJE V TEHNOLOŠKO OPREMO?

Na trgu je ponudba strojev in naprav za obdelavo in predelavo lesa zelo velika. Izbira je možna tako glede na tehnološke in transportne karakteristike kot tudi glede na proizvajalce strojne opreme. Izbira in vključevanje določenega stroja v načrtovano tehnologijo je odvisna od tehnološke operacije, ki jo mora stroj opraviti, izdelavnih količin, zahtevane kakovosti dela, deleža ročnega dela, obremenitve stroja, porabe energije, ekonomičnosti obratovanja in okoljevarstvenega vidika. Pri razmestitvi opreme moramo uresničiti naslednje glavne cilje (Resnik, 2000):

- združevanje (združevanje vseh dejavnikov, ki vplivajo na razpored opreme),
- uporaba (uspešna uporaba strojev in opreme, časa zaposlenih in tovarniškega prostora),
- razširitev zmogljivosti (možnosti razširjanja zmogljivosti),
- prožnost (možnost enostavnega preurejanja ali reorganizacije),
- raznovrstnost (možnost enostavnega prilagajanja spremembam konstrukcije proizvoda),
- pravilnost (pravilna razdelitev prostora na relativno enake površine, še zlasti, če so ločene z zidovi ipd.),
- hitrost (čim manjše razdalje za transport materiala med pomožnimi službami in izvajalci pri strojih in napravah),
- urejenost (zaporednost logičnega toka dela in čisti delovni prostori),
- udobnost (za vse zaposlene na stalnih in občasnih delih),
- zadovoljstvo in varstvo pri delu (pri površinski obdelavi prihaja do onesnaženja zraka in vode, pri lepljenju se pojavljajo odpadne vode in kemijska onesnaženost, pri obdelavi lesa se pojavlja mehanska in kemijska onesnaženost (prah na površini, formaldehid ...), pri impregnacijah (fiksatorji se sčasoma izpirajo), prah je škodljiv (dihala), pri obdelavi nastaja ropot, požarna nevarnost ...

Za obdelovanje in predelovanje lesa se uporablja pretežno lesno obdelovalne stroje. Pri obdelavi lesa imamo večje hitrosti kot pri kovini, zato so tudi pomiki obdelovanca hitrejši. Pri obdelavi so pomembni ostanki (žagovina, prah, sekanci, kosovni ostanki). Les je higroskopen

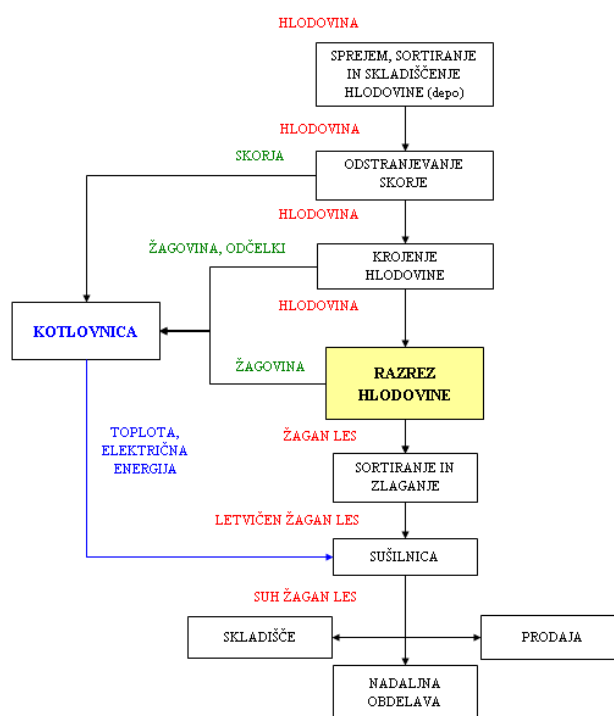
material. Ker na les vpliva sprememba klime, se zahteva kontrola klimatskih pogojev v prostoru (ogrevanje in relativna zračna vlažnost). Pogost koncept proizvodnje v lesarstvu je, da se izdelek naredi v celoti (končni proizvod z vsemi fazami).

Na podlagi tehnološkega postopka oziroma zaporedja, načina in mesta opravljanja delovnih operacij, lahko oblikujemo tehnološko shemo za izdelavo določenega proizvoda.

10.2 POSTOPKI OBDELAVE MASIVNEGA LESA

V nadaljevanju sta shematsko predstavljena dva osnovna postopka obdelave masivnega lesa; postopek razreza hlodovine in luščenja furnirja.

Pred **žaganjem** (slika 94, str. 95) hlodovine, je potrebno material sortirati, očistiti, reducirati in krojiti, da hlood ne povzroča zastojev zaradi zahtev obdelave (tehnološke omejitve). Ločimo različne načine žaganja, kot npr. enkratno žaganje, prizmiranje, radialni način žaganja, žaganje železniških pragov idr. (Merzelj, 1996). Po žaganju se lahko les in ostale izdelke sortira, letviči, prižaguje, zmeri in označi, impregnira ali posuši. Običajno se žagovino, ostanke čeljenja, iveri in prah porablja za pridobivanje toplotne ali električne energije, ki jo zahteva tehnološki proces (ogrevanje).

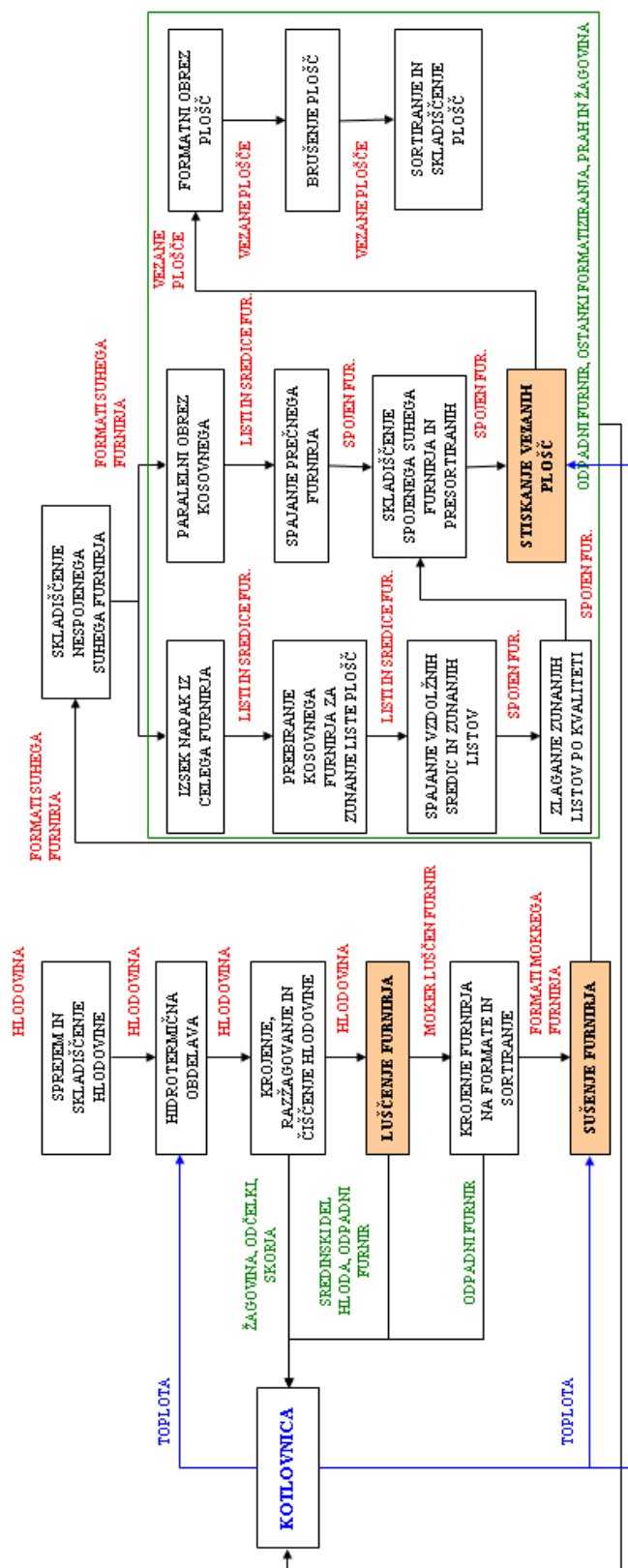


Slika 94: Tehnološka shema žagarskega obrata

Vir: Resnik, 2000, 125

Pred **luščenjem** (slika 95, str. 96) je potrebno vhodni material sortirati, očistiti in termično obdelati. S procesom hidrotermične obdelave se povečuje plastičnost lesa, kar ima ugoden vpliv na prodiranje noža v les pri procesu luščenja. Pri luščenju je hlood s čela vpet med dve vreteni, ki hlood obračata z določeno obodno hitrostjo. Obenem pa se proti vpetemu hloodu s strani pomika voziček s tlačno letvijo in nožem. Pri operaciji luščenja prihaja iz luščilnega stroja neskončen trak furnirja. Na samem začetku luščenja se najprej pojavijo krpe furnirja (lesni odpadki). Preko npr. sistema optičnih senzorjev se izseka napake in kroji določene formate. Sušenje furnirja se v tehnoloških procesih običajno izvaja v pretočnih sušilnih

kanalih, ki so sestavljeni iz več prekatov ali segmentov. Transport furnirja skozi sušilne kanale pa se vrši s pomočjo traku ali kontinuirano vrtečih se jeklenih valjev.



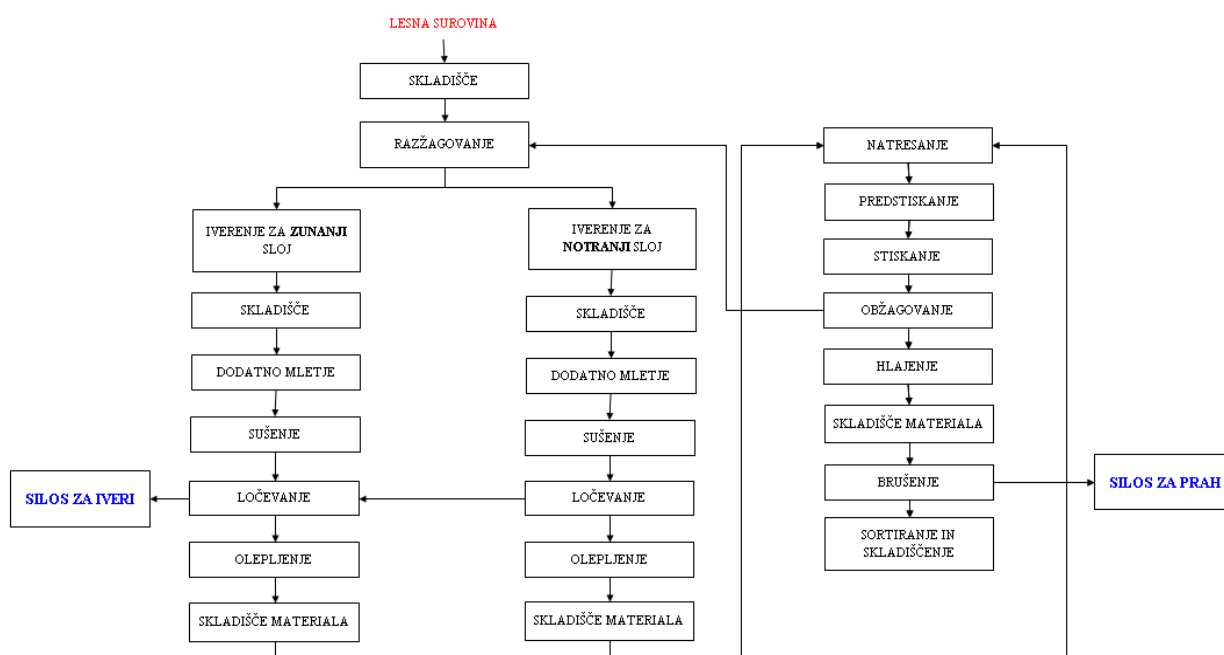
Slika 95: Tehnološka shema proizvodnje vezanih plošč
Vir: Lasten

Posušen furnir moramo pred nadaljnjo obdelavo kondicionirati (umiritev notranjih napetosti). Furnirje, ki so namenjeni za zunanje liste, in tiste, ki gredo na spajanje, moramo obrezati, da izločimo napake (zdrave ali izpadle grče, piravost, razlike v barvi) in razpoke, ki so nastale zaradi sušenja. To operacijo izvajamo na suhih škarjah za obrez furnirja.

Pred stiskanjem plošč je potrebno sestavljene furnirje ponovno sortirati v liste za lice in liste za sredico oziroma hrbtno stran (slabša kvaliteta). Glede na končno debelino plošče in debelino furnirnih listov izdelamo različne kombinacije. Upoštevati je potrebno tudi število slojev. Po nanosu lepila (valjni nanašalci, polivanje, brizganje idr.) se kompoziti stisnejo v večetažnih stiskalnicah (običajno avtomatsko polnjenje). Temperature, tlaki in časi stiskanja so odvisni od vrste lepila in debeline plošče. Sledijo faze formatnega odrezovanja, kondicioniranja in brušenja plošč (Čermak, 1996).

10.3 POSTOPKI OBDELAVE TVORIV

Opisan je osnovni postopek izdelave iverne plošče. Več o drugih postopki lahko preberete <http://www.spanogroup.be/upload/docs/MDF-manual%20ENG%20LOW%20RES.pdf>, <http://books.google.gr/books?id=znTkrwimjWAC&pg=PA370&lpg=PA370&dq=Spanplatte+production+technologisch+pdf&source=bl&ots=erhYTotUKG&sig=mGLvz7eWITAEZVn4zPYwcxE8FkE&hl=sl#v=onepage&q&f=false>, (1. 2. 2011).



Slika 96: Tehnološka shema izdelave ivernih plošč

Vir: Resnik, 2000, 126

Postopki tehnologije za proizvodnjo ivernih plošč se ločijo predvsem po načinu izdelave iverja in natresanju iverja oziroma po načinu stiskanja plošč. V skladišču ločimo surovino glede na drevesno vrsto, krojimo in lupimo hlodovino, ker skorja negativno vpliva na kakovost plošč (slika 96, str. 97). Izdelava iverja za zunanji sloj se proizvaja na iverilnikih, kjer poteka rezanje ploščatega iverja. Ker iverje po rezanju nima optimalne dimenzije (debelina 0,1 mm do 0,3 mm), se ga po ali pred sušenjem melje. Iverje za srednji sloj pridobivamo tako, da se heterogeno snov najprej predela v sekalnikih, v drugi fazi pa sekance režemo v iverje zahtevanih dimenzij. Ker je začetna vlažnost iverja zelo različna, je potrebno sušenje (zunanja plast od 3 % do 5 %; srednja plast od 1 % do 3 %). Vлага iverja vpliva na

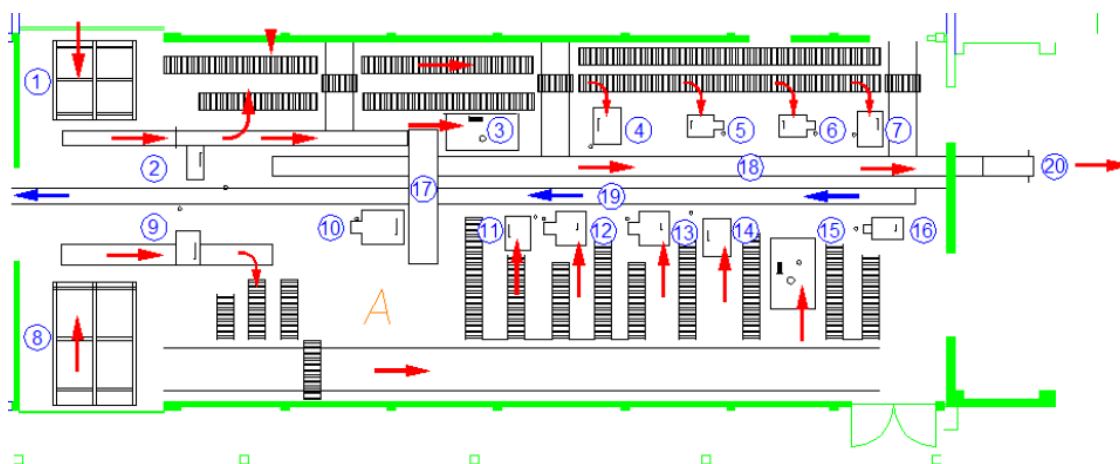
potek stiskanja plošč in porabo energije. Prevladno iverje podaljšuje čas stiskanja, pogosto pa prihaja tudi do razslojevanja izdelkov zaradi parnih mehurjev. Presuho iverje vpija preveliko količino lepilne mešanice. Pri iverjenju dobimo določeno količino iverja neustreznih dimenzij, zato ga moramo sortirati in izločiti predrobno in preveč grobo frakcijo (sejalne naprave). V fazi mešanja iverja z lepilom se lepilo razprši v mešalniku, kjer z lopaticami mešamo iverje. Pomembno je natančno doziranje posameznih komponent. Olepljeno iverje skladiščimo v silosih, od koder ga transportiramo do postaje za oblikovanje surove preproge. Poznamo različne načine doziranja in nasipanja iverja na brezkončen trak (mehanično, kombinirano). Debelina iverne preproge je od 3 do 20 krat večja od debeline končne plošče. Pri številnih postopkih pogačo najprej hladno stiskamo v predstiskalnici. S tem iztisnemo zrak in dosežemo delno zgostitev preproge. Surovo ploščo zatem stiskamo v vroči stiskalnici na predpisano bruto debelino, hkrati segrejemo notranjost plošče na temperaturo, pri kateri veže lepilo. Ker se pri olepljenju zviša vlažnost iveri, je potrebno iz plošče odstraniti presežek vlage. Po končanem stiskanju se loči iverne plošče od transportnih ali mrežastih podlog. Ker urea-formaldehidne smole pri temperaturi nad 70 °C razpadejo (sproščanje formaldehid in padec razplastne trdnosti), je potrebno ohlajevanje (hladilni obračalniki). Po razrezu plošč v predpisan format je potrebno iverno ploščo tudi kondicionirati. Vzrok je visoka temperatura stiskanja, ki presuši zunanjo površino plošče. Ta hitro vpija vlogo iz zraka in iz sredine plošče. Posledica neenakomerne vlažnosti so notranje napetosti med zunanjsima slojema, ki se raztezata, in sredico, ki se krči. Ko dosežemo higroskopično ravnotežje, se plošče še brusi in sortira (Čermak, 1996).

10.4 TRANSPORT V PROIZVODNEM PROCESU

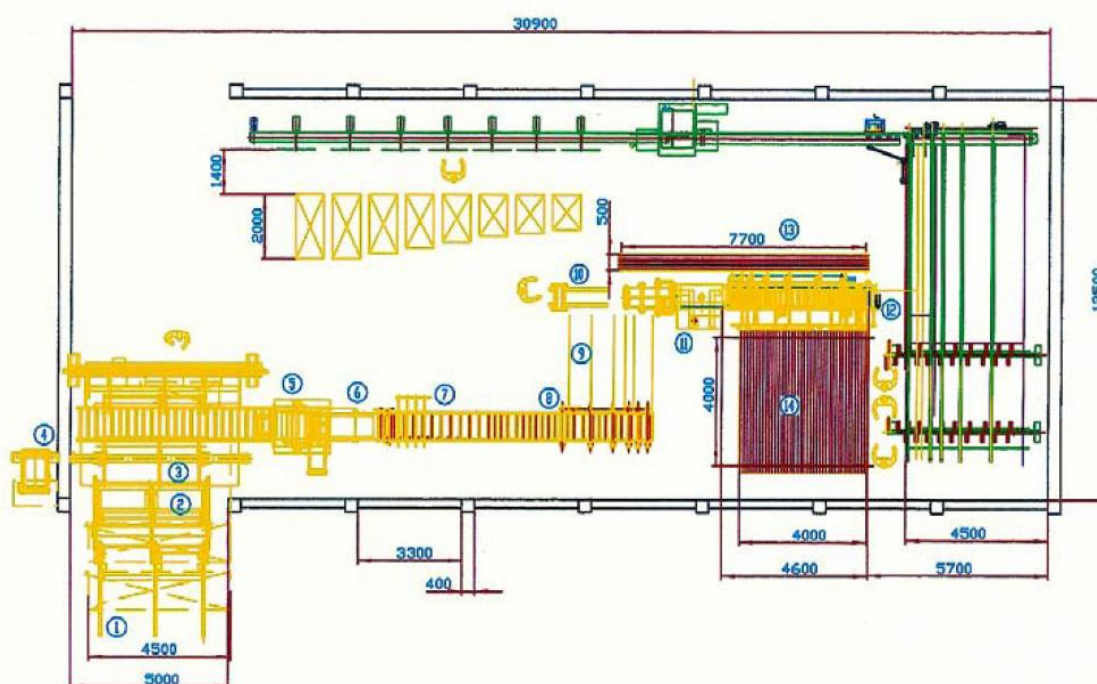
Transport je v proizvodnem procesu zelo pomemben del in je v veliki meri odvisen od prostorske razporeditve strojev in naprav (npr. delavniška proizvodnja, celična proizvodnja, linijska proizvodnja idr.) Glavni kriteriji pri izbiri transportnih in drugih naprave za zagotavljanje ustrezne stabilnosti proizvoda (vpenjanje, stabiliziranje, obračanje ...), so še lastnosti obdelovancev, moč transportne naprave, pot transportiranja, način skladiščenja, posebne okoliščine, velikost prostora, oblika prostora, vrsta zgradbe, relief zemljišča, lega transportne naprave, lega obdelovalnih strojev in prah, vlaga, plini ter pare.



Tehnološki proces v decimirnici (slika 97, str. 99) je zasnovan tako, da viličarist odloži zložaj desk na verižni transporter (poz. 1). Delavec namesti zložaj po prečnem transporterju pred valjčno progo nadmiznega čelilnega stroja (poz. 2), od koder deske ročno polaga na valjčno progo. Delavec z gnano valjčno progo pomika desko skozi nadmizni prečni čelilni stroj, kjer opravi bazni prečni rez. Ob upoštevanju napak v lesu (grče, razpoke, barvne diskoloracije idr.) se deska razžaga na ustrezne razdalje. Razžagane kose desk se ročno zлага na nadaljevalno valjčno progo, ki vodi k večlistnemu krožnemu žagalnemu stroju za vzdolžni razrez (poz. 3). Določene deske se vodijo po valjčni progi do vzdolžnega razžagovanja na tračnih (poz. 5, 6, 7) ali krožnih (poz. 4) žagalnih strojih. Vzporedno med stroji sta postavljena potujoča tračna transporterja. Razžagani elementi se transportirajo (poz. 18, 20) do delavcev, ki ročno sortirajo in zlagajo elemente na paleto. Drugi trak (poz. 19) pa je namenjen transportu odpadkov. Klasičen razrez, ki poteka na prečno-vzdolžen način, se izvaja na strojih, kupljenih v letu 1980 (Palman, 2008).



Slika 97: Načrt tehnološke opreme v decimirnici
Vir: Palman, 2008, 3



Slika 98: Načrt postavitve tehnološke opreme Intercat
Vir: Palman, 2008, 26

Ponujena tehnološka oprema (slika 98, str. 99) omogoča prečno-vzdolžno-prečni način rezanja z avtomatskim programskim optimiranjem žaganega lesa listavcev. Vsi stroji so povezani v linijo s transportnimi napravami. Zložaji desk prihajajo prek prečnega transporterja (poz. 1) na zvrčalno napravo (poz. 2). Deske se po zvrnitvi in dvigu naprave v slojih prenesejo na prečni transporter (poz. 3), od koder jih delavec ročno razdvoji in po eno prenese na vhodni transporter prečnega čelilnega stroja za predčeljenje (poz. 5). Delavec krive deske predčeli ali pa deske čeli na krajše kose za razrez v risane elemente. Kratke deske za risane elemente s prečnega transporterja (poz. 7) delavci zložijo na palete in odpeljejo na razrez s tračnimi žagalnimi stroji. Preostale deske potujejo na označevalno postajo za označevanje širin desk in določanje kakovostnih področij s pomočjo laserja (poz. 10). Delavec na stroju poravna desno stran deske na bazno linijo, ki jo označuje fiksni laser. Levo stran deske in kakovostne dele na deski označijo s pomičnim laserskim žarkom. Ko je označevanje končano in potrjeno, se izvede širinski razrez desk na večlistnem krožnem žagalnem (VKŽ) stroju s pomičnimi krožnimi listi (poz. 11), ki so računalniško krmiljeni.

Transporter pred VKŽ potisne desko v stroj. Transporter (poz. 12) za VKŽ razdvoji širinsko razrezane lamele od nerazžaganega dela deske, ki se prek povratnega transporterja (poz. 13) vrne na označevanje. Razžagane lamele potujejo po sortirnem traku (poz. 14). Delavec, ki označuje napake na lamelah, le-te jemlje s sortirnega traku in jih potiska na vhodni transporter pred čelilnim strojem. Lamlele potujejo po transporterju skozi merilno postajo (poz. 16), ki razbere napake, določi kakovost in izmeri širine posameznih lamel. Krmilnik na podlagi izmerjenih parametrov in vnesenih krojnih list, določi optimalni razrez lamel. Sortirna linija s potisnimi cilindri razvršča elemente po dolžini, kakovosti in širini v zbiralnike, od koder jih delavci zlagajo na palete.

Pri načrtovanju tehnologije in z njo povezanega transporta veljajo izhodišča, da je v tehnologijo vključeno čim manj transporta, da se dosledno upošteva predpise o zaščiti in varstvu pri delu (potencialna nevarnost za nesreče), da se transportna sredstva izkoristi za vmesne deponije, da je potrebno natančno predvideti in vzdrževati transportne poti, da dosledno upoštevamo nalogo oziroma namen načrtovanega transporta in da se upošteva tudi stroške, ki so povezani s transportom. Notranji transport v obdelavi in predelavi lesa je mogoče razdeliti na (Resnik, 2000):

- **talni transport** (viličarji, ročni ali mehanizirani vozički, traktorji idr.)
Prednost je prilagodljivost zahtevam in enostavna nadomestitev v primeru okvare ali nezadostne kapacitete. Talne transporterje lahko tudi računalniško programiramo in nadziramo vodenje. Pomanjkljivost je velika površina transportnih poti, velika zahtevana nosilnost tal oziroma poti, nevarnost nesreč, onesnaževanje okolja z npr. izpušnimi plini, večje število delavcev.
- **nadtalni transport** (konvejerji, transportni trakovi, mostna dvigala idr.)
Prednost je možnost vodoravnega in navpičnega gibanja (izkoristek prostora), visoke kapacitete transportiranja, kontinuiran način dela, varno delo in manjše potrebe po delovni sili. Pomanjkljivost je statičnost transporta glede na lokacijo in področje delovanja ter problem nadomeščanja transporta v primeru okvare. V nadtalni transport so vključene tudi dvizne mize, ki omogočajo lažje delo. V kombinaciji z valjčnimi ali tračnimi progami se lahko avtomatizira proces transporta med različnimi operacijami (npr. povezava stroja za brušenje in nanosa temelja pri površinski obdelavi ploskve).
- **pnevmatski transport** (npr. odsesovalni sistemi)
Pri transportu žagovine, sekancev, iverja idr. uporabljamo neposredni pnevmatski transport (ostanki potujejo preko ventilatorja) in posredni transport (sesalni način transporta odpadkov). Za pnevmatski transport je značilno, da je energetsko zelo potraten. Za postavitve in zagon so potrebne velike investicije. Tako kot pri nadtalnem je tudi pri pnevmatskem transportu problem statičnost. Prednosti **neposrednega načina** transporta so malo motenj med obratovanjem in nizek padec tlaka, povezan s tesnjenjem cevovodov. Pomanjkljivost je hrup, obraba lopatic in ohišja ventilatorja, dodatno mletje transportnega materiala. Prednosti **posrednega načina** so manjši ropot in transport materiala brez mletja. Pomanjkljivost pa je predvsem izguba podtlaka, ki je povezana s tesnjenjem.
- **vakuumski transport** (vakuumska oprijemala)
Uporablja se pri transportu obdelovancev z velikimi dimenzijami in masami (npr. transport plohov, prizem v žagalnici) ali za transport zelo lahkih in tankih materialov (npr. furnirja ali folije). Prednost sistema je velika prilagodljivost obliki in masi transportiranca in majhna možnost poškodbe pri transportu.



POVZETEK

Na trgu je ponudba strojev in naprav za obdelavo in predelavo lesa zelo velika. Izbira je možna tako glede na tehnološke in transportne karakteristike kot tudi glede na proizvajalce strojne opreme. Izbira in vključevanje določenega stroja v načrtovano tehnologijo je odvisna od tehnološke operacije, ki jo mora stroj opraviti, izdelavnih količin, zahtevane kakovosti dela, deleža ročnega dela, obremenitve stroja, porabe energije, ekonomičnosti obratovanja in okoljevarstvenega vidika.

Pri obdelavi lesa so pomembni ostanki (žagovina, prah, sekanci, kosovni ostanki). Les je higroskopni material. Ker na les vpliva sprememba klime, se zahteva kontrola klimatskih pogojev v prostoru (temperatura in relativna zračna vlažnost). Pogost koncept proizvodnje v lesarstvu je, da se izdelek naredi v celoti (končni proizvod z vsemi fazami).

Transport je v proizvodnem procesu zelo pomemben del in je v veliki meri odvisen od prostorske razporeditve strojev in naprav, lastnosti obdelovancev, moči transportne naprave, poti transportiranja, načina skladiščenja, posebnih okoliščin, velikosti prostora, oblike prostora, vrste zgradbe, reliefa zemljišča, lege transportne naprave, lege obdelovalnih strojev idr.



Vprašanja in naloge

1. Izbor in razmestitev tehnološke opreme ter optimiziranje transportnih poti.
Izdelajte tehnološko shemo za izdelek. Izberite tehnološko opremo za strojno obdelavo izdelka (slika 99, str. 101). Tehnološko opremo razmestite v prostoru in določite način transporta materiala. Optimirajte transportne poti.
Vhodni material je decimiran les. Izhodni izdelek so surovi sklop naslonjala, sedeža in noge spredaj ter zadaj. Roko naslona se ne montira. Povprečna proizvodna serija je 250 kosov. Povprečna mesečna kapaciteta proizvodnje podobnih stolov je 3.500 stolov.



Slika 99: Slika stola (vrtno pohištvo) iz lesa robinije
Vir: Novoles d.d., (1. 2. 2011)

2. Pri oblikovanju linije je ključnega pomena izenačevanje obremenitev (takt ali kadenca). Oblikovanje zaporedja operacij je smiselno prilagoditi tako, da je časovno najbolj obremenjeno delovno mesto zadnje v liniji (čakanje in medoperacijska skladišča). Potrebno je upoštevati tudi tehnološke karakteristike obdelave (npr. čas sušenja idr.).

Na liniji pakiranja komode (slika 100, str. 103) izboljšajte organizacijsko shemo (slika 101, str. 103). Optimizirajte dela oziroma zmanjšajte takt linije, ki je prikazana v tabeli 9 (str. 102 in str. 103). Povprečen čas dela je 389 s/operaterja/komodo.

Tabela 9: Operacije in časi pri montaži in pakiranju 3D komode

SESTAVA KORPUSA	operater 1 [s]	SESTAVA KORPUSA	operater 2 [s]
prenos in montaža dna komode	4	vijačenje korpusa	90
prenos in montaža stranice (L in D)	21	namestitev plošče	20
prenos in montaža predelbe (L in D)	28	pozicioniranje hrbtišča	20
prenos in montaža plošče komode	16	namestitev kovč za pritrditev hrba na predelbo	25
vstavljanje dekor. čepov	34	vijačenje hrbtišča	85
prenos in pozicioniranje hrbtišča (3x)	22	prenos komode na valjčno progo	25
pritrjevanje hrbtišča (10 do 15 vijakov)	115	prenos in pozicioniranje podnožja	15
prenos komode na valjčno progo (čakanje, umikanje)	30	iskanje vijakov za pritrjevanje pod.	
iskanje vijakov za pritrjevanje letev	7	vijačenje podnožja	60
vstavljanje in vijačenje letve zapirne	88		
SKUPAJ	365	SKUPAJ	340

MONTAŽA IN PAKIRANJE	operater 3 [s]	MONTAŽA IN PAKIRANJE	operater 4 [s]
prenos komode iz valjčne proge na delovno mesto	8	prenos komode iz valjčne proge na delovno mesto	8
prenos in vstavljanje predala (2 predala istočasno)	28	prenašanje vrat	8
prenos in vstavljanje predala (2 predala istočasno)	31	namestitev vrat	40
čiščenje komode s krpo in kontrola (popravilo z barv.)	60	vstavljanje stiroporja med vrata in ploščo	15
prenos in zlaganje polic na vrh komode	13	zaščita komode z gastropenom	20
zaščita komode z gastropenom (spredaj, s strani)	25	ovijanje z streč folijo	80
zaščita komode s folijo	70	sestava in lepljenje kartonske embalaže	90
lepljenje kartonske embalaže	15	postavitev kartona na komodo+obračanje+etiketa	35
postavljanje embalaže na komodo in obračanje	20	zapiranje embalaže	40
čakanje na operaterja 4 (lepljenje etikete)	8	prenos na paleto	10
zapiranje embalaže zgoraj	47	odvoz paketa iz linije v skladišče (zunaj)	25
prenos izdelka na paleto	12		
povijanje paketa 6 izdelkov s folijo	4		
iskanje transport. in odpiranje vrat za skladišče	7		
odvoz paketa iz linije v skladišče (zunaj)	25		
SKUPAJ	373	SKUPAJ	371

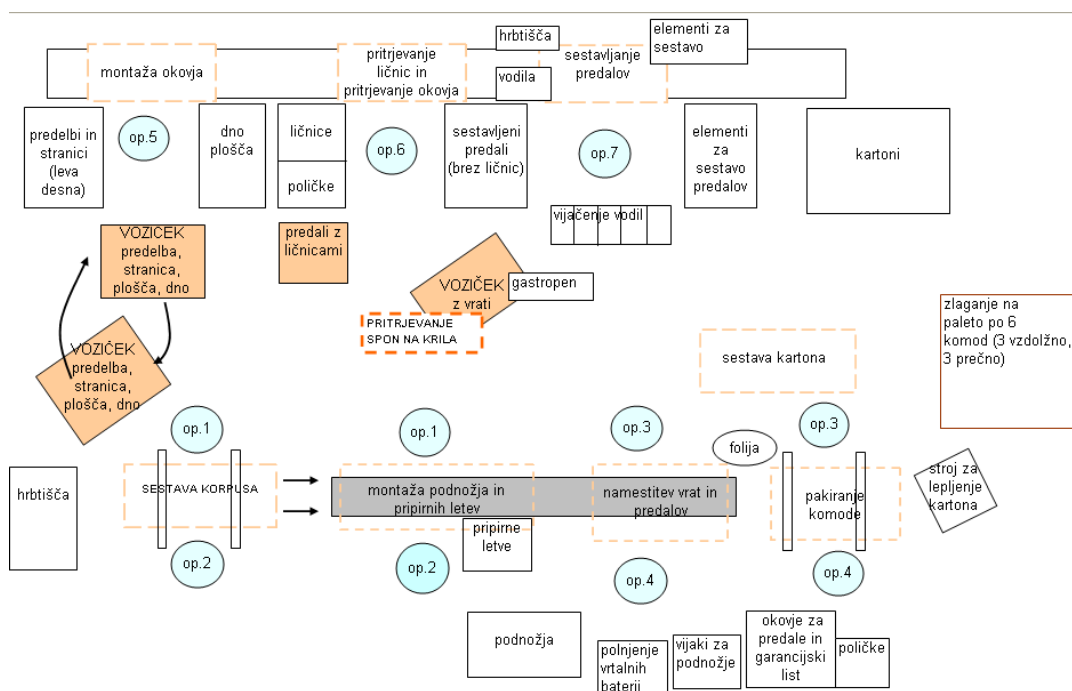
PRIPRAVA STRANIC, PREDELB	operater 5 [s]	PRIPRAVA PREDALOV IN VRAT	operater 6 [s]	SESTAVA PREDALOV	operater 7 [s]
predelbi (prenos, postavitve vodil, vijačenje)	94	vijačenje ploščic na vrata (uporaba distanc.)	34	sestava predalov (moznički že vstavljeni)	228
plošča	90	vijačenje okovja na vrata (dvakrat)	70	vijačenje okvirjev	76
stranici	124	prenos ličnic iz vozička (4 ličnice)	25	vijačenje okovja enostransko	100
dno (ekscentre, magnetki)	55	postavitve ličnic glede na teksturo	70	obračanje predalov	15
		pozicioniranje predala na ličnico	60	vijačenje okovja enostransko	100
		vstavljanje vijakov in vijačenje	100	prenos predalov do operaterja 6	22
		odlaganje predala na paleto	12		
SKUPAJ	363	SKUPAJ	371	SKUPAJ	541

Vir: Novoles d.d., (1. 2. 2011)



Slika 100: 3D komoda

Vir: Novoles d.d., (1. 2. 2011)



Slika 101: Organizacijska shema suhe montaže in pakiranja 3D komode

Vir: Novoles d.d., (1. 2. 2011)

11 LITERATURA

ABB. *Wood industries – Painting & Coating* (online). 2011. (citirano 15. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.abb.com>.

Alain, A. *Understanding CNC Routers. FP Innovations* (online). 2010. (citirano 24. 1. 2011) Dostopno na naslovu: <http://www.iformwood.com/wp-content/uploads/2010/02/Understanding-CNC-Routers-Part-1.pdf>.

Astakhov, V. P., in Davim, J. P. *Machining Fundamentals and Recent Advances. Tools (Geometry and Material) and Tool Wear*. London: Springer. 2008.

BACCI. *CNC Machining Centers* (online). 2010. (citirano 20. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.bacci.com/cgi-bin/bacci/pagina.pl?Tipo=famiglia&IdM=&IdF=11&Lin=eng>.

Beranger, P. *Nova pravila proizvodnje. V industrijsko dovršenost*. Ljubljana: ČGP Delo, 1989.

BF oddelek za lesarstvo. *Mehanska obdelava lesa – nastanek odrezka* (online). 2010. (citirano 23. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje06-nastanek_odrezka.pdf.

BF oddelek za lesarstvo. *Mehanska obdelava – specifična rezalna sila* (online). 2010. (citirano 26. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf.

BF oddelek za lesarstvo. *Mehanska obdelava – pregled orodja za obdelavo lesa* (online). 2010. (citirano 26. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje17-pregled_orodja_za_obdelavo_lesa.pdf.

BF oddelek za lesarstvo. *Mehanska obdelava – Ostrenje lesno obdelovalnih orodij* (online). 2010. (citirano 26. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje_18-Ostrenje_lesnoobdelovalnih_orodij-gradivo_za_seminar.pdf.

Bizjak, F. *Reinženiring in razvoj podjetja*. Nova Gorica: EDUCA, 1997.

Bučar, B. *Mehanska obdelava* (online). 2010. (citirano 18. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/predavanje08-specificna_rezalna_sila.pdf.

Bučar, B., in Bučar, D. G. *The influence of the specific cutting force and cross-sectional geometry of a chip on the cutting force in the process of circular rip-sawing*. Holz als Roh- und Werkstoff, 2002, št. 60, str. 146–151.

Chiou, R.Y., et al. *The effect of an embedded heat pipe in a cutting tool on temperature and wear*. Proceedings of IMCE 2003 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Washington D.C. 2003. str. 1–8.

Chrysosolouris, G. *Laser Machining. Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag, 1991.

Cyberman. *Waterjet Cutting* (online). 2011. (citirano 27. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/machining/non_trad/waterjet/.

Čermak, M. *Lepila in materiali za površinsko obdelavo in zaščito lesa* (online). 1998. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Ucbeniki/LepilainMaterialiZaPovrsinskoObdelavo.pdf>.

Čufar, K., in Torelli, N. *Tehnologija lesa*, Ljubljana: Lesarski oddelek, 1992.

Čermak, M. *Furnirji in plošče*. Ljubljana: Lesarska založba, 1996.

Davim, J. P., et al. *Surface roughness aspects in milling MDF*. Int J Adv Manuf Technol, 2009, št. 40., str. 49–55.

Direct Industry. *The Virtual Industrial Exhibition* (online) 2011. (citirano 24. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.directindustry.com/>.

Dorović, A. *Učbenik za CNC tehnologijo* (online). 2011. (citirano 24. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/cncstr.htm>.

Fletcher, R., et al. *Proposed airborne toxic control measure to reduce formaldehyde emissions from composite wood products* (online). 2007. (citirano 12. 1. 2011) Dostopno na naslovu: <http://www.arb.ca.gov/regact/2007/compwood07/compwood07.htm>.

Frihart, C. R. *Wood Adhesion and Adhesives*. New York: CRC Press LLC, 2005.

Frumen, P. *Tehnološka prenova lakirnice v lesnem podjetju*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, 2007.

Gardner, D. J. *Adhesion Mechanisms of Durable Wood Adhesive Bonds* (online). 2005. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.entwoodllc.com/PDF/wood%20adhesion%20mechanisms.pdf>.

Geršak, M. *Lesnoobdelovalni stroji*. Ljubljana: Lesarska založba, 1998

Geršek, M. *Lesnoobdelovalni stroji*. Učbenik za srednje izobraževanje. Ljubljana: Lesarska založba, 1998.

Gfeller, B. *Skript Holztechnologie 2* (online). 2000. (citirano 26. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:26435/eth-26435-02.pdf>.

Giacomo, G. *Fracture mechanics and micromechanics of wood and wood composites with regard to wood machining* (online). 2007. (citirano 23. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.boku.ac.at/physik/coste35/Meetings/Milano_20_21_sep_2007/goli_DISTAF_uni_v_firenze.pdf.

Goli, G. *Chip formation in wood cutting with different grain orientations using high and low cutting speeds* (online). 2007. (citirano 25. 12. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.mendeley.com/profiles/giacomo-goli/>.

Gorišek, Ž. *Sušenje lesa*. Priročnik za pouk in delo. Ljubljana: Lesarska založba, 1994.

Grošelj, A., et al. *Tehnologija lesa 2*. Ljubljana: Lesarska založba, 1999.

Hass, P., et al. *Adhesive Penetration in Beech Wood*. (online). 2010. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.comphys.ethz.ch/hans/p/518.pdf>.

Heisel, U., et al. *CNC Technology in Woodworking-Nowadays and Future Trends* (online). 1996. (citirano 24. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.krondorfer.byethost7.com/Holz/WIN96_3_4.pdf.

Hlebanja, J. *Teoretični model odrezovanja, vpliv ostrine na rezanje lesa in videz ostrine pod mikroskopom*. LES wood, 1998, št. 50, str. 329–333.

Hoadley, B. R. *Understanding wood – A craftsman's guide to wood technology. Machining and bending wood* (online). 2000. (citirano 17. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://books.google.gr/books?id=5HBH2ibu-ZwC&pg=PA148&lpg=PA148&dq=wood+drying+moisture+content+as+regards+application&source=bl&ots=clTicJqiwa&sig=-bjVSWsZ925eE8oQGIZnANwOcn0&hl=sl#v=onepage&q&f=false>.

Hugh, J. *Integration and Automation of Manufacturing Systems* (online). 2001. (citirano 25. 1. 2011) Dostopno na naslovu: <http://www.eod.gvsu.edu/~jackh/books/integrated/pdf/integratedbook.pdf>.

HSS forum. *Smart Solutions for Metal Cutting* (online). 2011. (citirano 4. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.hssforum.com/UsefulInformationEN.pdf>.

INOTEH. *INOJET – sistem za vodni razrez* (online). 2011. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.inotech.si/slovene/inojet.htm>.

Jan, G., et al. *Vodni curek namesto orodja* (online). 2001. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/raziskave/awj/VodniCurekNamestoOrodja.pdf>.

Jakopič, F., in Plazar, S. *Tehnologija odrezovanja kovin*. Učbenik za predmet tehnologija. Ljubljana: Zavod Republike Slovenije za šolstvo, 2001.

Jošt, M. *Vpliv temperature stiskanja na kinetiko utrjevanja in dinamiko graditve trdnosti fenol-formaldehidnega lepilnega spoja* (online). 2009. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dd_jost_matej.pdf.

Kaiba, P., Vrtek, B. *CNC odrezovalni stroji*. Zgradba, delovanje in programiranje. Železniki: PAMI d.o.o., 2000.

Keidel, W., in Lämmerzahl, H. *Fachmathematik Holz* (online). 2011. (citirano 24. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.bildungsverlag1.de/bv1web/assets/Probeseiten/4612a_4.pdf.

Keturakis, G., in Juodeikiene, I. *Investigation of Milled Wood Surface Roughness*. MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA), 2007, let. 13, št. 1, str. 47–51.

Kharagpur. *Industrial Automation - Module 1* (online). 2011. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: [http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Industrial%20Automation%20control/pdf/L-01\(SM\)\(IA&C\)%20\(\(EE\)NPTEL\).pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Industrial%20Automation%20control/pdf/L-01(SM)(IA&C)%20((EE)NPTEL).pdf).

Klemenšek, J. *Odrezovanje* (online). 2010. (citirano 16. 12. 2010). Dostopno na naslovu: ftp://www.s-scv.ce.edus.si/vss/klemensek_joze/Gradiva_TEP/Odrezoavanje/3.2.0.0_Odrezoavanje_splono_MEHATRONIKA.pdf.

Klemenšek, J. *Strojno odrezovanje* (online). 2010. (citirano 17. 12. 2010). Dostopno na naslovu: ftp://www.s-scv.ce.edus.si/vss/klemensek_joze/Gradiva_TEP/Odrezoavanje/3.2.1.0_Strojno_odrezovanje_MEHATRONIKA.pdf.

Klemenšek, J. *Brušenje* (online). 2010. (citirano 2. 1. 2010). Dostopno na naslovu: ftp://www.s-scv.ce.edus.si/vss/klemensek_joze/Gradiva_TEP/Odrezoavanje/3.8.1.2_bru%9Aenje_MEHATRONIKA.pdf.

Klocke, F., in König, W. *Fertigungsverfahren Schleifen, Honen, Läppen*. Springer. (online). 2005. (citirano 31. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://books.google.gr/books?id=vu2LTebXPu4C&pg=PA52&lpg=PA52&dq=DIN+69100&source=bl&ots=pECpohcv7t&sig=9JY2VqxQEjSMTp_tllb5BQKhrwQ&hl=sl#v=onepage&q=DIN%2069100&f=false.

Kopač, J. *Odrezovanje: teoretične osnove in tehnološki napotki*. Ljubljana: samozaložba, 2008.

Keturakis, G., in Lisauskas, V. *Influence of the Sharpness Angle on the Initial Wear of the Wood Milling Knives*. ISSN 1392–1320. MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA), 2010, let. 16, št. 3, str. 205–209.

Kramar, D., in Junkar, M. *Rezanje z laserjem in konkurenčnimi tehnologijami* (online). 2007. (citirano 31. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://irt3000.ecetera.net/P/PDF/IRT3000-st7-TemSklop-KRAMAR.pdf>.

Kües, U. *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts* (online). 2007. (citirano 1. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://books.google.gr/books?id=znTkrwimjWAC&pg=PA370&lpg=PA370&dq=Spanplatte+production+technologisch+pdf&source=bl&ots=erhYTotUKG&sig=mGLvz7eWITAEZVn4zPYwcxE8FkE&hl=sl#v=onepage&q&f=false>.

Leban, I., in Jelovčan, I. *Lepila in lepljenje lesa. Obdelava lesnih plošč* (online). 2011. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/Lesarstvo_tapetnistvo/LEPILA_IN_LEPLJENJE.pdf.

Maček, P. *Lasersko rezanje vlaknene plošče* (online). 2006. (citirano 31. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_macek_peter.pdf.

Majcen I., et al. *Avtomatizacija proizvodnih postopkov*. Proizvodnja in sestavljanje otroške hiše (online). 2006. (citirano 20. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/avt_pro_po/Hiske/Porocilo_Proizvodnja%20in%20sestavljnje%20hiske.pdf.

Merzelj, F. *Žagarstvo*. Ljubljana: Kmečki glas, 1996.

- Micro-Epsilon. *High precision sensors, measuring instruments and systems* (online). 2011. (citirano 4. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.micro-epsilon.com/index.html>.
- Migliore, L. *Laser Materials Processing*. New York: Marcel Dekker, 1996.
- Olsen, C. *Wooden electric guitar* (online). 2011. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.waterjets.org/index.php?option=com_content&task=view&id=112&Itemid=31.
- Orbanić, H., in Junkar, M. *ALTERNATIVNE TEHNOLOGIJE. Lasersko rezanje* (online). 2010. (citirano 31. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://lab.fs.uni-lj.si/lat/AT/Lasersko%20rezanje%20materialov.pdf>.
- Otto, A. *Programiranje CNC strojev* (online). 2010. (citirano 20. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.visjales-mb.org/download/PROGRAMIRANJE_CNC_STROJEV.pdf.
- Palman, A. *Posodobitev tehnologije za krojenje bukovih desk in ugotovitev ekonomske upravičenosti investicije* (online). 2009. (citirano 1. 2. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_palman_andrej.pdf.
- Perme, T. *Robotizacija industrije* (online). 2006. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://irt3000.ecetera.net/P/PDF/IRT3000_st6_2006AI.pdf.
- Perme, T. *Gradniki za modeliranje in simulacijo avtomatiziranih procesov ter sistemov za sestavljanje* (online). 2009. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.irt3000.si/data/revije/AI_sklop.pdf.
- Powell, J. *CO₂ Laser Cutting*. London: Springer-Verlag, 1993.
- Prošek, M., et al. *Stroji za obdelavo lesa*. Ljubljana: Lesarska založba. 2001.
- Ratnasingam, J., et al. *The Implications Of Machining Defects In Wood Planing Operations* (online). 2008. (citirano 25. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.harnisch.com/win/files/pdf/108/implications_1011.pdf.
- Ready, J. F. *Industrial Applications of Lasers*, 2nd Edition. New York: Academic Press, 1997.
- Resnik, J. *Tehnološko-tehnično projektiranje proizvodnih procesov v lesarstvu*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 2000.
- Resnik, J. *Lepila in lepljenja lesa*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, 1989.
- Rozman, M. *Laser in uporaba* (online). 2001. (citirano 31. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://zvonko.fgg.uni-lj.si/seminarji/laser-uporaba/LASER3.htm>.
- Rudolf, U. *Analiza vpliva spremenljivih geometrijskih značilnosti obdelovalnega orodja na morfološke značilnosti obdelanih površin vlaknatega kompozita* (online). 2009. (citirano 23. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_rudolf_uros.pdf.
- SAHOS. *CNC Machining center* (online). 2011. (citirano 24. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.sahos.cz/>.

- Selbo, M. L. *Adhesive bonding of wood*. (online). 1975. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.woodcenter.org/docs/tb1512.pdf>.
- Seč, D. *Koloidi* (online). 2009. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2009_2010/1-sec_seminar_koloidi.pdf.
- SICK. *Inovative solutions for the wood industry* (online). 2011. (citirano 25. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.google.gr/search?hl=sl&rlz=1T4RNWN_slSI321SI321&q=SICK%20sensor%20wood&spell=1&sa=X.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST). Podporni paket za sistem ISO 9001 – *Nasveti in informacije o posodobitvah ISO 9001*. Ljubljana, 2008.
- SPANOLUX. *MDF manual* (online). 2011. (citirano 3. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.spanogroup.be/upload/docs/MDF-manual%20ENG%20LOW%20RES.pdf>.
- STŠ Koper. *Karbidne trdine* (online). 2010 (citirano 27. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www2.sts.si/arhiv/tehn/odrezovanje/42.htm>.
- Stewart, H. *How to reduce chipped grain* (online). 2007. (citirano 21. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.cabinetmakerfdm.com/1537.html>.
- Steen, W. M. *Laser Material Processing 3rd Edition*. London: Springer-Verlag, 2003.
- SWATY COMET. *Vitrified bonded grinding tools* (online). 2011. (citirano 3. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.swatycomet.com/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet_vitrified_ENG.pdf.
- ŠC NM. *Odrezovanje – gibanja pri odrezovanju* (online). 2010. (citirano 24. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/gibanja_pri_odrezavanju.html.
- ŠC NM. *Odrezovanje – rezalni material* (online). 2010. (citirano 27. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.sc-nm.com/e-gradivo/ODR/rezalni_materiali.html.
- THERMWOOD. *CNC Routers by Application* (online). 2011. (citirano 24. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.thermwood.com/>.
- Tratar, J. *Uporaba robota za izdelavo prostorskih površin* (online). 2010. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_tratar_janez.pdf.
- Ugovšek, A., in Šernek, M. *Naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les: Rastline in njihovi produkti* (online) 2010. (citirano 12. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/Naravni_materiali_za_izdelavo_sodobnih_lepil_za_les_-_Rastline_in_njihovi_produkti.pdf.
- Vidic, D. *Vpliv tehnoloških parametrov struženja na temperaturo rezila* (online). 2005. (citirano 28. 6. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_vidic_drago.pdf.
- Water jets. *Laminated materials*. (online). 2011. (citirano 27. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://www.waterjets.org/index.php?option=com_content&task=view&id=108&Itemid=31.

WEINIG. *QUALITATIV HOCHWERTIGE HOLZBEARBEITUNG MIT HOBEL UND KEHLAUTOMATEN* (online). 2010. (citirano 25. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://www.weinig.com/C1256F98005C541E/vwContentByKey/W26AYRZ8000LUNAEN>.

WEINIG. *Prospekt Unimat Serie E* (online). 2011. (citirano 21. 1. 2011). Dostopno na naslovu: [http://www.weinig.com/C1256FAF0043EEBF/vwContentByKey/W26DTHKK965ALPADE/\\$FILE/Prospekt_Unimat_Serie_E.pdf](http://www.weinig.com/C1256FAF0043EEBF/vwContentByKey/W26DTHKK965ALPADE/$FILE/Prospekt_Unimat_Serie_E.pdf).

Wikipedia. *Trdota po Vickersu* (online). 2010. (citirano 29. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://si.wikipedia.org/wiki/Trdota_po_Vickersu.

Wikipedia. *Trdota po Rockwellu* (online). 2010. (citirano 29. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://sl.wikipedia.org/wiki/Trdota_po_Rockwellu.

Wikipedia. *Sintranje* (online). 2010. (citirano 27. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Sintranje>.

Wikipedia. *Trdota* (online). 2010. (citirano 31. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Trdota>.

Wikipedia. *Trdnost* (online). 2010. (citirano 31. 12. 2010). Dostopno na naslovu: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Trdnost>.

Wikipedia. *Water jet cutter* (online). 2011. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://en.wikipedia.org/wiki/Water_jet_cutter.

Wikipedia. *Ogljikov-dioksidni laser* (online). 2011. (citirano 31. 1. 2011). Dostopno na naslovu: http://sl.wikipedia.org/wiki/Ogljikov-dioksidni_laser.

WPIF. *Panel Guide – Cutting and machining* (online). 2008. (citirano 17. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://www.wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/23_%20Section%204_4%20TRADA%20V3%2021_04.pdf.

XRez. *Video predstavitev rezanja z vodnim curkom* (online). 2011. (citirano 26. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.xrez.si/index.php?viewPage=111>.

Zamuda, B. *Kako deluje laser?* (online). 2011. (citirano 28. 1. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.kvarkadabra.net/vprasanja/teksti/laser.html>.

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 in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.