

# LĀZERA GRIEŠANAS PROCESA OPTIMIZĀCIJA ATKARĪBĀ NO ĀTRUMA UN JAUDAS

## LASER CUTTING PROCESS OPTIMISATION IN FUNCTION OF THE SPEED AND POWER

Author: **Sandris DUNCĀNS**, e-mail: [sduncans@inbox.lv](mailto:sduncans@inbox.lv), phone: +37129996922  
Scientific supervisor: **Lyubomir Lazov**, Dr.sc.ing., Prof., e-mail: [Lyubomir.Lazov@rta.lv](mailto:Lyubomir.Lazov@rta.lv)  
Rēzeknes Tehnoloģiju Akadēmija  
Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne

---

**Abstract.** *This article describes an experiment, which is basically the aim fix is possible with diode laser blue tone spectrum with his length and 5, 5W power 450nm, used for cutting plywood to 3, 48 mm in thickness. Before the experiment explored and found every possible literature (scientific articles, publications, producers of the discovery that scientists do not count as scientific articles and several books). Experiment created experimental stands on the existing compact home craftsmen to 600/2 Stepcraft CNC equipment with China produced in the diodes lasers with the power of 450nm 5, 5W module, measured outgoing power, doing experiment with cutting plywood, laser diodes program "optimum parameters and the method developed by diodes laser optimum for the location parameter.*

**Keywords:** *diode laser, plywood, cutting, optimization of laser parameters.*

---

### Ievads

CNC lāzera iekārta ir ļoti ērta un ļoti universāla iekārta. Ar to palīdzību ir iespējams apstrādāt tādus tradicionālos materiālus kā dzelzs, koks, plastmasas, stikls, akmens. Tik plānus un trauslus materiālus kā papīrs, audums, āda, gumija kurus jāapstrādāt īpaši akurāti. Daudzi pasaules uzņēmumi mūsdienās izmanto Dizaina izstrādājumu projektēšanai un mēbeļu izgatavošanai plaši pielieto CO2 lāzери, lai griezt koksnes materiālus augstā kvalitātē [1,2]. Literatūrā ļoti daudz rakstu, kuri apraksta par eksperimentiem ar CO2 lāzери metālu griešanu un nemetālu apstrādē. [4,5,6]

Par mazjaudas lāzериem (diodes lāzери) ļoti maz rakstu un veikto eksperimentu, kā arī maz pielieto praksē, kaut pasaulē plaši pielieto diodes lāzera moduli kā YAG lāzera pumpēšanas sistēmu kmpontes un plaši pielieto mērīšanas ierīcēs un citur tautsaimniecībā, pēdējie statistikas dati lieci par arvien plašāku diodes lāzери pielietošanu industrijā.[3]

Šajā rakstā tiek aprakstīts eksperiments, kura pamatā tiek izvirzīts mērķis noteikt ir iespējams, ar diodes lāzери zilā toņa spektrā ar viņa garumu 450nm un 5,5W jaudu, pielietot saplākšņa griešanai līdz 3,48mm biezumā.

Eksperimentam izveidots eksperimentālais stends uz esošā kompaktā mājas amatnieku Stepcraft 600/2 CNC iekārtas.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi uzdevumi:

- 1) izpētīt ar doto tēmu saistītu literatūru, tehnisko dokumentāciju, patentus, standartus;
- 2) izstrādāt eksperimentālo stendu pētījumu veikšanai;
- 3) veikt eksperimentus, lai noteiktu dotā lāzera optimālos griešanas parametrus-jaudu, frekvenci, impulsa platumu, lāzera stara pārvietošanās ātrumu, gājienu skaitu, defokusēšanas attālumu u.c.

### Materiāli un metodes

#### Lāzera diodes modulis stends

Lāzera diodes modulis sastāv no lāzera diodes galvas, kura samontētā no vairākām detaļām, lāzera diodes 450nm 5.5W, alumīnija korpuss, ventilators. Vadības bloks no pamatplates, uz kuras samontētas radio detaļas atbilstoši TTL prasībām un iebūvētas divu

kontakta ligzdas, lai pievadītu 12 V, kā arī trīs divu kontaktu ligzdas, lai izvadītu signālu skatīt parametrus (1.tabula).

1.tabula

**Lāzera diodes “YZJGDKJ” moduļa tehniskie parametri**

Lāzera modeļa nosaukums	YZJGDKJ
Lāzera tips	diode zilais tonis
Viļņa garums $\lambda$ [nm]	450
Lāzera jauda	5.5W
Darba strāva	12V (7 – 15V)
Dzesēšana	Piespiedu gaisa padeve (ventilators)
Datu apmaiņas savienojums	TTL
Lēcas (atvere) diametrs	5mm
Lāzera stara minimālais diametrs	0.5mm

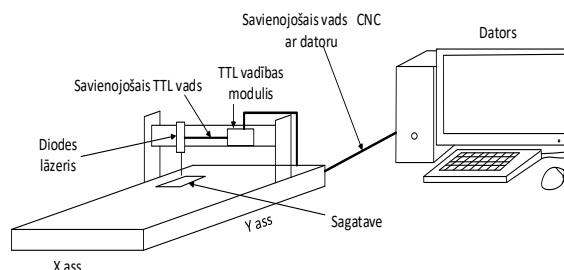
Mājamatnieku CNC iekārta STEPKRAFT-2/600 Mājamatnieku CNC (Computer numerical control, Ciparu Vadāmais Darbagalds) iekārta tiek izgatavota Vācijā, uz kura bāzes tiek veidots eksperimentālais stends parametri uzrādīti (2.tabula). [7]

2.tabula

**Mājamatnieku CNC iekārta STEPKRAFT-2/600 tehniskie dati**

Iekārtas nosaukums	STEPKRAFT-2/600
Stiprināšanas laukums ( X, Y)	312 x 500 mm
Pārvietošanās (X, Y, Z)	420 x 600 x 140 mm
Iekārtas izmēri (X,Y,Z)	570 x 730 x 510 mm
Atkārtotas pozicionēšanas kļūda	+/- 0,04 mm
Tehniskā iekārtas izšķirtspēja	0,005 mm
Pārvietošanās ātrums	3000 mm/min
Ieejošais spriegums	100-230 V~ 1.6 A 50-60Hz
Iekārtas darba spriegums	30V ---3A
Jauda	90 W
Datu savienojums	USB/UC100

Eksperimentālā stenda izveidei apvienoti trīs elementi mājamatniecības CNC iekārta, lāzera diode un dators. Lai viss darbotos kā viens kopīgs stends, pielāgoju programmas TTL un mājamatnieku CNC vadības programmu. Stenda shematiskais izkārtojums un katra elementa apraksts redzams 1.attēlā.



1.attēls. Eksperimentālā stenda shematiskais zīmējums

## Saplākšnis

Bērza saplākšņa raksturojums un tā mehānisko īpašību ietekmējošie faktori. Bērza saplākšnis ir salīmēts no 1,45 mm biezām bērza (*Betula sp.*) lobītā finiera loksnēm izmantojot fenola sveķu līmi. Šķiedru virziens blakus esošajām kārtām saplākšņa plātnē ir perpendikulārs. Attēls. 2 Finiera kārtu skaits var būt sākot ar 3 līdz pat 35 finieru kārtām. Lielāko daļu saplākšņa veido līme ar fenola formaldehīda sveķu līme. Bērza saplākšņa Rīga Ply mitrums ir robežās no 7% līdz 10% un blīvums svārstās no 650 līdz 750kgxm<sup>-3</sup> gaisa temperatūrā 20° C un relatīvā mitrumā 65%. [8]



2.attēls. Saplākšņa šķiedru kārtu virzieni [5]

### Saplākšnis, kas pielīmēts ar modificētu Mela mīna – karbamīda – formaldehīda sveķu bāzes līmi

Šāda līmēšana ir izturīga pret gaisa mitrumu vairāku gadu laikā. Tas ir izturīgs pret aukstu ūdeni, kā arī siltā ūdenī uz ierobežotu laiku. Tomēr tas neiztur testu verdoša ūdens. Līmēšana ir izturīga pret auksts ūdens, bet nav pretoties mikroorganismu ietekmei. Saplākšnis, kas ir piestiprināts ar šo metodi, ir paredzētas iekšējās lietojumprogrammas; tas ir piemērots turpmākai apstrādei.

Mela mīna – urīnvielas – formaldehīda sveķu bāzes līmēšana ir saskaņā ar: 1 klase saskaņā ar EN 314-1 un EN 314-2, IW 67 Tips saskaņā ar DIN 68705 1. daļu un H2 Tips (MR pirms) saskaņā ar BS 1203. Līmes stiprības indeksi katru dienu kontrolē laboratorijas ražošanas vietās. Testēšanas metodes, kontroles periodiskums un datu statistiskā apstrāde ir saskaņā ar EN 13986 noteiktajām prasībām.

Nodrošina periodiskus neatkarīgus secinājumus par stiprības atbilstības ielīmēšanu saskaņā ar BFU-100 prasībām Fraunhofer Wilhelm Klauditz Institut. Tas dod uzņēmumam tiesības atzīmēt fenola-formaldehīda saplākšni pamatojoties uz līmēšanu ar BFU-100 reģistru Vācijas tirgū. [5]

Atkarībā no izmantotās līmes veida, Krievijā saplākšni ražo šādās kategorijās: PŠŠ - saplākšnis ar paaugstinātu ūdens izturību, izmantojot fenola-formaldehīda līmes; (ФК –FK C) saplākšņa vidēja ūdens izturība, izmantojot urīnvielas-formaldehīda līmes paredzēts iekšdarbiem; (ФБА–FB fenola formaldehīda) saplākšņa vidēja ūdens izturība, izmantojot albumi no kazeīna līmes.[9]

### Eksperimenta metodika

Eksperimenta veikšanai tiek izmantots 25x100x3,48mm liels paraugs no finiera saplākšņa, sagatavotas 5 sagataves uz kurām veikti taisnas 15 mm gari līnijas griezumī. Eksperimenta veikšanai izvirzīti trīs daļas, kurās tiek noskaidrots ko iespējams veikt ar mazjaudas diodes lāzeri.

Pirmajā eksperimenta daļā veicu eksperimentu ar ātruma v noteikšanu, pie kādiem ātrumiem vislabāko rezultātu iespējams iegūt, ātrumi sastāda no 0.83 līdz 5,0mm/s

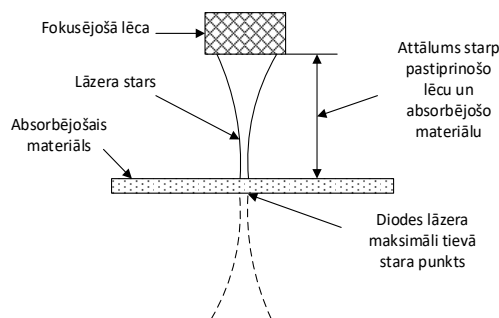
Otrajā eksperimenta daļa veicu eksperimentu ar jaudas  $q$ ,  $W/m^2$  noteikšanu, ar kādu jaudu vislabāk veikt griezumus un pie kuras jaudas vis kvalitatīvākais griezumus. Materiālu apstrādē vienādojums apraksta lāzera starojuma enerģētisko blīvumu. Pie pietiekami augsta enerģijas blīvuma lāzerus var izmantot, lai griezt lokšņu materiālus, metināt materiālus kopā, kausēt divus materiālus, veikt gravēšanas darbus utt.

$$q = \frac{P}{S} \frac{W}{cm^2}$$

$q$  – jaudas blīvums  $W/cm^2$ ;  $P$  – jauda,  $W$ ;  $S$  – laukums,  $cm^2$ ; [9]

### Eksperiments

Pēc vairākiem testiem uz 1,45mm bieziem un 5% mitriem paraugiem noskaidrojās maksimāli labākie divi attālumi, izveidojās divas kombinācijas, ar kurām iespējams maksimāli kvalitatīvi veikt griešanu (3.attēls).



3.attēls. Attāluma noteikšana un lāzera stara kalibrēšana

Arī noteicu, ar kādu ātrumu labāk veikt griešanu izvirzot piecus ātrumus, piecos eksperimenta paraugos noskaidroju kurš ātrums labākais kvalitatīvai griešanai.

Eksperimenta veikšanai izvirzīti trīs etapi, kuros tiek noskaidrots ko iespējams veikt ar mazjaudas diodes lāzeri.

Pirmajā etapā veicu parametru meklēšanu ar dažādiem attālumiem lēcas fokusēšanas un attālumu no lēcas līdz absorbējošajam materiālam, lai noskaidrotu ar kādu attālumu vislabāk veikt griešanas testus. Pēc vairākiem testiem uz 1,45mm bieziem un 5% mitriem paraugiem noskaidrojās maksimāli labākie divi attālumi, izveidojās divas kombinācijas, ar kurām iespējams maksimāli kvalitatīvi veikt griešanu (4.attēls).



4.attēls. Divu piemērotāko paraugu fotogrāfijas

Paraugā ar numuru 1. maksimāli labāko rezultātu ieguvu, uzstādot konstanto lēcas fokusa attālumu 8mm, un attālumu no lēcas līdz absorbējošam materiālam uzrādītajam B paraugs 65mm attēlā 4., kā parādīja mikroskopa uzņemtā foto lāzera stara griezuma platums sastādīja 0,245mm attēls 6. Šis griezumš neizgriezta 100% cauri 1,45mm biezu saplākšņa slāni, tikai daļēji atstājot vietām nepārgrieztas šķiedras attēls 4., paraugs 1. Lielākā daļa paraugu, ar kuriem

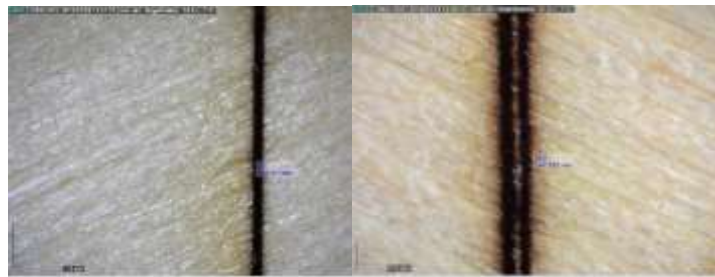
veicu eksperimentus lāzera griešanā uzrādīja līdz 1,2 mm platus griezumus un pavisam nedziļu iegriešanu parauga virsmā, tikai dažus mikronus no virskārtas.



5.attēls. Diodes lāzera griezums parauga mikroskopa fotogrāfija

Paraugam 1., attēla 4., attālums no lēcas līdz apstrādājamam materiālam 70mm, griezuma platums sastādīja 0,280mm, paraugam attālums no lēcas līdz apstrādājamajam materiālam izvēlēts 60mm, griezuma platums sastādīja 0,279mm, paraugam attālums no lēcas līdz apstrādājamajam materiālam izvēlēts 55mm, griezuma platums sastādīja 0,288mm paraugam attālums no lēcas līdz apstrādājamajam materiālam izvēlēts 50mm griezuma platums sastādīja 0,301mm 4. attēls.

Paraugā ar numuru 2. viskvalitatīvāko griezumu ieguvu ar otro attālumu kombināciju, uzstādot konstanto lēcas fokusa attālumu 7,5 mm, un attālumu no lēcas līdz apstrādājamajam materiālam 50mm, kā parādīja mikroskopa uzņemtā foto uzņēmuma lāzera stara griezuma platums sastādīja 0,179mm, bet šis griezums neizgriezta cauri 1,45mm biezu saplākšņa slāni (5.attēls).



6.attēls. Diodes lāzera griezums parauga mikroskopa fotogrāfija

Lielākā daļa paraugu, ar kuriem veicu eksperimentus lāzera griešanā uzrādīja līdz 1,2 mm platus griezumus un pavisam nedziļu iegriešanu parauga virsmā, tikai dažus mikronus no virskārtas. Otrajam paraugam lāzera griezuma parametri izveidojās apgrieztā secībā, tāpēc ka pamainījās lēcas fokusa attālums skatīt attēls 6. Attālums starp lēcu un absorbējamo virsmu palika tieši tāds pats, tagad parauga griezums sastādīja 0,302mm, parauga lāzera griezuma platums sastādīja 0,290 mm, parauga lāzera griezuma platums sastādīja 0,205 mm un parauga lāzera griezums sastādīja 0,190 mm.

Pārējie paraugu fotouzņēmumi nav iekļauti šajā aprakstā, šī daļa vairāk pirmais etaps pirms svarīgākā otrā etapa, kur tiek pētītas mazjaudas lāzera maksimālā jauda un iespējas griežot saplākšni 3.48 mm.

Otrajā etapā izvirzītais mērķis, noskaidrot ar cik reizēm iespējams caur griezt 3,48mm biezu saplākšni. Eksperimentam izvēlējies vienu no ražotāju saplākšņiem, izvēlējies krievijā ražoto saplākšni ar urīnvielas – formaldehīda līmi, paredzēts iekšdarbos, praktiski neizmanto ārā darbos. Lai būtu skaidrāks eksperimenta rezultāts jo katram ražotājam atšķiras pielietojamie izejmateriāli, kā arī izgatavošanas tehnoloģija (lobīšanas iekārta, līmēšanas prese siltā vai aukstā, līmēšanas tehnoloģijas precīza ievērošana).

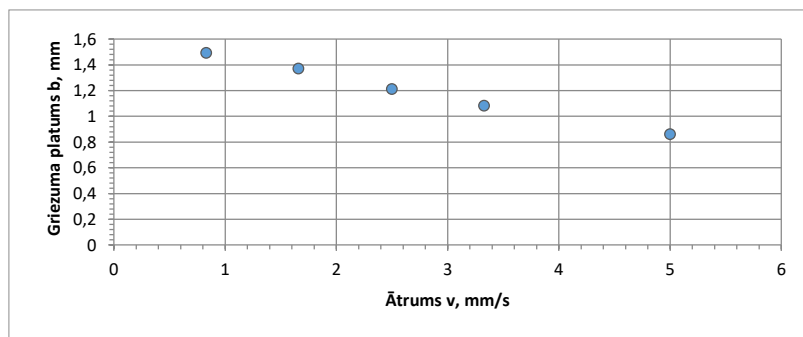
Griežot ar diodes lāzeri pie konstantās jaudas 3 vati mainot ātrumu un griežumu skaitu tika iegūti vairāki parametri, kuri ierakstīti tabulā 4., piemēram pie ātruma 0,83mm/s pēc 5 gājieniem caurgrieza saplākšni attēls 7. Mīnus tādai darbībai, izveidojas pastiprināta koknes apogļošanās, līdz ar to griezuma platums vidēji paplašinās līdz 1,45mm.

3.tabula

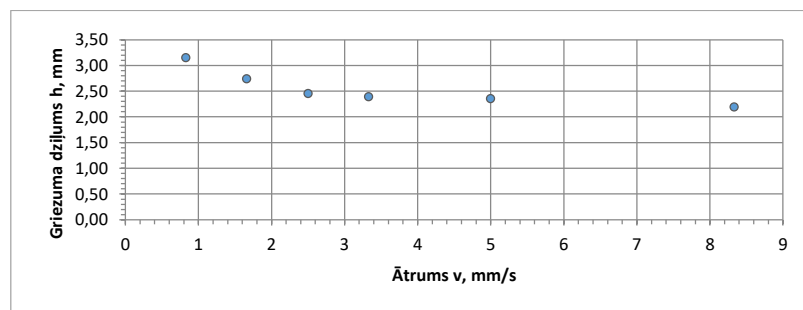
**Saplākšņa griezuma platums un dziļums pie noteiktiem ātrumiem**

Ātrums v, mm/s	Griezuma dziļums h, mm	Griezuma platums b, mm
0,83	3,48	1,45
1,67	2,74	1,37
2,50	2,45	1,21
3,33	2,39	1,08
4,17	2,35	0,86
5,00	2,19	0,63

Diodes lāzera pastāvīga impulsa iedarbības rezultātā notiek nepārtraukta materiāla apstrāde, lai samazinātu koknes degšanu, jāpiemeklē ātrums ar kuru vislabāk veikt lāzera griešanas procesu skatīties tabulā 4, kā arī grafikos 1 un 2. Pie lielāka ātruma 5 mm/s samazinās griezuma platums toties iespējamais griezuma dziļums arī samazinās, līdz ar to jāveic atkārtota griešana, ar programmas palīdzību iestādām CNC darbagaldu diodes lāzeri veic atkārtotu gājieni pāri tai pašai vietai.. Ņemot šos datus, tabulā 4. jaudas blīvums rāda, ka grafikā 1. Līkne virzās uz augšu samazonoties pārvietošanās ātrumam un grafikā 2. griezuma platuma līknes parāda, ka lāzera stara iedarbība uz vienu vietu padziļina griezumu.



Grafiks. 1. Lāzera diodes griema platums saplākšnī



Grafiks. 2. Lāzera diodes griema dziļums saplākšnī



7.attēls. Krievijas saplākšņa palielinātie griezumi

Jaudas blīvuma  $q$  ietekme uz koksnes virsmas labi atspoguļojas grafikos 3 un 4., kas tiek izteikta kā lāzera stara iedarbības ilgums vienā vietā. Lāzera stars pārvietojas pa noteiktu trajektoriju un ar noteiktu ātrumu, mazajudas diodes lāzери darbojas nepārtrauktā režīmā, līdz ar to lāzera jaudas blīvuma iedarbība uz  $1 \text{ mm}^2$  nepārtrauktā iedarbība intensīvāka. Jaudas blīvuma eksperimenta laikā pielietota konstants ātrums  $0.83 \text{ mm/s}$ , jauda mainījās no 1-5, W (jaudas blīvums  $q$  mainījās no  $3,5 - 21,20 \text{ W/m}^2$ ) tabulas 5,6.

4.tabula

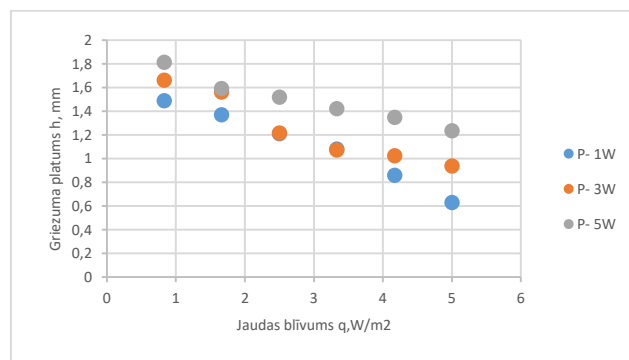
**Jaudas blīvuma  $\text{W/m}^2$  platums pie noteiktiem ātrumiem**

v,mm/s	0,83	1,66	2,5	3,33	4,17	5,00
P- 1W	1,49	1,37	1,21	1,08	0,86	0,63
P- 3W	1,662	1,562	1,215	1,073	1,024	0,936
P- 5W	1,812	1,592	1,518	1,421	1,347	1,234

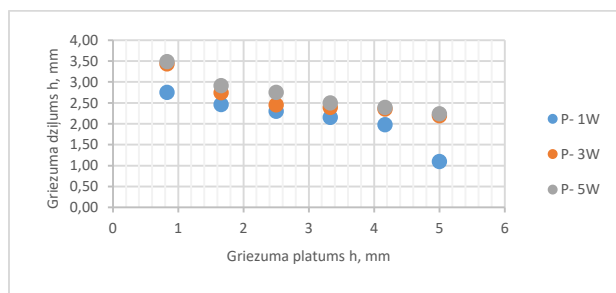
5.tabula

**Jaudas blīvuma  $\text{W/m}^2$  platums pie noteiktiem ātrumiem**

v,mm/s	0,83	1,66	2,5	3,33	4,17	5,00
P- 1W	2,75	2,46	2,30	2,15	1,98	1,10
P- 3W	3,43	2,74	2,45	2,39	2,35	2,19
P- 5W	3,48	2,91	2,75	2,50	2,39	2,24



Grafiks. 3. Lāzera diodes griezuma dziļums saplākšņī jaudas ietekmes rezultāta



**Grafiks. 4. Lāzera diodes griezuma dziļums saplāksnī jaudas ietekmes rezultāta**

Saplākšņa strukturālā uzbūve arī nosaka griezuma kvalitāti līdz un lāzera stara iedarbības īpašības, kā arī spēju caur griezt atšķirīgus materiālus koksni un līmi. Līmes slānis sastāda aptuveni 0.5  $\mu\text{m}$ , kā arī daļa līmes iesūcas koksnes virskārtā un koksnes struktūras uzbūve nosaka cik dziļi lāzera stars caur griezīs materiālu. Līdz ar to mazjaudas diodes lāzera jaudas blīvums nav tik spēcīgs lai caur griezt ar vienu piegājienu 3,48mm biezu saplāksni. Grafikos 3 un 4 redzams tikai visu datu apkopotais rezultāts, piemēram pie jaudas blīvuma 21.20  $\mu\text{m}^2$  un pie robežas 1,45 mm veikti 5 griezumi lai izgriezt vienu figūru.

### Kopsavilkums

Pamatojoties uz teorētiskajiem prognozes un eksperimentālajiem datiem rezultātiem tiek secināts, ka griešana ar mazu jaudu diožu lāzeri iespējams grīst koksnes materiālus.

Eksperimenta laikā noskaidrojās vairāki aspekti, kurus jāņem vērā izvēloties mazjaudas diodes lāzeri, lai pielietot materiālu griešanai. Ar 3 līdz 5 W juadīgiem lāzeriem nav iespējams ar vienu gājienu caurgriezt līdz 4mm biezu koksnes materiālu, kā arī saplāksni it īpaši Latvijas finiera saplāksni ar formoldehīda līmi salīmēto. Daudz arī atkarīgs kādu fokusēšanas lēcu pielieto lāzera diodes fokusēšanai un kādu jaudu izdod elektro vadības bloks (TTL signāla vadības modulis). Noskaidrojās arī vairāki citi aspekti, piemēram koksnes mitruma daudzums, paugstinoties mitrumam materiālā, samazinās lāzera griešana efektivitāte.

Tomēr mazjaudas lāzers labi der plānu materiālu griešanai, protams dažādu metālu materiālus nav iespējams griezt, bet nažfinieri iespējams diezgan veiksmīgi griezt un veidot marketri mozaiku un dažādus dizaina elementus no koksnes materiāla. Kvalitatīvai koksnes materiālu griešanai maksimālais biezums būs vislabākais biezums 2 mm, šādu biezumu maksimāli kvalitatīvi iespējams ar tadas jaudas diodes lāzeri griezt.

### Bibliogrāfija

1. <https://firstlaser.de/holz-lasern.html>
2. [https://www.sculpteo.com/media/ebook/Sculpteo\\_ultimate\\_guide\\_laser\\_cutting.pdf](https://www.sculpteo.com/media/ebook/Sculpteo_ultimate_guide_laser_cutting.pdf)
3. <https://www.lasertoday.com/2018/01/2017-laser-market-review/>
4. Bercke Ricketti Diode Laser Characteristics Heriot Watt University, School of Engineering and Physical Sciences, Edinburgh, UK, EH14 4AS bvr1@hw.ac.uk
5. [https://www.researchgate.net/publication/273694203\\_Diode\\_Laser\\_Characteristics](https://www.researchgate.net/publication/273694203_Diode_Laser_Characteristics)
6. G. Costa Rodrigues\*, M. Cuypers, E. Fallahi Sichani, K. Kellens, J.R. Duflou Laser cutting with direct diode laser. Lasers in Manufacturing Conference 2013 G. Costa Rodrigues et al. / Physics Procedia 41 (2013) 558 – 565
7. [https://www.researchgate.net/publication/270999605\\_Laser\\_Cutting\\_with\\_Direct\\_Diode\\_Laser](https://www.researchgate.net/publication/270999605_Laser_Cutting_with_Direct_Diode_Laser)
8. Bercke Ricketti Diode Laser Characteristics Heriot Watt University, School of Engineering and Physical Sciences, Edinburgh, UK, EH14 4AS bvr1@hw.ac.uk
9. [https://www.researchgate.net/publication/273694203\\_Diode\\_Laser\\_Characteristics](https://www.researchgate.net/publication/273694203_Diode_Laser_Characteristics)
10. <https://stepcraft.us/wp-content/uploads/2015/08/EN-Operating-Instructions-SC2-v2.pdf>
11. Jānis Ciems PLYWOOD HANDBOOK., Latvijas Finieris 2017 Latvia lpp., 14
12. [http://studbooks.net/588524/tovarovedenie/tehnologiya\\_proizvodstva\\_fanery](http://studbooks.net/588524/tovarovedenie/tehnologiya_proizvodstva_fanery)
13. Halliday, Resnick, and Walker, Fundamentals of physics: extended (Wiley, 2005).