

CO₂, OPTISKĀS ŠĶIEDRAS UN DIODES LĀZERU PARAMETRU OPTIMIZĀCIJA KORĶA MARKĒŠANAI UN GRIEŠANAI OPTIMIZATION OF CO₂, FIBER AND DIODE LASER PARAMETERS FOR MARKING AND CUTTING THE CORK

Autori: **Imants ADIJĀNS, Ieva KAŽMERE**, e-pasts: aston@inbox.lv, tālr.: +371
29913903, e-pasts: ievakazmere@inbox.lv, tālr.: +371 22466237

Zinātniskā darba vadītājs: **Lyubomir Lazov, Dr.sc.ing., prof.**, e-pasts:

Lyubomir.Lazov@rta.lv

Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija

Inženieru fakultāte

Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne, LV-4601

Abstract. Nowadays, lasers are trying to use as many different industries and processes as possible due to their characteristics. One of the main uses of lasers is the cutting and marking of materials. The most common laser processed materials is wood and metal. Cork is one of the safest and easiest materials to process with laser but compared to wood and metal it is more difficult to predict the end result due to this material non-homogeneity. This study is explored natural cork processing and set optimal parameters to get the best results for cutting and marking with lasers. The essence of the research is to prove that it is possible to get good results in cork laser treatment and that there is a prospect of future processing of cork and similar materials with laser devices. There was made 1260 measurements of laser processing on cork, data was collected and graphs plotted and analysis of collected data was made as well.

Keywords: CO₂ laser, cork laser processing, cutting and marking, diode laser, fiber laser.

Ievads

Liela uzmanība mūsdienās ir pievērsta lāzeru īpašībām un to pielietojanas iespējām. Lāzerus visbiežāk izmanto griešanas un gravēšanas procesos koka, metāla, papīra un auduma materiāliem. Korķa materiāla lāzerapstrādes pētījumi vēl ir tikai procesā un šobrīd šajā nozarē vēl ir daudz ko pētīt un analizēt. Tieši korķa uzbūve, tā nehomogenitāte un apdeguma veidošanās uz materiāla virsmas pagaidām ir tas, kas liedz korķi izmantot kā materiālu veiksmīgai lāzerapstrādei dažādās nozarēs un uzņēmumos. Korķa ķīmiskās un fizikālās īpašības ir svarīgas nosakot to, ar kādiem parametriem būtu vislabāk apstrādāt šo materiālu.

Korķim piemīt smalka slēgtu šūnu struktūra un tas ir izgatavots no korķa ozola mizas. Korķa daļiņas tiek saspīestas ar sveķu saistvielu. Šī saistvielas ir viegli uzliesmojošas, tādēļ materiāla gravēšanai un griešanai ar lāzeri ir nepieciešams ievērot piesardzību [1]. Veiktajā pētījumā kā materiāla marķēšanas un griešanas galvenie parametri ir griešanas ātrums un izejas jauda. Korķa materiāla marķēšanas procesos lāzera jaudai ir jābūt vidēji 5 reizes mazākai un griešanas ātrumam ir jābūt 4 reizes mazākam salīdzinot ar šo parametru vērtībām korķa griešanas gadījumā. Rezultātā korķa griešanas procesos var iegūt 6 reizes lielāku iegriezumu materiālā nekā ar korķa marķēšanu [2].

Korķi dažādās situācijās griezt un marķēt ir viegli, bet svarīgs ir arī korķa materiāla biezums un korķa kvalitāte [3]. Saliktu korķu īpašības var ietekmēt arī saistviela starp korķa daļiņām. Ja izolācijas korķis sastāv no daudz līmes vai citas saistvielas, tad korķa apstrāde ir grūtāka [4]. Lāzergriešanas procesos svarīgas ir materiālu termiskās īpašības. Termiskās īpašības var ietekmēt korķa ķīmiskais sastāvs, korķa vai katras korķa daļiņas blīvums, izmērs, saistviela (ja tā ir izmantota korķa izgatavošanā) starp korķa granulām. Ir dažādi pētījumi par korķa termiskām īpašībām, piemēram, Mounir et. al. ir pētījis korķa struktūru un to, vai saliktais korķis ar granulām kalpo kā efektīvs termiskais izolators [5].

Šobrīd ir maz pētījumu par korķa materiāla lāzerapstrādi. Hua Zhou B. et. al. savā pētījumā apskatījis nemetālu apstrādi ar CO₂ lāzeri, kurā tika izmantots 60W zemas jaudas CO₂ lāzers un pētīta dažādu nemetālisku materiālu (plastmasas, koka, skaidu plāksnes un gumijas)

griešana. Šie materiāli tika griezti ar dažādām lāzera jaudām un dažādiem materiāla lāzergriešanas ātrumiem. Tika secināts, ka CO₂ lāzers vislabāk ir piemērots plastmasas dēļu apstrādē. Plastmasai piemīt vislielākā lāzera staru absorbcija un griešanas kvalitāte ir ļoti laba. Gumijas apstrāde ar CO₂ lāzeri arī ir pieļaujama, ja iztvaicētie materiāli tiek aizvadīti prom, kā arī šī materiāla lāzergriešanas process rada daudz dūmu. Visu materiālu gadījumā, lāzera iegriezuma dziļums materiālā nemainās lineāri, palielinot lāzera griešanas jaudu. Palielinoties jaudai, palielinās arī griezuma dziļums [6].

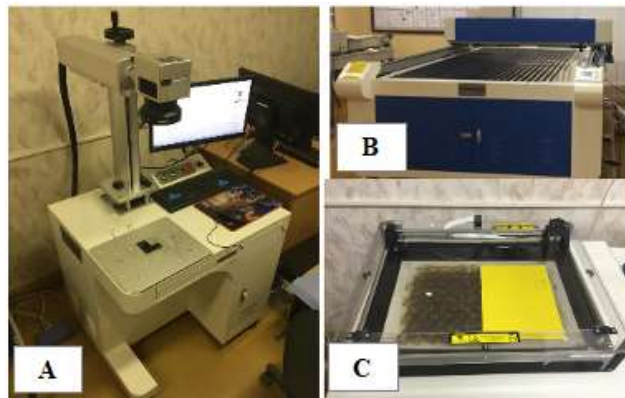
Šī pētījuma mērķis ir novērtēt un noteikt korķa griešanas un marķēšanas optimālākos parametrus CO₂, optiskās šķiedras un diodes lāzeriem. Pētāmo lāzeru parametri ir lāzera jauda un lāzera griešanas ātrums korķa materiālā. Veic lāzera griezumu dziļuma un platuma analīzi korķa materiālam, novērtē korķa fizikālās un ķīmiskās īpašības.

1. Aprīkojums, materiāli un metodes

1.1. Lāzeri

Šajā pētījumā tika izmantoti trīs dažādi lāzeri. CO₂ lāzersistēma CHANXAN CW-1325 darbojas nepārtraukta viļņa režīmā ar viļņa garumu 10600nm. Lāzersistēma CHANXAN CX-20G ar optiskās šķiedras lāzeri, kas darbojas impulsu režīmā ar viļņa garumu 1064nm. Diodes lāzersistēma EMBALASER A3 darbojas nepārtraukta viļņa režīmā ar viļņa garumu 445 nm. Lāzersistēmas CHANXAN CW-1325, CHANXAN CX-20G un EMBALASER A3 ir parādītas

1.attēlā, un šo lāzersistēmu parametri ir doti 1.tabulā. Visas trīs lāzersistēmas ir Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Fizikālo procesu un lāzertehnoloģiju pētnieciskajā centrā, un ar tām var strādāt jaudu diapazonā no 0W līdz 150W. Šajā darbā tika izmantotas jaudas no 0,3W līdz 35W. Šie trīs lāzeri atrodas dažādos elektromagnētisko viļņu diapazonos: CO₂ lāzers atrodas tālajā infrasarkanā viļņu diapazonā, optiskās šķiedras lāzers atrodas tuvajā infrasarkanā viļņu diapazonā, zilās diodes lāzers atrodas redzamās gaismas viļņu diapazonā (tuvu ultravioletā starojuma spektra daļai). Līdz ar to fotona enerģija $E = hv$ [J] ir atšķirīga minētajiem lāzeriem, kur $h=6,626 \times 10^{-34}$ J.s Planka konstante, un ν [Hz] frekvence. Vislielākā fotonu enerģija ir diožu lāzeram, tam seko optiskās šķiedras lāzers un vismazākā fotonu enerģija ir CO₂ lāzeram. No tā izriet tas, kā šie minētie lāzeri apstrādā materiālu.



1.att. (A) CHANXAN CX-20G optiskās šķiedras lāzers; (B) CHANXAN CW-1325 CO₂;
 (C) EMBALASER A3 diodes lāzers

1.tabula

Lāzersistēmu CHANXAN CW-1325, CHANXAN CX-20G un EMBALASER A3 tehniskie parametri

<i>Lāzersistēma</i>	<i>CHANXAN CW-1325</i>	<i>CHANXAN CX-20G</i>	<i>EMBALASER A3</i>
Lāzera tips	CO ₂ gāzes lāzers	Optiskās šķiedras lāzers	Diodes lāzers
Viļņa garums λ [nm]	10600	1064	445
Jauda P [W]	0-150	0-20	0-4
Skenēšanas ātrums [mm/s]	0-400	0-8000	1-100
Stara iedarbības zonas diametrs [μm]	~100	20	50
Marķēšanas laukums [mm]	2500x1300	300x300	410x285
Impulsu atkārtošanās frekvence [kHz]	-	20-200	-
Dzesēšanas sistēma	Ūdens dzesēšana	Gaiss	Gaiss
Palīgģāze	Gaiss	-	-

1.2. Materiāli

Korķis ir dabisks materiāls, kurš savu īpašību dēļ visbiežāk tiek izmantots vīna aizbāžņu ražošanai. Pilnus korķa gabalus lieto, piemēram, apavu, mēbeļu, iekštelpu apdares materiālu ražošanā. Tāpat korķi izmanto grīdas un sienas flīžu ražošanai, kas ir piemērotas akustiskai izolācijai. Granulēts korķis tiek izmantots siltumizolācijai [7]. Šajā pētījumā tika izmantota standarta presētā korķa plāksne ar biezumu 3mm. Korķa granulu izmēri 2-5mm. Presētā korķa plāksne ir gaiši brūnā krāsā. Gaiss aizņem 90% no korķa materiāla tilpuma, un veido aptuveni 50% no tā masas. Korķa siltumvadītspēja ir 0,037-0,040W/(mK), blīvums 240kg/m³ [8]. Korķa elektrovadītspēja 1,2x10⁻¹⁰S/m (25°C), specifiskais siltums 350Jkg⁻¹K⁻¹, akustiskā pretestība 1,2x10⁵kgm⁻²s⁻¹, termālā difūzija 1x10⁻⁶m²s⁻¹, un 4x10⁻¹⁰m²s⁻¹ ūdens difūzijas koeficients. Korķa ķīmiskajā sastāvā ir suberīns 45%, lignīns 21-27%, polisaharīdi (celuloze un hemiceluloze) 12-13%, ekstrakcijas 10-19%, pelni 1,2-5%, citi 0,8% [9].



2.att. Korķa plāksne ar lāzera marķējumu

1.3. Metodes

No standarta presētās korķa plāksnes, ar izmēriem 1000x500x3mm, tika izgriezts 21 paraugs, ar izmēriem 130x70x3mm. Paraugiem no vienas puses ar lāzeri tika uzmarķētas 10

paralēlas līnijas ar atšķirīgiem jaudas/ātruma parametriem. Līnijas garums 30mm, attālumi starp līnijām 10mm. Skenēšanas atkārtojumu skaits katrai līnijai ir 1 reize. Līnijas tika marķētas virzienā no plāksnes garenvirziena ass uz plāksnes ārmalu, paralēli plāksnes šķērsvirziena asij. Marķējot lāzera stars neapstājās pie plāksnes ārmas, bet turpināja kustību vēl 30mm aiz plāksnes robežām. Tādējādi izslēdzot dziļuma un platuma izmaiņas, kas varētu rasties atšķirīga lāzera stara skenēšanas ātruma dēļ līnijas vidus daļā un pie plāksnes ārējās malas. Viena no korķa plāksnēm parādīta 2.attēlā. Tika veikti 3 atsevišķi eksperimenti. Ar katru lāzeru ir sava darba metodika.

1.3.1. CO₂ lāzers

CO₂ lāzera mainīgais parametrs bija jauda P ar 4 konstantiem skenēšanas ātrumiem v 5mm/s, 10mm/s, 15mm/s un 20mm/s. Jaudas P vērtības mainījās robežās no 2W līdz 20W, ar soli 2W. Kā arī ar 5 konstantām jaudas P vērtībām 10W, 15W, 20W, 30W un 35W, mainīgais parametrs bija skenēšanas ātrums v, kas mainījās robežās no 10mm/s līdz 100mm/s, ar soli 10mm/s.

1.3.2. Optiskās šķiedras lāzers

Optiskās šķiedras lāzera impulsu atkārtotāns frekvence $f_p=30\text{kHz}$. Mainīgais parametrs bija jaudas regulēšanas koeficients kP. Pie 3 konstantiem skenēšanas ātrumiem v 10mm/s, 15mm/s un 20mm/s jaudas regulēšanas koeficients kP mainījās robežās no 10% līdz 100%, ar soli 10%. Kā arī ar 3 konstantām jaudas regulēšanas koeficienta kP vērtībām 40%, 70% un 100%, mainīgais parametrs bija skenēšanas ātrums v, kas mainījās robežās no 11mm/s līdz 20mm/s, ar soli 1mm/s.

1.3.3. Diodes lāzers

Diodes lāzera mainīgais parametrs bija jaudas regulēšanas koeficients kP. Pie 3 konstantiem skenēšanas ātrumiem v 10mm/s, 20mm/s un 30mm/s jaudas regulēšanas koeficients kP mainījās robežās no 10% līdz 100%, ar soli 10%. Kā arī ar 3 konstantām jaudas regulēšanas koeficienta kP vērtībām 60%, 80% un 100%, mainīgais parametrs bija skenēšanas ātrums v, kas mainījās robežās no 2mm/s līdz 20mm/s, ar soli 2mm/s.

1.4. Mērījumi

Mērījumi tika veikti katras līnijas vidus daļā 3 vietās vienādā attālumā no plāksnes ārmas, un tika aprēķinātas mērījumu vidējās aritmētiskās vērtības. Mērījumi netika veikti līnijas sākumpunktā, kurā lāzera stars uzsāk kustību un vēl nav sasniedzis uzdoto skenēšanas ātrumu, tādējādi izslēdzot nelineāro pārejas procesu ietekmi uz mērījumu rezultātiem. Marķējuma līniju platums b tika mērīts katrai līnijai attālumā 5mm, 15mm un 25mm no plāksnes ārējās malas. Marķējuma dziļuma h mērīšanai, plāksnes tika sagrieztas perpendikulāri marķējuma līnijām. Dziļuma h mērījumi tika veikti katrai lāzermarķējuma līnijai attālumā 5mm, 15mm un 25mm no plāksnes ārējās malas. Pirms eksperimentu uzsākšanas tika veikti lāzera jaudas mērījumi $P=P(kP)$. Lāzera jaudas mērīšanai tika izmantots jaudas mērītājs OPHIR F150A-BB-26 (3.attēls A). Jaudas mērītāja diapazons ir 0,05-150W un maksimālais vidējās jaudas blīvums ir $12\text{kW}/\text{cm}^2$. Marķējuma līniju platuma b un dziļuma h mērīšanai tika izmantots daudzfunkcionālais mikroskops ar regulējamu tāluma maiņu Dino-Lite Edge AM7115MZT (3.attēls B), kura izšķirtspēja tehniskajos parametros ir norādīta kā 5M pikseļi (2592x1944) un attēla pastiprinājums ir robežās 20x~220x. Mikroskopa precizitāte ir $\pm 0,001\text{mm}$.



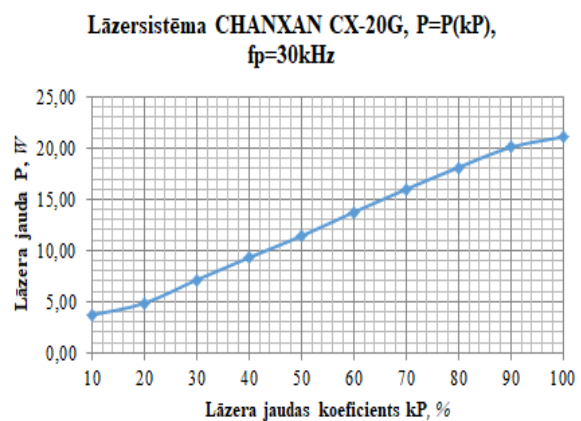
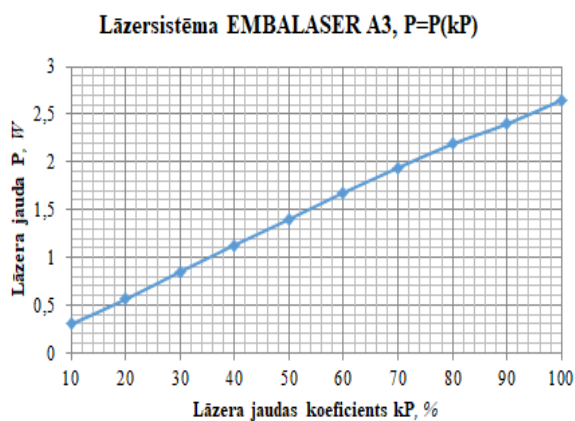
3.att. (A) Jaudas mērītājs OPHIR F150A-BB-26; (B) Daudzfunkcionālais mikroskops Dino-Lite Edge AM7115MZT

2. Rezultāti un to izvērtējums

Ekspērimētos tika mainīti divi lāzera parametri, lāzera jauda P un lāzera stara skenēšanas ātrums v . Tika pētīta CO_2 lāzera, optiskās šķiedras lāzera un diodes lāzera jaudas un skenēšanas ātruma ietekme uz marķējuma līnijas platumu d un dziļumu h .

2.1. Sagatavošanās pētījumam

Tika veikti diodes lāzera un optiskās šķiedras lāzera jaudas mērījumi. Tādējādi tika noteiktas dažādām jaudas regulēšanas koeficienta kP vērtībām atbilstošās jaudas vērtības P . Mērījumi veikti diapazonā $kP=10\%$ līdz $kP=100\%$, ar soli 10% . Diožu lāzeram izejas jauda ir robežās no $P=0,3\text{W}$ līdz $P=2,65\text{W}$, un optiskās šķiedras lāzeram robežās no $P=2,63\text{W}$ līdz $P=21,1\text{W}$. Lāzersistēmu CHANXAN CX-20G un EMBALASER A3 nomērītās izejas jaudas $P=P(kP)$ parādītas 4.attēlā. Tika veikti presētā korķa plāksnes biezuma mērījumi, un izrēķināts tās vidējais biezums. Vidējais korķa plāksnes biezums bija $3,253\text{mm}$.

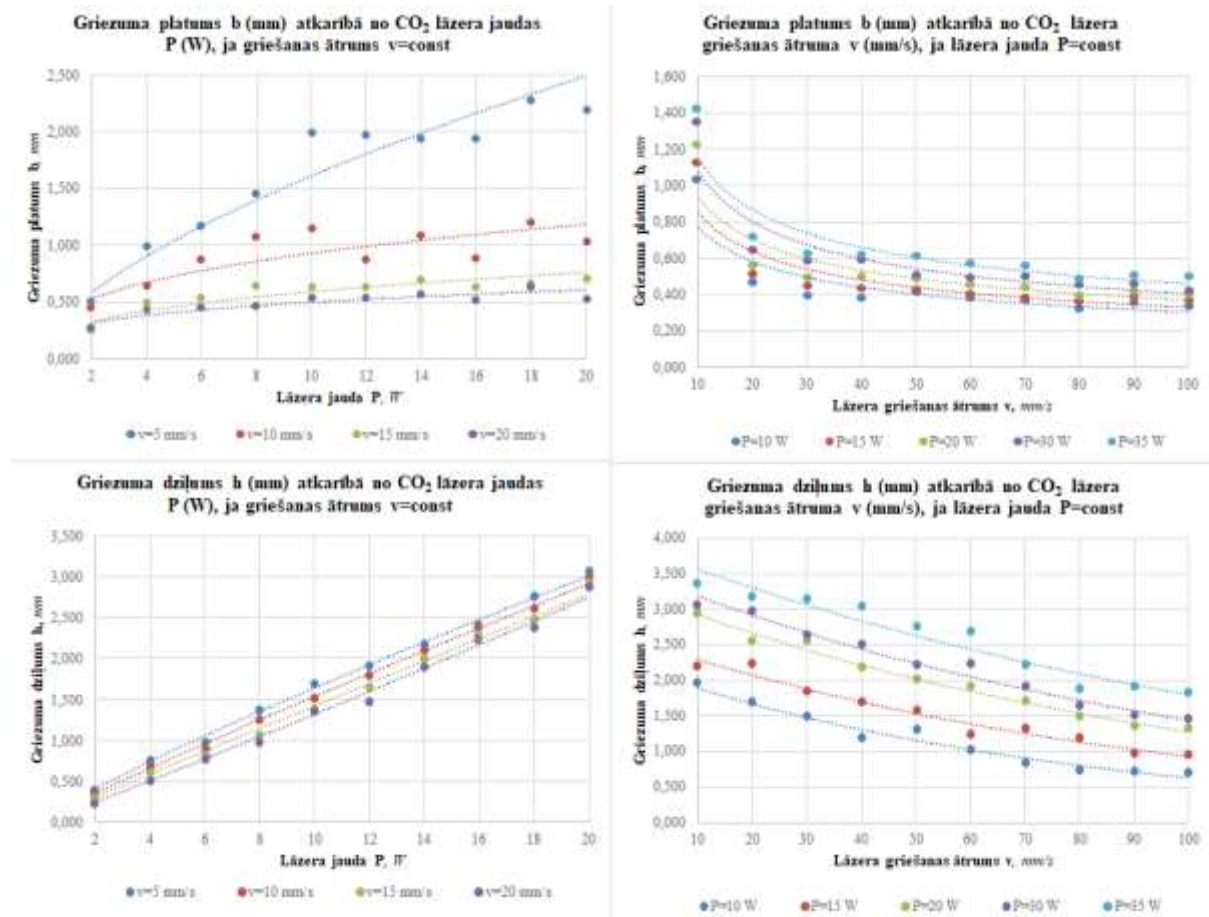


4.att. Lāzersistēmu CHANXAN CX-20G un EMBALASER A3 izejas jaudas

2.2. Pētījuma daļa

2.2.1. Marķēšana un griešana ar CO₂ lāzeri

5.attēlā redzamajos grafikos attēlots CO₂ lāzera uz korķa plāksnes uzmarķēto līniju platuma un dziļuma izmaiņas kā funkciju no jaudas un ātruma $b=b(P)$, $b=b(v)$ un $h=h(P)$, $h=h(v)$.



5.att. Līnijas platums b un dziļums h atkarībā no lāzera jaudas P un skenēšanas ātruma v , marķējot ar CO₂ lāzeru

Mainot P no 2W līdz 20W, marķējuma platums b , pie $v=5$ mm/s, mainās robežās no 0,502mm līdz 2,279mm, pie $v=10$ mm/s no 0,455mm līdz 1,212mm, pie $v=15$ mm/s no 0,262mm līdz 0,706mm, pie $v=20$ mm/s no 0,271mm līdz 0,632mm. Vislielākās b vērtības ir ātrumam $v=5$ mm/s, un vismazākās vērtības ātrumam $v=20$ mm/s. Mainot v no 10mm/s līdz 100mm/s, marķējuma platums b , pie $P=10$ W, mainās robežās no 1,032mm līdz 0,321mm, pie $P=15$ W no 1,129mm līdz 0,361mm, pie $P=20$ W no 1,224mm līdz 0,395mm, pie $P=30$ W no 1,35mm līdz 0,42mm, pie $P=35$ W no 1,426mm līdz 0,483mm. Vislielākās b vērtības ir pie jaudas $P=35$ W, un vismazākās vērtības pie jaudas $P=10$ W. Griezuma platuma ātruma samazinājums CO₂ lāzera jaudai $P=10-20$ W ir būtiski atšķirīgs salīdzinot ar lāzera jaudu $P=2-10$ W ($v=5$ mm/s, griezumuma platuma ātruma samazinājums ir 9,33x; $v=10$ mm/s, griezumuma platuma ātruma samazinājums ir 7,51x; $v=15$ mm/s, griezumuma platuma ātruma samazinājums ir 6,45x; $v=20$ mm/s, griezumuma platuma ātruma samazinājums ir 22,36x). Griezumu platumu b vidējās vērtības pie dažādiem CO₂ lāzera griešanas ātrumiem ir statistiski nozīmīgas ($p<0,05$, kur p -varbūtības vērtība, to izmanto nozīmības līmeņu pārbaudei), izņemot griezumuma platumu

b vidējās vērtības starp $v=15\text{mm/s}$ un $v=20\text{mm/s}$, kur to atšķirība nav statistiski nozīmīga. Visām $P=\text{const}$ vērtībām, mainoties v robežās no 20mm/s līdz 100mm/s , b vērtība samazinās nedaudz, un līkni var uzskatīt par taisnu. Pie $v=10\text{mm/s}$ visām P vērtībām b izteikti palielinās. Griezuma platuma ātruma samazinājums CO_2 lāzera griešanas ātruma robežās $10\text{-}20\text{mm/s}$ ir būtiski atšķirīgs salīdzinot ar griezuma platuma ātruma samazinājuma izmaiņu lāzera griešanas ātrumu robežās $20\text{-}100\text{mm/s}$ ($P=10\text{W}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $34,13\text{x}$; $P=15\text{W}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $33,63\text{x}$; $P=20\text{W}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $34,28\text{x}$; $P=30\text{W}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $25,13\text{x}$; $P=35\text{W}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $24,85\text{x}$). Atšķirība starp griezumu platumu b vidējām vērtībām pie dažādiem CO_2 lāzera griešanas ātrumiem v nav būtiska ($p>0,05$). Mainot P no 2W līdz 20W , marķējuma dziļums h , pie $v=5\text{mm/s}$, mainās robežās no $0,405\text{mm}$ līdz $3,071\text{mm}$, pie $v=10\text{mm/s}$ no $0,346\text{mm}$ līdz $3,01\text{mm}$, pie $v=15\text{mm/s}$ no $0,306\text{mm}$ līdz $2,937\text{mm}$, pie $v=20\text{mm/s}$ no $0,242\text{mm}$ līdz $2,886\text{mm}$. Vislielākās h vērtības ir ātrumam $v=5\text{mm/s}$, un vismazākās vērtības ātrumam $v=20\text{mm/s}$. Atšķirība griezumu dziļumu h vidējām vērtībām pie dažādiem CO_2 lāzera griešanas ātrumiem v nav būtiska ($p>0,05$). Mainot v no 10mm/s līdz 100mm/s , marķējuma dziļums h , pie $P=10\text{W}$, mainās robežās no $1,951\text{mm}$ līdz $0,697\text{mm}$, pie $P=15\text{W}$ no $2,236\text{mm}$ līdz $0,937\text{mm}$, pie $P=20\text{W}$ no $2,951\text{mm}$ līdz $1,312\text{mm}$, pie $P=30\text{W}$ no $3,063\text{mm}$ līdz $1,452\text{mm}$, pie $P=35\text{W}$ no $3,35\text{mm}$ līdz $1,816\text{mm}$. Vislielākās h vērtības ir pie jaudas $P=35\text{W}$, un vismazākās vērtības pie jaudas $P=10\text{W}$. CO_2 lāzera griezumu dziļumu h vidējās vērtības pie dažādām lāzera jaudām ir būtiski atšķirīgas ($p<0,05$), izņemot griezumu dziļumu vidējās vērtības starp $P=10\text{W}$ un $P=20\text{W}$, starp $P=20\text{W}$ un $P=30\text{W}$ un starp $P=30\text{W}$ un $P=35\text{W}$.

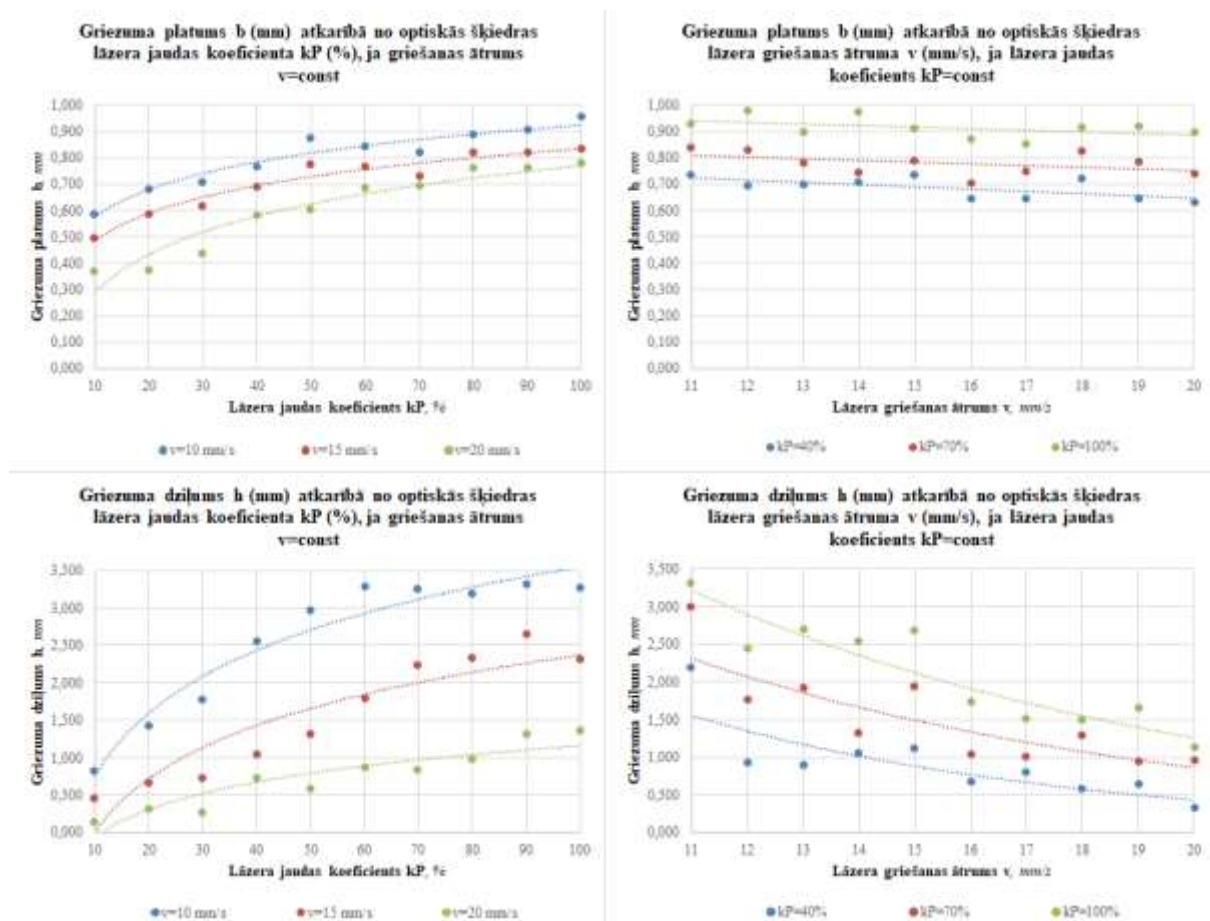
2.2.2. Marķēšana un griešana ar optiskās šķiedras lāzeri

6.attēlā redzami grafiki attēlo ar optiskās šķiedras lāzeri uz korķa plāksnes uzmarķēto līniju platuma un dziļuma izmaiņas atkarībā no lāzera jaudas regulēšanas koeficienta kP un skenēšanas ātruma v . Pie $v=\text{const}$, pieaugot kP , vērtība b pieaug. Pie $v=20\text{mm/s}$ un $kP=10\text{-}20\%$, marķējuma līnija vairs nav nepārtraukta, un ir ar vairākiem pārrāvumiem. Griezuma platuma b ātruma samazinājums lāzera jaudas koeficienta kP robežās $10\text{-}40\%$ ir būtiski atšķirīgs salīdzinot ar lāzera jaudas koeficientu kP robežās $40\text{-}100\%$ ($v=10\text{mm/s}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $1,94\text{x}$; $v=15\text{mm/s}$, griezuma platuma ātruma samazinājums ir $2,61\text{x}$; $v=20\text{mm/s}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $2,16\text{x}$). Griezumu platumu b vidējām vērtībām ir būtiska atšķirība pie $v=10\text{mm/s}$ un $v=20\text{mm/s}$ ($p<0,05$). Pie $kP=\text{const}$, pieaugot v , vērtība b nedaudz samazinās un līkni var uzskatīt par taisnu. Griezumu platumu b vidējās vērtības pie dažādām lāzera jaudām būtiski atšķiras ($p<0,05$), izņemot griezumu platumu b vidējās vērtības pie $kP=40\%$ un $kP=70\%$ nav būtiski atšķirīgas. Pie $v=\text{const}$, pieaugot kP , vērtība h pieaug. Griezuma platuma b ātruma pieaugums/samazinājums lāzera jaudas koeficienta kP robežās $10\text{-}40\%$ ir būtiski atšķirīgs salīdzinot ar lāzera jaudas koeficientu kP robežās $40\text{-}100\%$ ($v=10\text{mm/s}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $4,75\text{x}$; $v=15\text{mm/s}$, griezuma platuma b ātruma pieaugums ir $12,36\text{x}$; $v=20\text{mm/s}$, griezuma platuma b ātruma samazinājums ir $1,85\text{x}$). Griezumu dziļumu h vidējās vērtības pie dažādiem optiskās šķiedras lāzera griešanas ātrumiem v ir statistiski nozīmīgas ($p<0,05$). Atšķirība starp griezumu dziļumu h vidējām vērtībām pie dažādiem jaudas koeficientiem kP (40% , 70% , 100%) ir būtiska ($p<0,05$).

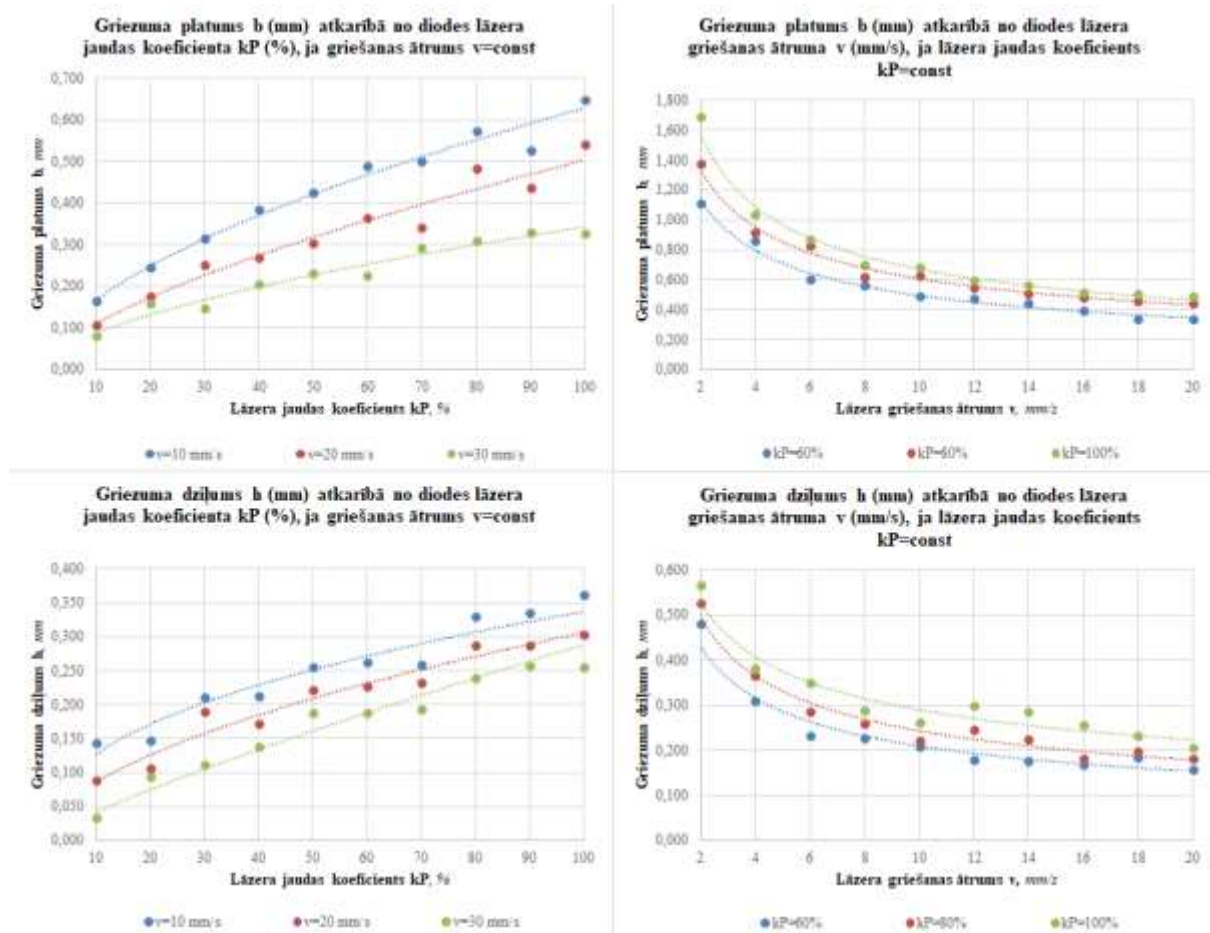
2.2.3. Marķēšana ar diodes lāzeri

7.attēlā redzami grafiki attēlo ar diodes lāzeru uz korķa plāksnes uzmarķēto līniju platuma un dziļuma izmaiņas atkarībā no lāzera jaudas regulēšanas koeficienta kP un skenēšanas ātruma v . Pie $v=\text{const}$, pieaugot kP , vērtība b pieaug. Ar parametriem $v=30\text{mm/s}$ un $kP=10\text{-}20\%$ marķētā līnija ir slikti saskatāma. Atšķirība starp $v=10\text{mm/s}$ un $v=30\text{mm/s}$ vidējiem

griezumu platumiem b ir būtiska ($p < 0,05$). Pie $kP = \text{const}$, pieaugot v , vērtība b samazinās. Griezuma platumā b ātruma samazinājums lāzera griešanas ātruma v robežās 6-20 mm/s ir būtiski atšķirīgs, salīdzinot ar lāzera griešanas ātrumu v robežās 2-6 mm/s ($kP = 60\%$, griezuma platumā b ātruma samazinājums ir 14,74x; $kP = 80\%$, griezuma platumā b ātruma samazinājums ir 20,08x; $kP = 100\%$, griezuma platumā b ātruma samazinājums ir 13,24x). Atšķirība vidējiem griezuma platumiem b pie dažādiem jaudas koeficientiem kP nav statistiski nozīmīga ($p > 0,05$). Pie $v = \text{const}$, pieaugot kP , marķējuma dziļums h pieaug. Vidējie griezuma dziļumi h pie dažādiem diodes lāzera griešanas ātrumiem v kopumā nav statistiski nozīmīgi ($p > 0,05$), taču vidējās griezuma dziļuma h vērtības starp $v = 10 \text{ mm/s}$ un $v = 30 \text{ mm/s}$ ir būtiski atšķirīgas. Pie $kP = \text{const}$, pieaugot v , marķējuma dziļums h samazinās. Griezuma dziļuma h ātruma samazinājums lāzera griešanas ātruma v robežās 6-20 mm/s ir būtiski atšķirīgs, salīdzinot ar lāzera griešanas ātrumu v robežās 2-6 mm/s ($kP = 60\%$, griezuma dziļuma h ātruma samazinājums ir 8,64x; $kP = 80\%$, griezuma dziļuma h ātruma samazinājums ir 12,46x; $kP = 100\%$, griezuma dziļuma h ātruma samazinājums ir 19,24x). Vidējie griezuma dziļumi h pie dažādiem lāzera jaudas koeficientiem kP nav statistiski nozīmīgi ($p > 0,05$), tas nozīmē, ka nav būtiska ietekme diodu lāzera jaudas koeficienta vērtībai kP uz korķa griezuma dziļumu h pie šīm vērtībām. Ar diodes lāzeri korķa plāksnīte netika pārgriezta ne pie kādām kP un v vērtībām. Maksimāli sasniegtais marķējuma dziļums ar diodes lāzeri ir 0,57 mm pie $kP = 100\%$ un $v = 2 \text{ mm/s}$.



6.att. Līnijas platums b un dziļums h atkarībā no lāzera jaudas regulēšanas koeficienta kP un griešanas ātruma v , marķējot ar optiskās šķiedras lāzeru



7.att. Līnijas platums b un dziļums h atkarībā no lāzera jaudas regulēšanas koeficienta kP un skenēšanas ātruma v , marķējot ar optiskās diodes lāzeru

3. Secinājumi

Darbā tika pētīta korķa lāzermarķēšana un lāzergriešana ar CO_2 , optiskās šķiedras un diodes lāzeriem.

1. Presētā korķa plāksne ir neviendabīgs materiāls, salīdzinot to ar metālu, plastmasu, koku vai papīru. Tas sastāv no dažāda izmēra granulām 2-5mm, kā arī var atšķirties atsevišķu korķa granulū blīvums. Korķa plāksnes griezumā zem mikroskopa ir redzami tukšumi ar diametru līdz ~1-1,5mm, kuri ir aizpildīti ar gaisu. Tas apgrūtina precīzu parametru piemeklēšanu lāzermarķēšanai un lāzergriešanai, jo marķējuma līnija var veidoties ar dažādu platumu un dziļumu.

2. Kad vidējais marķējuma dziļums pārsniedz 2-2,5mm, tad presētā korķa plāksnē esošo gaisa kabatu un atšķirīgu korķa granulū blīvumu dēļ, lāzera stars dažās vietās 3mm biezu korķa plāksni var pārgriezt. Tiek rekomendēts marķēšanas dziļumu izvēlēties līdz 2mm. Korķis ir arī samērā viegli uzliesmojošs materiāls, tāpēc apstrādājot korķi ar lāzeru ir nepieciešams ievērot piesardzību.

3. Ar CO_2 lāzeri iegūtie dati ir apkopoti tehnoloģiskajā tabulā, kas parādīta 8.attēlā. Lai iegūtu labu marķējuma kvalitāti, tiek rekomendēts nepārsniegt 2mm marķējuma dziļumu. Labai marķējuma kvalitātei tehnoloģiskajā tabulā atbilst lauciņi zaļajā krāsā. Mazs skenēšanas ātrums $v=5$ mm/s rada plašu apdeguma joslu ~0,5-1mm gar marķējuma līnijas abām malām, un marķējuma līnija vizuāli izskatās platāka un ar nelīdzenām malām. Kā arī pie maza skenēšanas ātruma $v=5-10$ mm/s, korķa materiāls var viegli uzliesmot. Korķa plāksnīte tika pilnībā

pārgriezta ar jaudas P un ātruma v parametriem, kas tehnoloģiskajā tabulā atbilst lauciņiem zilajā krāsā. Griežot korķi ar CO₂ lāzeri, vizuāli griezuma malas izskatās nelīdzenas un ar izteiktu melnu apdegumu.

CO ₂ lāzers:	Jauda P [W]												
	2	4	6	8	10	12	14	15	16	18	20	30	35
Ātrums v [mm/s]	5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	10	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	15	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	20	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	30												
	40												
	50												
	60												
	70												
	80												
	90												
100													

■	Kvalitatīvs marķējums, ar dziļumu $h \leq 2$ mm
■	Kvalitatīvs griezums
■	Dziļš marķējums $h > 2$ mm, iespējams daļējs griezums
■	Marķējums slikti redzams, vai ir ar pārrāvumiem
■	Pie dotajām vērtībām mērījumi netika veikti

8.att. Tehnoloģiskā tabula CO₂ lāzerim

4. Ar optiskās šķiedras lāzeri pie $v=20$ mm/s un $kP=10-20\%$ marķējuma līnijā parādās pārrāvumi. Pie vērtībām $v=10$ mm/s, $kP=60-100\%$, un $v=11$ mm/s, $kP=80-100\%$ presētā korķa plāksne tiek pilnībā pārgriezta. Griezuma un marķējuma līnijas ir šaurākas, līdzenākas, un gar to malām veidojas mazāks apdegums. Tādēļ korķa plāksnes griezums un marķējums ar optiskās šķiedras lāzeri vizuāli izskatās pievilcīgāks. Optiskās šķiedras lāzers tiek rekomendēts lai iegūtu korķa griezumu ar līdzenākām griezuma malām. Optiskās šķiedras lāzera tehnoloģiskā tabula ir dota 9.attēlā.

Optiskās šķiedras lāzers:	Jaudas regulēšanas koeficients kP [%]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ātrums v [mm/s]	10	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	11				■	■	■	■	■	■
	12				■	■	■	■	■	■
	13				■	■	■	■	■	■
	14				■	■	■	■	■	■
	15	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	16									
	17									
	18									
	19									
	20	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■	Kvalitatīvs marķējums, ar dziļumu $h \leq 2$ mm
■	Kvalitatīvs griezums
■	Dziļš marķējums $h > 2$ mm, iespējams daļējs griezums
■	Marķējums slikti redzams, vai ir ar pārrāvumiem
■	Pie dotajām vērtībām mērījumi netika veikti

9.att. Tehnoloģiskā tabula optiskās šķiedras lāzerim

5. Ar diodes lāzeri apmierinoša marķējuma kvalitāte tika iegūta gandrīz pie visām jaudas un skenēšanas ātruma vērtībām. Marķējuma dziļums ir robežās $h=0,098-0,570$ mm. Ar skenēšanas ātrumu $v=30$ mm/s un jaudas regulēšanas koeficientu $kP=10-20\%$, marķējuma līnija ir vāji izteikta. Pie visām pārējām v un kP vērtību kombinācijām marķējuma līnijas ir labi saskatāma

un ar mazu apdegumu. Ar diodes lāzeru neizdevās pārgriezt presētā korķa plāksni, tas ir izskaidrojams ar lāzera zemo maksimālo jaudu $P=2,7W$. Mazās jaudas dēļ, diožu lāzeri ir iespējams izmantot tikai marķēšanai. Maksimālais marķējuma dziļums ir $h=0,570mm$, kas tika sasniegts ar lāzera maksimālo jaudu $kP=100\%$ un minimālo skenēšanas ātrumu $v=2mm$. Diodes lāzera tehnoloģiskā tabula ir dota 10.attēlā.

Diodes lāzers		Jaudas regulēšanas koeficients: kP [%]									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ātrums v [mm/s]	2										
	4										
	6										
	8										
	10										
	12										
	14										
	16										
	18										
	20										
	30										

	Kvalitatīvs marķējums, ar dziļumu $h \leq 2$ mm
	Kvalitatīvs griezumš
	Dziļš marķējums $h > 2$ mm, iespējams daļējs griezumš
	Marķējums slikti redzams, vai ir ar pārrāvumiem
	Pie dotajām vērtībām mērījumi netika veikti

10.att. Tehnoloģiskā tabula diodes lāzerim

Pateicības

Autori pateicas Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Fizikālo procesu un lāzertechnoloģiju pētnieciskā centra darbiniekiem par palīdzību pētījuma veikšanā un noderīgu materiālu un padomu sniegšanā.

Literatūra

- Howells H. (2016). Embellishing, engraving materials using laser technology to create innovative surfaces for recycled and sustainable materials. Masters thesis, University of Huddersfield, p. 1-290.
- Material Settings Guide. Section 5-
http://www.engraversnetwork.com/files/MVX_Laser_Settings-Guide.pdf, sk.26.03.2018.
- Bates-Green, K., Howie, T. Materials for Laser Cutter Machines. MatEdU, Fab Lab Instructional Module -
http://www.materialseducation.org/educators/matedu-modules/docs/Laser_Cutter_Materials.pdf, sk.26.03.2018.
- Safe Materials-
http://fablabdevon.org/wp-content/uploads/2014/08/Laser_Safe_Materials1.pdf, sk.26.03.2018.
- Mounir S., Maaloufa Y., Cherki A., Khabbazi A. (2014). Thermal properties of the composite material clay/granular cork. Construction and Building Materials; 70, p. 183-190.
- Hua Zhou, B., Mahdavian, S. M. (2004). Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO₂-laser. Journal of Materials Processing Technology; 146, p. 188-192.
- Factbox: Key facts about cork and its use- <https://www.reuters.com/article/us-portugal-cork-facts/factbox-key-facts-about-cork-and-its-use-idUSTRE6103KA20100201>, sk.26.03.2018.
- Physical & mechanical cork material properties- <https://www.corkstore24.co.uk/properties-of-cork/>, sk.16.04.2018.
- Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F., Reis R. L. (2005). Cork: properties, capabilities and applications. International Materials Reviews; 50(6), p. 345-365.