

## LĀZERURBUMU KVALITĀTE DAŽĀDIEM MATERIĀLIEM ATKARĪBĀ NO LĀZERSTARA PARAMETRIEM LASER DRILLING QUALITY OF VARIOUS MATERIALS DEPENDING ON THE LASER BEAM PARAMETERS

Autori: **Jānis Fedotovs**, e-pasts: [janisfedotovs@inbox.lv](mailto:janisfedotovs@inbox.lv), +371 25937255,  
**Jānis Bartkevičs**, e-pasts: [bartkevics.janis@inbox.lv](mailto:bartkevics.janis@inbox.lv), +371 26114187,  
**Artūrs Āboliņš**, e-pasts: [artur.abolinsh@inbox.lv](mailto:artur.abolinsh@inbox.lv), +371 28367854;  
Zinātniskā darba vadītājs: **Pāvels Narica, Dr.phys., doc.**, e-pasts: [pavels.narica@rta.lv](mailto:pavels.narica@rta.lv), +371  
29273276;  
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne

---

**Abstract:** *This research describes Nd:Yag laserbeam drilling in different material types. Experimental part was used to predict the effect of laser drilling parameters including laser beam power and defocusing. In this research was used two material types- aluminium and ceramics.*

**Keywords:** Yag laser, laser beam, laserdrilling, aluminium, ceramics

---

### Ievads

Lāzerapstrāde var efektīvi aizvietot mehāniskās apstrādes metodes, it īpaši, ja tiek apstrādāti materiāli ar specifiskām īpašībām, kā: rūdītie metāli, ķeramika un kompozītmateriāli. Lāzerapstrādes tehnoloģiju plaši pielieto vairākās sfērās un industrijās, kā: pusvadītāju, elektronikas un mērinstrumentu ražošana, mašīnbūve, autoindustrija, medicīna, kosmiskās tehnoloģijas, komunikācija. Lāzerapstrāde ir termisks process, kura efektivitāte ir atkarīga no materiāla optiskām un termiskām īpašībām. Tāpēc, lāzerapstrāde ir derīga ļoti cietu vai trauslu materiālu apstrādei, kam var būt zema termiska vadītspēja [1].

Veicot materiāla apstrādi ar lāzera staru, tas spēj radīt dažāda izmēra urbumus. Lāzerurbšanas rezultātā lāzera stars kausē un iztvaiko materiālu. Iztvaikotais materiāls rada spiedienu, kas izspiež no urbuma izkausēto materiālu. Lāzerurbšanas procesā lāzera stars ar īsu impulsu un augstu enerģijas blīvumu īsā laika periodā iedarbojas uz materiāla mazu laukuma vienību ar lielu enerģijas daudzumu. Pateicoties tieši šim procesam materiāls kūst un iztvaiko, tāpēc sanāk, ka, pie lielas impulsa enerģijas, noteiktajā diapazonā, materiāls tiek izkausēts un iztvaikots.

Ir 3 galvenās lāzerurbšanas metodes, tās ir - urbšana ar vienu impulsu, riņķveida un spirālveida urbšana. Pētījumā tiek izmantota lāzerurbšana ar vienu impulsu. Vienā impulsā uz mazu laukuma vienību tiek pievadīts liels enerģijas daudzums, šādā veidā ir iespējams ātri izveidot lielu urbumu daudzumu ar augstu precizitāti un mazu urbumu diametru. Tomēr, lai izveidotu urbumus, katram materiālam ir nepieciešamas savādāks impulsa skaits, un mainoties impulsa skaitam, mainās arī urbuma kvalitāte un izmērs.

Problēma: Mainot materiālu un fokusa attālumu, nepieciešams dažāds impulsa skaits, lai izveidotu urbumu kā rezultātā mainās urbuma kvalitāte.

### Materiāli un metodes

Eksperimentā tiek izmantoti 1 mm biezi alumīnija un keramikas paraugi, šie materiāli ir īpaši ar to, ka tiem ir īpašas fizikālās īpašības. Alumīnijam ir augsta siltumvadītspēja, tādēļ tas ātri uzsilst un pārvada siltumu, tomēr tam ir augstas atstarošanas spējas, kas ir jāievēro veicot lāzerurbšanu. Šī īpašība padara šo procesu bīstamu, jo lāzera stars var tikt atstarots. Tāpēc alumīnijam ir jāpievada lielāks enerģijas daudzums, jo tas neabsorbē visu lāzera pievadīto enerģiju.

Savukārt keramikai ir sliktas siltuvadīšanas spējas, kā rezultātā urbuma izveidei jāpatērē lielāks enerģijas daudzums, jo enerģija tiek izkliedēta virsējā kārtā, tāpēc ir nepieciešams lielāks enerģijas daudzums, lai to pārvadītu dziļāk materiālā.

Ekspērimētā tika izmantots Nd:YAG LASAG LAK 400 lāzeris ar maksimālo impulsa jaudu 60W, kas paredzēts metāla metināšanai un lāzerurbšanai. Ekspērimētā tikai izmantoti konstanti lāzera parametri:

- Lāzera jauda 100% 16W;
- Impulsa ilgums 0.3ms
- Impulsa frekvence 5hz
- Pievadītā enerģija 3.2J

Ekspērimētā tika izmantotas 2 plāksnītes, viena keramikas, otra alumīnija, tās tika uzstādītas uz lāzera darba galda. Uz katras plāksnītes tika veikti lāzerurbumi mainot lāzera stara fokusa attālumu no -3 mm, ar soli viens milimetrs, līdz +3 mm no fokusa punkta. Tādā veidā tika izveidoti trīs urbumi, kā arī tika skaitīts, cik daudz impulsu nepieciešams, lai varētu izveidot urbumu.

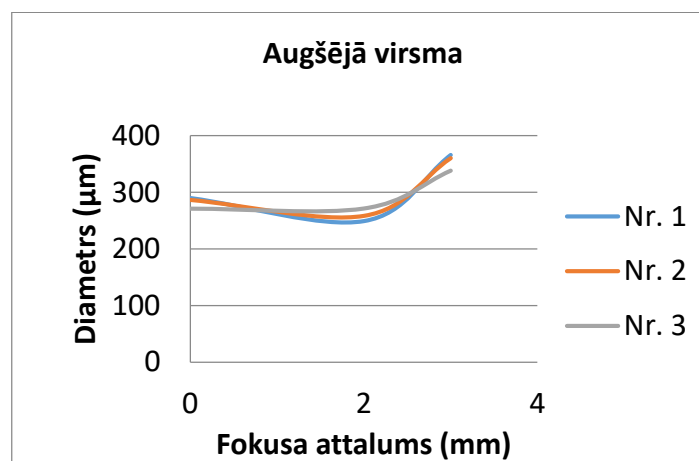
### Rezultāti un izvērtējums

1.tabulā ir redzami urbuma diametri atkarībā no fokusa attāluma, šie diametri tika mērīti alumīnija plāksnītes augšējā virsmā, kurā tika veikti impulsu šāviņi. To var redzēt 1.attēla attēlotajā grafikā.

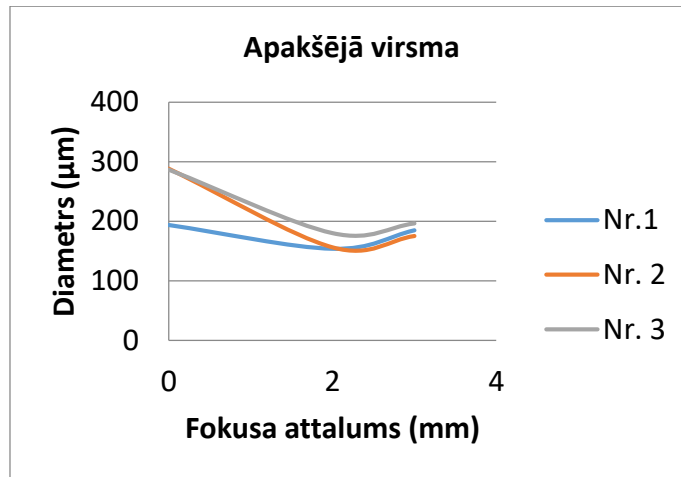
1. tabula

Alumīnija plāksnītes augšējā virsma

Augšējā virsma						
Nr. p. k.	-3	-2	0	2	3	Fokuss (mm)
1	-	-	289.62	248.88	365.63	Diametrs (µm)
2	-	-	286.45	258.17	360.27	
3	-	-	270.92	271.2	338.05	



1.attēls Al plāksnītes urbumu diametru atkarība no fokusa attāluma



2.attēls Al plāksnītes urbumu diametru atkarība no fokusa attāluma

2.tabulā ir redzami urbuma diametru atkarība no fokusa attāluma, šie diametri tika mērīti alumīnija plāksnītes apakšējā virsmā, kurā tika veikti impulsu šāvīņi. Kā redzams, tie ir mazāki nekā augšējā virsmā, jo augšējam slānim tik pievadīts lielāks enerģijas daudzums, kamēr impulss veidoja urbumu līdz apakšējam slānim, izveidojās konusveidīgs urbums. To var redzēt, ja salīdzina 1. un 2. attēlu. Tomēr, kad fokuss atradās virs materiāla, tam nepietika jaudas, lai izveidotu urbumu, tas tikai kausēja materiālu, bet caurejošs urbums netika izveidots.

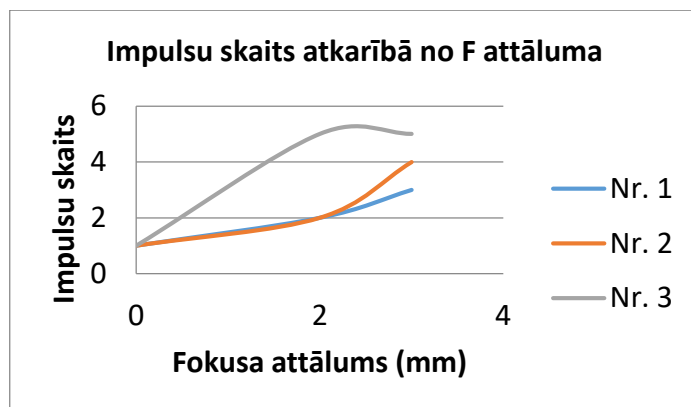
2.tabula

Alumīnija plāksnītes apakšējā virsma						
Apakšējā virsma						
Nr. p. k.	-3	-2	0	2	3	Fokuss (mm)
1	-	-	193.65	153.84	184.74	Diametrs (µm)
2	-	-	288.27	156.3	175.33	
3	-	-	286.93	179.93	196.32	

3.tabulā redzams, kā mainoties fokusa attālumam, mainās nepieciešamais impulsu skaits, lai izveidotu urbumu. Kā redzams, jo tuvāk fokusam, jo mazāks impulsu skaits. Izmaiņas atspoguļo grafiks 3.attēlā. Pie fokusa attāluma -3 un -2 mm urbumu izveidot neizdevās.

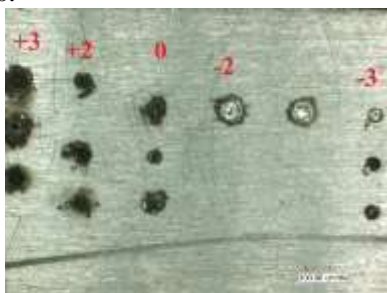
3.tabula

Impulsu skaits, lai izveidotu urbumu						
Nr. p. k.	-3	-2	0	2	3	Fokuss (mm)
1	-	-	1	2	3	Impulsu skaits
2	-	-	1	2	4	
3	-	-	1	5	5	

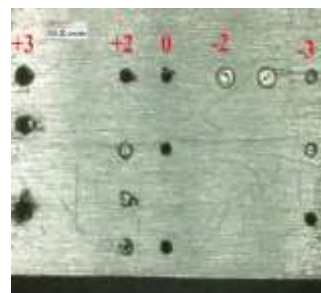


3.attēls Impulsu skaits atkarībā no fokusa attāluma

Kā redzams 4. un 5. attēlā, kvalitatīvākie urbumi ir tieši tur, kur atrodas fokusa punkts. Kad fokuss ir metālā (ar plus zīmi), uz metāla virsmas izveidojas apdegums, samazinot urbuma kvalitāti. Bet, kad fokuss ir virs virsmas, materiāls tiek vairāk kausēts, tas ir tāpēc, ka maksimālā jaudas intensitāte atrodas virs materiāla, nevis uz tā. Tieši tādēļ caurejošs urbums netika izveidojies.



4. attēls Al plāksnītes augšējā virsma



5. attēls Al plāksnītes apakšējā virsma

Attiecīgi, eksperiments tika atkārtots uz keramikas plāksnes. Kā redzams 4. un 5.tabulā, urbuma diametri plāksnītes apakšā ir daudz mazāki nekā augšējā virsmā. Tomēr, ja salīdzina attiecības, tad keramikas plāksnītes apakšējā diametra attiecība pret augšējo ir daudz lielāka, kas tiek izskaidrots tieši ar to, ka tai ir mazāka siltumvadītspēja.

4.tabula

**Keramikas plāksnītes augšējā virsma**

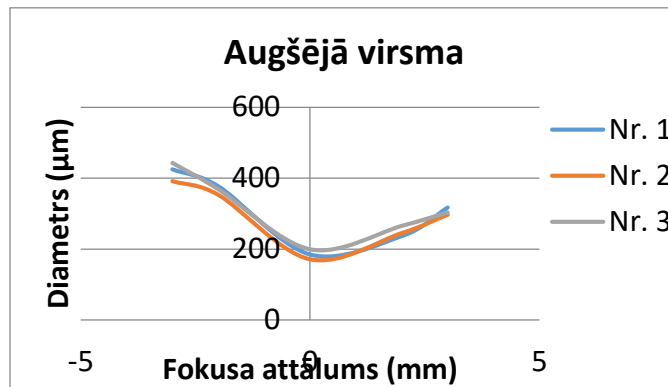
Augšējā virsma						
Nr. p. k.	-3	-2	0	2	3	Fokuss (mm)
1	425	376.97	184.38	236.57	316.98	Diametrs (µm)
2	391.2	352.64	171.07	245	296.75	
3	443.23	369.02	199.61	265.7	303.63	

5.tabula

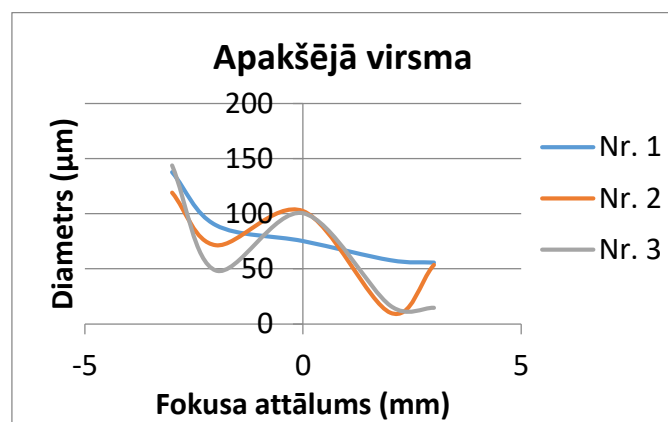
**Keramikas plāksnītes augšējā virsma**

Apakšējā virsma						
Nr. p. k.	-3	-2	0	2	3	Fokuss (mm)
1	137.66	89.66	75.18	57.85	55.68	Diametrs (µm)
2	119.07	71.43	102.39	10.25	53.57	
3	143.68	48.46	100.38	16.54	14.63	

6. un 7. attēlā var redzēt diametru izmaiņas atkarībā no fokusa attāluma.



6.attēls Keramikas plāksnītes urbumu diametri atkarībā no fokusa attāluma



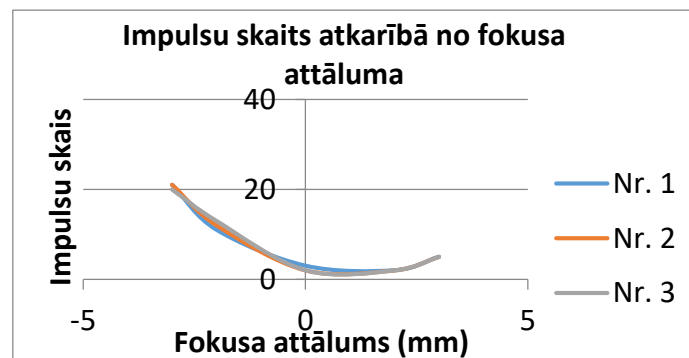
7.attēls Keramikas plāksnītes urbumu diametri atkarībā no fokusa attāluma

6. tabulā ir attēlots, cik impulsu nepieciešams, lai izveidotu urbumu, kas attēlots 7. attēla grafikā.

6.tabula

**Impulsu skaits atkarībā no fokusa**

Nr. p. k.	-3	-2	0	2	3	Fokuss (mm)
1	21	11	3	2	5	<b>Impulsu skaits</b>
2	21	12	2	2	5	
3	20	13	2	2	5	



7.attēls Impulsu skaits atkarībā no fokusa attāluma

### Secinājumi

Salīdzinot grafikus un iegūtos datus, var secināt, ka augstāka urbumu kvalitāte ir keramikas plāksnītei, urbumi tajā sanāk mazāki un ar augstāku kvalitāti. Tomēr, diametru atšķirība starp augšējo un apakšējo virsmu ir lielāka, respektīvi, urbums nav cilindrisks, bet konisks. Turpretim, alumīnija plāksnītē urbuma diametru attiecība nav tik ievērojama kā keramikas plāksnītē. Ja salīdzina keramikas un alumīnija plāksnītes, tad alumīnija plāksnītē nebija iespējams izveidot urbumus, kad fokuss bija virs materiāla, tomēr keramikas plāksnes gadījumā, tas bija iespējams. Galvenā īpatnība ir tāda, ka labākie rezultāti šim procesam ir, ja lāzera stara fokuss ir uz materiāla virsmas. Tieši tad tiek sasniegta visaugstākā kvalitāte pie mazāka impulsa skaita.

### Literatūra

1. E. Kacar, M. Mutlu, E. Akman, A. Demir, L. Candan, T. Canel, V. Gunay, T. Simmazcelik, Characterization of the drilling alumina ceramic using Nd:YAG pulsed laser, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issue 4, 19 Feb 2009, p. 2008-2014.
2. N. Nedialkov, M. Sawczak, R. Jendrzewski, P. Atanasov, M. Martin, G. Śliwiński, Analysis of surface and material modifications caused by laser drilling of AlN ceramics. Applied Surface Science, Volume 254, Issue 4, 15 Dec 2007, p. 893-897.
3. A. Stephen, High speed laser micro drilling for aerospace applications, Procedia CIRP 24, 2014, p. 130 – 133.
4. D. Ashkenasi, T. Kaszemeikat, N. Mueller, R. Dietrich, H. J. Eichler, G. Illing, Laser Trepanning for Industrial Applications. Physics Procedia, Volume 12, Part B, 2011, p. 323–331.