



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TÉZISFÜZETE

MESZLÉNYI GYÖRGY JÓZSEF

A nagy pontosságú lézeres vágás és fúrás technológiai és biztonságtechnikai elemzése

Témavezető: Prof. Dr. habil. Bitay Enikő Magdolna

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA**

Budapest, 2025 augusztus 27.

Tartalomjegyzék

1	Summary	3
2	A kutatás előzményei	4
3	Célkitűzések	4
4	Vizsgálati módszerek	6
5	Új tudományos eredmények.....	7
6	Az eredmények hasznosítási lehetősége	8
7	Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék	10
8	Publikációk.....	14
8.1	A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények.....	14
8.2	További tudományos közlemények (opcionális).....	15

1 Summary

The aim of my thesis is to investigate pulsed laser precision cutting and drilling, and to investigate the laser cutting to coronary stents.

I developed procedure and the necessary device for the controlled production of holes that can be created in different focus positions along the longitudinal axis of the laser beam. This can be used to examine the dependence of the diameters of holes made in pulsed mode on the focus position on various laser equipment. This is where the analysis of the regularity and errors of the holes created in different focus positions comes into play.

I developed a new method for the combined use of formulas that have never been published together in the field of pulsed laser cutting. The result is the unification of existing calculation algorithms from various formulas, the definition of a complete set of parameters necessary for production and its further development.

The formula for the focal spot diameter (d_{f0}) and the Rayleigh length (Z_R) must include the number of times the beam expander expands the beam diameter before the beam expander, so the formulas are modified.

I have defined a formula to calculate the energy per unit of removed volume removed from the workpiece for cutting stent fabrication tubes based on the upper width of the cross-section of the cut kerf, which is also the energy required to remove the material from the 1 mm long cut kerf, the result is obtained in J/mm^3 .

I developed a comprehensive evaluation system with the evaluation and systematization of laser cutting defects of stents weighted according to their effects on the functional safety of the stent. By summarizing the functional safety impact factors determined in this way, the quality of laser cutting of stents can be evaluated and qualified. This is how I defined the functional safety cutting quality, which is the sum of the functional safety impact factors, each of which consists of a technology-based failure value and a functional safety-based weight number. Here, it is not the weighting factors that are the thesis, they can change with the changes in technology and the processed material, but the evaluation system itself is new.

2 A kutatás előzményei

A fókuszált lézernyaláb fókuszfoltátmérője [40], [41], [42] szakirodalmak képleteit azonos alakra hozva az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tet adja, a képletből hiányzik a nyalábtágító hatása.

$$d_{f0} = \frac{4\lambda f M^2}{\pi d_b} \quad (1)$$

Itt λ a sugárzás hullámhossza, f : a fókuszálólencse fókusz távolsága, M^2 a nyalábminőségi tényező, d_0 a nyalábtágító előtti, közel kollimált lézernyaláb átmérője.

A Rayleigh-hossz a nyalábterjedés irányában a fókuszsíktól mért az a hossz, amely végén a lézerfolt területe duplájára, így a nyaláb radiusza gyök kettő szerezére nő, ezért a felületegységre jutó impulzusenergia a felére esik vissza a fókuszfoltban számíthatóhoz képest. Általában a Rayleigh-hossz kétszeresén belül tekintik fókuszban levőnek a nyalábot. A [40], [43], [44] szakirodalmak képleteit azonos alakra hozva a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** tet adja, a képletből hiányzik a nyalábtágító hatása.

$$Z_R = \frac{4\lambda M^2 f^2}{d_b^2 \pi} \quad (2)$$

A szakirodalomban található képlet szállézeres fókuszált nyalábjának, fókuszfoltátmérőjének megadására, melyben f a lézernyalábot a munkadarabra fókuszálólencse fókusz távolsága, d_f a nyalábtovábbító optikai szál magátmérője f_{coll} a nyalábot párhuzamosító kollimátorlencse fókusz távolsága: ezt összegzi a (.) képlet [42], [47], [48].

$$d_{f0} = \frac{d_f f}{f_{coll}} \quad (3)$$

Az (1), (2), (3) képlet együttes alkalmazása kulcsot ad a tudományos publikációkból hiányzó adatok meghatározására.

Az impulzusos üzemű lézeres vágás egyes beállítást és fontos működési paramétereit nem közlik teljeskörűen a publikációkban, ilyen például különböző mintázat szerint hiányzó adatok a [37], [38] [39], [50] [70], [71], [72], [73] publikációban az átlagteljesítmény, impulzus-átlagteljesítmény, két szomszédos impulzusnyom középpontja közötti távolság az anyagon, a munkadarab elmozdulása az impulzusidő alatt, impulzusenergia, a Rayleigh-hossz, melyeket meg szeretnék határozni.

Az 1 mm hosszú vágási rés anyagának eltávolításához szükséges energia kifejezésére nincs képlet a szakirodalomban sztentgyártási csövek vágását figyelembe véve.

Nincs átfogó értékelési rendszer a sztentek lézeres vágási hibáinak biztonságalapú értékelésére a tudományos publikációkban.

A lézernyaláb hossz tengelye mentén a különböző fókuszpozícióban egyimpulzusos fűrésszel létrehozható furatok szabályozott előállítására nem található eszköz a szakirodalomban.

3 Célkitűzések

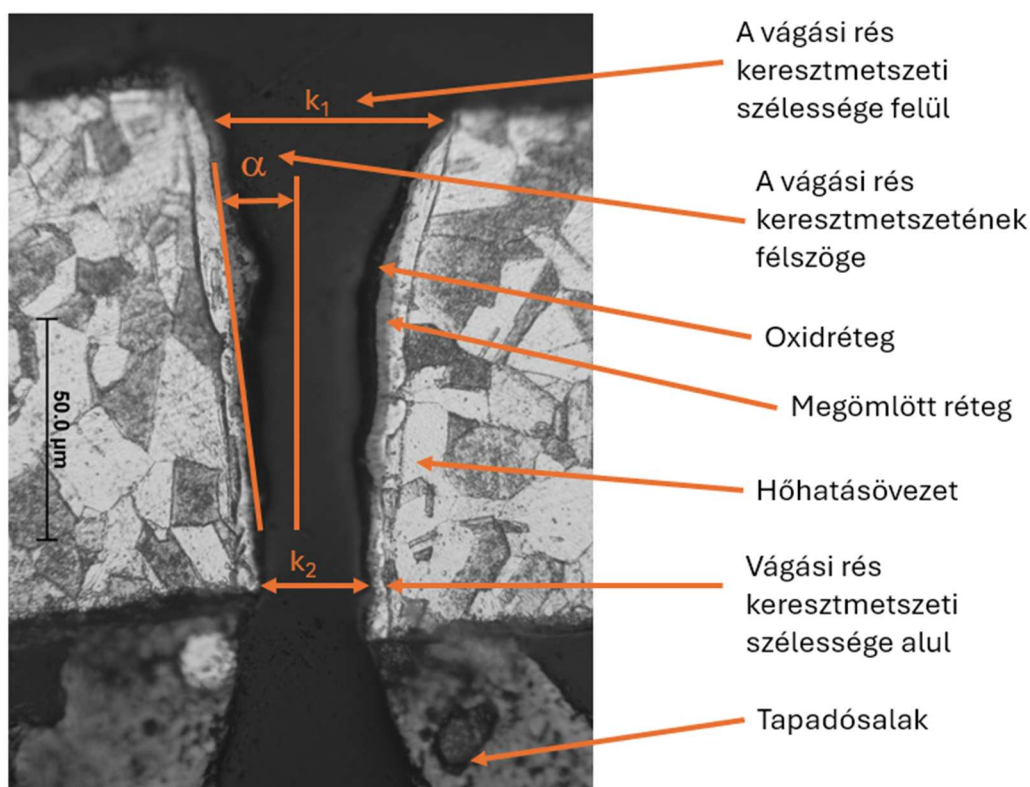
- A fókuszált lézernyaláb két legfontosabb jellemzőjének képletét szeretném elemezni, ezek a fókuszolt átmérő és a Rayleigh-hossz. A szakirodalomban szereplő képletek nem tartalmazzák a sokszor jelen lévő nyalábtágító hatását, melyet a rezonátor és a fókuszálólencse közé építenek be. A nyalábtágító szerepét leíró paramétert szeretnék beépíteni ezekbe a képletekbe.
- Az anyagmegmunkáló szállézerekre a tudományos publikációkban sokszor hiányosan közölnek adatokat. A nyalábvezető száltól a fókuszfoltig terjedő adatok meghatározási módszerét szeretném kidolgozni a szakirodalomban különböző helyen lévő képletek egyesítésével, így reprodukálhatóvá tehető a lézerrendszernek ez a része, a képletek egyes bemenő adatainak szerepe elemezhető.
- Az impulzusos üzemű lézeres vágás egyes beállításait és fontos működési paramétereit sokszor nem közlik teljesen rekonstruálható módon a szacikkekben. Ezek nem függetlenek egymástól, a szakirodalomban különböző helyen lévő képletek egyidejű figyelembevételével rekonstruálni szeretném a teljes technológiai paraméterhalmazt a kísérletek megismételhetősége és továbbfejlesztése érdekében.
- Az 1 mm hosszú vágási rés anyagának eltávolításához szükséges energia kifejezésére szeretnék képletet alkotni sztentgyártási csövek axiális vágását figyelembe véve. Ennek az ad jelentőséget, hogy ha túl nagy az egységnyi térfogatra jutó energia, akkor a megmunkált cső átellenes oldala hőkárosodást szenved, a hőkárosodás rontja a korrózióállóságot, ezzel a biztonságot is.
- Átfogó értékelési rendszert szeretnék kidolgozni a sztentek lézeres vágási hibáinak biztonság alapú értékelésére. Ez a sztentgyártás optimalizálására alkalmas biztonsági szempontrendszer kidolgozása. A vágás hiba funkcionális biztonságot érintő mértékének kiszámításához létre szeretnék hozni egy rangsorolási rendszert. Azt fogom bizonyítani, hogy minél kisebb a vágási hibák súlyozott összege, annál jobban garantálható a sztent funkcionális biztonsága az emberi szervezetbe való beépítés oldaláról nézve, tehát végső soron a technológia biztonságossá tétele a cél.
- A lézernyaláb hossz tengelye mentén a különböző fókuszpozícióban létrehozható furatok szabályozott előállítására eszközt szeretnék kifejleszteni. Ezzel meg lehet majd vizsgálni különböző lézerberendezéseken az impulzusos üzemmódban készített furatok átmérőinek fókuszpozíciótól való függését. A módszert ausztenites rozsdamentes acél, réz és ezüst anyagokon fogom vizsgálni, működőképességét igazolni kísérleti programok végrehajtásával és kiértékelésével. Itt a különböző fókuszpozícióban létrehozott furatok szabályosságának és hibáinak elemzése jön szóba.

4 Vizsgálati módszerek

Szakirodalmi képletek szintézisével és továbbfejlesztésével, egyes esetekben új képletek alkotásával foglalkoztam, céljaim:

- A fókuszfoltátmérő és a Rayleigh-hossz képletének továbbfejlesztése a nyalábtágító hatásának figyelembevételével.
- Az anyagmegmunkáló szállézeres nyalábjellemzőire a szakirodalomban különböző helyen lévő képletek együttes figyelembevétele, analizálása, hiányzó adatok kiszámolása.
- Az impulzusos üzemű lézeres vágás egyes beállításainak rekonstruálása a szakirodalomban különböző helyen lévő képletek egyidejű figyelembevételével.
- Az 1 mm hosszú vágási rés anyagának eltávolításához szükséges energia kifejezésére számítási módszert alkottam sztentgyártási csövek vágásának kísérletei eredményeit figyelembe véve. Itt az impulzusenergia, impulzusfrekvencia, a cső falvastagsága, a vágási rés szélessége a bemenő adatok.

Átfogó értékelési rendszert dolgoztam ki a lézeres sztentvágás hibáinak biztonságalapú számszerűsítésére. Ennek bemenő adatai közé tartozik a vágási rés keresztmetszeti metallográfiai képe (1. ábra), ezen alapul a különféle vágási hibák súlyozottan számszerűsített tényezőinek összege.



1. ábra

A vágási rés keresztmetszete 1,200 mm átmérőjű, 0,120 mm falvastagságú, 1.4306 anyagú rozsdamentes acél cső vágásakor

A lézernyaláb hossz tengelye mentén a különböző fókuszpozícióban létrehozható furatok szabályozott előállítására szinusz mechanizmus alapján tervezett eszközt fejlesztettem ki. Ezzel megvizsgáltam különböző lézerberendezéseken az impulzusos üzemmódban készített furatok átmérőinek fókuszpozíciótól való függését ausztenites rozsdamentes acél, réz és ezüst anyagokon.

Kísérleteket végeztem a kétféle lézerrendszeren sztentgyártási csövek vágására és a fent említett fóliák fúrására. A lézeres megmunkálási kísérletek után a próbadarabokról és azok metallográfiai csiszolatairól makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatokkal készült makro- és mikroszerkezeti képek elemzését és értékelését végeztem. A fókuszpozíció-furatátmérő függvények ábrázolására és polinomillesztésre a Microsoft Excel programot használtam.

A folyamatok és eredmények jobb megértéséhez ábrákat készítettem.

5 Új tudományos eredmények

1. tézis [MGY1] [MGY2] [MGY3]

A lézernyaláb hossz tengelye mentén a különböző fókuszpozícióban létrehozható furatok szabályozott előállítására egy kifejlesztettem egy eljárást, és elkészítettem az ehhez szükséges kísérleti eszközt. Ezzel az eljárással meg lehet vizsgálni különböző lézerberendezéseken az impulzusos üzemmódban készített furatok átmérőinek fókuszpozíciótól való függését.

2. tézis [MGY4] [MGY5] [MGY6]

Új számítási módszert dolgoztam ki olyan képletek együttes használatára, amelyeket soha nem publikáltak együtt a lézeres vágás terén. Az eredmény a különféle képletekben meglévő számítási algoritmusok egyesítésével, a megismételhetőséghez szükséges, teljes lézertechnológiai paraméterrendszer meghatározását teszi lehetővé.

3. tézis [MGY7] [MGY8]

A fókuszfoltátmérő (d_{f0}) és a Rayleigh-hossz (Z_R) képletébe be kell építeni azt, hogy a Galilei-teleszkóppal modellezhető nyalábtágító hányszorosára tágítja a nyalábot, mert a nyalábtágító előtti d_0 nyalábátmérő a nyalábtágítónak köszönhetően B_e -szeresére tágul, így a képletek az alábbiak szerint módosulnak:

$$d_{f0} = \frac{4\lambda f M^2}{\pi d_0 B_e}$$

$$Z_R = \frac{4\lambda M^2 f^2}{\pi d_0^2 B_e^2}$$

Itt λ a sugárzás hullámhossza, f : a fókuszálólencse fókusz távolsága, M^2 a nyalábminőségi tényező, d_0 a nyalábtágító előtti, közel kollimált lézernyaláb átmérője.

4. tézis [MGY6]

Definiáltam egy képletet a munkadarabból eltávolított, egységnyi eltávolított térfogatra jutó energia kiszámítására sztentgyártási csövek vágásánál a vágási rés keresztmetszetének felső szélessége alapján. Ez egyben az 1 mm hosszú vágási rés anyagának eltávolításához szükséges energia; az eredményt J/mm³-ban kapjuk.

$$E_v = \frac{E_i \text{ (mJ)} \cdot 1000 \text{ } \mu\text{m}}{D_{BT}(\mu\text{m}) \cdot 1 \text{ mm} \cdot a_v(\mu\text{m}) \cdot \left(\frac{k_1(\mu\text{m})}{1000}\right)}$$

Itt E_v az egységnyi eltávolított térfogatra jutó energia, más értelmezésben az 1 mm hosszú vágási rés anyagának eltávolításához szükséges energia. E_i egy impulzus energiája, D_{BT} két szomszédos impulzusnyom középpontja közötti távolság az anyagon, a_v az anyagvastagság, k_1 a vágási rés szélessége fent.

5. tézis [MGY6]

Kidolgoztam egy átfogó értékelési rendszert a sztentek lézeres vágási hibáinak a sztent funkcionális biztonságára gyakorolt hatásaik erőssége szerint súlyozott értékelésével és rendszerezésével. Az így meghatározott funkcionális biztonsági hatástényezőknek az összegzésével értékelhető és minősíthető a sztentek lézeres vágásának minősége. Így definiáltam a funkcionális biztonsági vágásminőséget, amely a funkcionális biztonsági hatástényezők összege, amelyek mindegyike pedig áll egy darab, technológiai alapú hibaértékszámából és egy darab, funkcióbiztonsági alapú súlyszámból. Az általam alkalmazott súlyozási faktorok változtathatók a technológiai feltételek és a megmunkált anyag sajátosságai alapján.

6 Az eredmények hasznosítási lehetősége

Véleményem szerint a tudományos munka hasznosulásának egyik fontos aspektusa a hivatkozások: mások hogyan használták fel az általam publikált eredményeket. Közleményeimre 17 független hivatkozást kaptam, ebből 2 Angliában megjelent PhD-értekezés [46],[79].

A koszorúér tágító sztentekre vonatkozó kutatásaimnak fontos szempontja a folyamat beágyazás: a lézerrel kivágott, elektropolírozással / maratással lekerekített, oxidrétegtől megszabadított sztentet, mint eszközt hogyan használják? Először az érbe bevezetett ballonkatéterre zsugorítják, hogy kis méret miatt könnyebben lehessen bevezetni, ezt hívják krimpelésnek. Majd az elzáródott koszorúérbe vezetve a ballont élettani sóoldattal feltágítva a sztent maradó alakváltozással kitágul. A ballonkatétert leeresztve, kihúzva az érrendszerből eredeti átmérő közelében megmarad a sztent által feltágított érszakasz, így az eredetileg elzáródott ér újra szabad lesz, és az általa ellátott szív rész nem hal el. Ebbe a folyamatba beágyazva vizsgálható a sztent gyártásának és a szervezetbe ültetés biztonságának összefüggésrendszere. Orvosszakmai oldalról az a követelmény a sztenttel kapcsolatban, hogy a beépítés és az ér beépítést követő kitámasztása során jól ellássa funkcióját.

Az általam definiált egységnyi térfogatra jutó energia minimalizálásával el lehet érni, a megmunkált cső átellenes oldala ne szenvedje hőkárosodást. A hőkárosodás rontja a korrózióállóságot. Itt tekintetbe kell venni, hogy a vér nem Ph-semleges, hanem enyhén lúgos, 0,4% NaCl-

ot tartalmaz, korrózió esetén a sztent jobban irritálja az eret a beépítés helyén, és gyengébb is lesz.

A lézeres sztentvágás funkcionális biztonságot érintő hibáinak számszerűsítésére kidolgoztam a funkcionális biztonsági vágásminőséget eredményező rangsorolási rendszert. Minél kisebb a funkcionális biztonsági vágásminőség, annál jobban garantálható a sztent biztonsága az emberi szervezetbe való beépítés oldaláról nézve, tehát végső soron a technológia biztonságossá tétele a cél. Ez a sztent mechanikai megfelelése és bio- / hemokompatibilitási funkció betöltése. Az a lényege a funkcionális biztonság, hogy ha a lézerrel vágott sztenten meg is jelennek vágási hibák, az utómegmunkálással annyira kell eltüntetni, vagy mérsékelni azokat, hogy az emberi szervezetbe beültetett sztent emiatt ne okozzon problémát. Úgy kell meghatározni a sztent bordaméretét, hogy az utómegmunkálás után adódjon ki a funkció biztonságos ellátásához megfelelő méret, ne alakuljon ki sztent bordatörés.

Ha más anyagból vágják a fémből készült sztentet, vagy változnak a lézeres vágás technológiai jellemzői (pl. ultrarövid impulzus használatánál nincs hőhatásövezet, a vágott csőbe vezetett víz [72] által kevesebb a salak és a cső lézeres nyalábbelépéssel szemközti oldalán nincs hőkárosodás) akkor a súlyfaktorok és a szempontrendszer továbbfejleszthető adaptálható az új anyaghoz és technológiához.

A lézernyaláb hossz tengelye mentén a különböző fókuszpozícióban létrehozható furatok szabályozott előállítására általam kifejlesztett egy kísérleti eszközzel egy lépésben létre lehet hozni egy furatsorozatot. Ezzel az egyimpulzusos fúrás furatátmérőjének fókuszpozíció függése vizsgálható. A módszer más anyagokra is alkalmazható, én rozsdamentes acél, réz és ezüsthóliára alkalmaztam.

Új módszert dolgoztam ki olyan képletek együttes használatára, amelyeket soha nem publikáltak együtt. Az eredmény a különféle képletekből meglévő számítási algoritmusok egyesítése, teljes paraméterrendszer meghatározása. a tudományos publikációkban hiányos technológiai és nyalábjellemző adatok meghatározása impulzusos üzemi lézeres vágás esetén. Tehát egy hiányos gyártási paraméterhalmaz kiegészítése Ezt a módszert tovább lehet fejleszteni más lézerek és más lézeres technológiák felé.

A fókuszfoltátmérő (d_{f0}) és a Rayleigh-hossz (Z_R) képletébe beépítettem azt, hogy a Galilei teleszkóppal modellezhető nyalábtágító hányszorosára tágítja a nyalábot, mert a nyalábtágító előtti d_0 nyalábátmérő a nyalábtágítónak köszönhetően B_e -szeresére tágul, így a képletek az általam ajánlottak szerint módosulnak. Az új képletekből rögtön kiszámolható, hogy a nyalábtágító hogyan változtatja meg a fókuszfoltátmérőt és a Rayleigh-hosszat, aminek technológiai haszna van, például vékony cső, sztent alapanyag vágásakor tágítva a nyalábot csökken a fókuszfoltátmérő, ezzel csökken a vágási rés, a nagyobb energiakonzentráció miatt gyorsabban lehet vágni. A Rayleigh-hossz is lecsökken, így a szemközti csőfalon jobban szétterül a nyaláb, a szemközti csőfalat kisebb hőkárosodás éri.

7 Hivatkozásjegyzék

- [1] MSZ EN 60825-1:2015 Lézergyártmányok sugárbiztonsági előírásai. 1. rész: Készülékosztályozás és követelmények
- [2] 22/2010. (V. 7.) EüM rendelet a munkavállalókat érő mesterséges optikai sugárzás expozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről Hatályos: 2023. 01. 01 2010.
- [3] Laser stencil https://www.pcbgogo.com/knowledge-center/Laser_Stencil.html (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [4] Laser resistor trimming system. <https://laserod.com/capabilities/laser-resistor-trimming/> (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [5] F. Ready. LIA Handbook of Laser Materials Processing. Laser Institute of America; 2001. ISBN 0-912035-15-3 pp. 96-512
- [6] Stournaras A, Salonitis K, Chryssolouris G. Optical emissions for monitoring of the percussion laser drilling process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2010;46: pp. 589–603. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2111-y>.
- [7] Buza G. Lézersugaras technológiák II. Edutus Főiskola; 2012., p. 78.
- [8] Micro-hole-drilling <https://www.potomac-laser.com/services/micro-hole-drilling/> (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [9] Buza G. Lézersugaras technológiák I. Edutus; 2012., pp. 3-65.
- [10] Hopp B, Al E. 3.1. A lézerfény főbb jellemzői | Lézerek az orvostudományban [http://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/Lézerek az orvostudományban/31_a_lazerfny_fbb_jellemzi.html](http://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/Lezerek_az_orvostudomanyban/31_a_lazerfny_fbb_jellemzi.html) (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [11] MSZ EN ISO 11553-1:2020/A11:2021 Gépek biztonsága. Lézeres megmunkálógépek. 1. rész: Lézerbiztonsági követelmények: pp.1-8.
- [12] MSZ EN 60825-4:2006/A2:2011 Lézergyártmányok sugárbiztonsági előírásai. 4. rész: Lézervédelmek
- [13] IEC TR 60825-14: 2004. Lézergyártmányok sugárbiztonsági előírása. 14. rész: Felhasználói útmutató
- [14] MSZ EN ISO 11252:2013 Lézerek és lézerberendezések. Lézerkészülékek. A dokumentáció minimumkövetelményei
- [15] MSZ EN 12254:2010 Lézermunkahelyek védőernyői. Biztonsági követelmények és vizsgálat
- [16] MSZ EN ISO 19818-1:2021 Szem- és arcvédelem. Lézersugárzás elleni védelem. 1. rész: Követelmények és vizsgálati módszerek: pp. 9–11.
- [17] MSZ EN 207:2017 Személyi szemvédő eszközök. Szűrők és szemvédők lézersugárzás ellen
- [18] MSZ EN 208:2010 Személyi szemvédő eszközök. Szemvédők lézerek és lézerrendszerek beállítási munkáihoz (lézerbeállítási szemvédők)
- [19] MSZ EN 61508-1:2010 Villamos/elektronikus/programozható elektronikus biztonsági rendszerek működési biztonsága. 1. rész: Általános követelmények
- [20] MSZ EN IEC 62061:2021 Gépek biztonsága. A biztonsággal összefüggő vezérlőrendszerek működési biztonsága
- [21] MSZ EN ISO 13849-1:2016 Gépek biztonsága. Vezérlőrendszerek biztonsággal összefüggő részei. 1. rész: A tervezés általános alapelvei

- [22] MSZ ISO 31000:2018 Kockázatmenedzsment. Irányelvek
- [23] MSZ EN ISO 12100:2011 Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatfelmérés és kockázatsökkentés
- [24] (89/391/EGK) a munkavállalók munkahelyi biztonságának és egészségvédelmének javítását ösztönző intézkedések bevezetéséről
- [25] Az Európai Parlament és a Tanács 2006/25/EK irányelve (2006. április 5.) A munkavállalók fizikai tényezők hatásának való expozíciójára (mesterséges optikai sugárzás) vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimumkövetelményekről
- [26] Nem kötelező érvényű útmutató a 2006/25/EK irányelv végrehajtása során alkalmazható legjobb gyakorlatokhoz (Mesterséges optikai sugárzás)
- [27] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2016/425 rendelete (2016. március 9.) az egyéni védőeszközökről és a 89/686/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről
- [28] 23/2024. (XII. 16.) EM rendelet a munkára való alkalmassági vizsgálat kötelező elrendeléséről
- [29] 4/2009. (III. 17.) EüM rendelet az orvostechnikai eszközökről
- [30] 22/2012. (IX. 14.) EMMI rendelet az egészségügyi felsőfokú szakirányú szakképesítés megszerzéséről
- [31] 156/2017. (VI. 16.) Korm. rendelet a haditechnikai tevékenység engedélyezésének és a vállalkozások tanúsításának részletes szabályairól
- [32] MSZ EN ISO 11145:2019 Optika és fotonika. Lézerek és lézerberendezések. Szakszótár és jelképek
- [33] Hemmerich M, Thiel M, Lupp C, Hanebuth F, Weber H, Graf T. 8th Int. Conf. on Photonic Technologies LANE 2014, Physics Procedia 56 (2014). Reduction of Focal Shift Effects in Industrial Laser Beam Welding by Means of Innovative Protection Glass Concept, Elsevier B.V. 2014, pp. 681–688.
<https://doi.org/doi:10.1016/j.phpro.2014.08.161>.
- [34] Rodrigues C, Vanhove H, Duflou J. 8th Int. Conf. on Photonic Technologies LANE 2014, Physics Procedia 56. Direct diode lasers for industrial laser cutting: a performance comparison with conventional fiber and CO2 technologies, Elsevier B.V.; 2014, pp. 901–908. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.08.109>.
- [35] Thombansen U, Hermanns T, Stoyanov S. 2 nd International Conference on Ramp-Up Management 2014 (ICRM), Procedia CIRP 20. Setup and Maintenance of Manufacturing Quality in CO 2 Laser Cutting, 2014, pp. 98–102.
- [36] Hashemi S, Sabouri S, Khorsandi A. In situ measurement of laser beam quality. Applied Physics B (2017) 123:233 2017: pp. 233–234. <https://doi.org/10.1007/s00340-017-6811-y>.
- [37] Catalano G, Demir AG, Furlan V, Previtali B. Use of Sheet Material for Rapid Prototyping of Cardiovascular Stents. Procedia Engineering, vol. 183, Elsevier Ltd; 2017, pp. 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.019>.
- [38] Kleine KF, Whitney B, Wstkindt KG, Watkins KG. Use of fiber lasers for micro cutting applications in the medical device industry. ICALEO 2002 - 21st International Congress on Applications of Laser and Electro-Optics, Congress Proceedings 2002;2002: pp. 1–10. <https://doi.org/10.2351/1.5065757>.
- [39] Meng H, Liao J, Zhou Y, Zhang Q. Laser micro-processing of cardiovascular stent with fiber laser cutting system. Optics and Laser Technology 2009;41: pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2008.06.001>.

- [40] Kaplan AF. Theoretical Analysis of Laser Beam Cutting. Shaker Verlag Aachen; 2002. pp.10-18.
- [41] Paprikás B, Szabó S, Kocsisné Baán M, Tolvaj B, Bencs B. Lézeres mérési és megmunkálási eljárások a gépészetben. Nemzeti Tankönyvkiadó 2009. pp. 10-18.
- [42] Harp W, Paleocrassas A, Tu J. A Practical method for determining the beam profile near the focal spot. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2008; 37:1113–1119. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1067-z>. pp. 1113-1119.
- [43] Paschotta R. Rayleigh Length https://www.rp-photonics.com/rayleigh_length.html. (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [44] Gaussian-Beam-Optics.pdf <https://experimentationlab.berkeley.edu/sites/default/files/MOT/Gaussian-Beam-Optics.pdf>. (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [45] MSZ EN ISO 11146-1:2021 Lézerek és lézerberendezések. A lézernyalábméretek, a széttartási szög és a nyalábterjedési tényező vizsgálati módszerei. 1. rész: Sztigmatikus és egyszerű asztigmatikus nyalábok
- [46] Muhammad NB. Laser Micromachining of Coronary Stents for Medical Applications. The University of Manchester, PhD thesis, 2012. https://doi.org/https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/54523284/FULL_TEXT.PDF. pp. 1-186.
- [47] Technical Guide: Laser Optics - Formulary <https://www.siloptics.de/en/service/sill-technical-guide/laser-optics/formelsammlung> (letöltve 2025. augusztus 27.)
- [48] Marco Mendes. Fiber laser micromachining in high-volume manufacturing. Industrial Laser Solutions 2015; <https://www.laserfocusworld.com/home/contact/14282507/marco-mendes> (letöltve 2025. augusztus 27.)
- [49] Momma, C. Knop, U, Nolte, S.: Laser Cutting of Slotted Tube Coronary Stents – State-of-the-Art and Future Developments, pp. 39-44. Progress in Biomedical Research 1999. <https://www.msbt.nat.fau.de/PBMR/documents/199904010039.pdf> (letöltve 2025. augusztus 27.)
- [50] Chen CS, Lin SY, Chou NK, Chen YS, Ma SF. Optimization of laser processing in the fabrication of stents. Materials Transactions 2012;53: pp. 2023–227. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2012188>.
- [51] Demir AG, Previtali B, Biffi CA. Fibre laser cutting and chemical etching of AZ31 for manufacturing biodegradable stents. Advances in Materials Science and Engineering 2013;2013. <https://doi.org/10.1155/2013/692635>. pp. 1-11.
- [52] García López E, Alexis MT, Juansethi IM, Siller Héctor R, Alex EZ, Ciro AR. Fiber Laser Microcutting of AISI 316L Stainless Steel Tubes- influence of Pulse Energy and Spot Overlap on Back Wall Dross. Procedia CIRP 2016;49: pp. 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.11.020>.
- [53] Guerra AJ, Ciurana J. Minimum Quantity Lubrication in Fibre Laser Processing for Permanent Stents Manufacturing. Procedia Manufacturing 2019;41:pp. 492–499. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.036>.
- [54] Thawari G, Sundar JKS, Sundararajan G, Joshi S V. Influence of process parameters during pulsed Nd:YAG laser cutting of nickel-base superalloys. Journal of Materials Processing Technology 2005;170: pp. 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.05.021>.

- [55] Chen K, Yao YL. Process optimisation in pulsed laser micromachining with applications in medical device manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2000;16: pp. 243–249. <https://doi.org/10.1007/s001700050152>.
- [56] Gökhan Demir A, Previtali B. Comparative study of CW, nanosecond- and femtosecond-pulsed laser microcutting of AZ31 magnesium alloy stents. *Bioin-terphases* 2014;9: pp. 1–10. <https://doi.org/10.1116/1.4866589>.
- [57] Dobránszky J. Anyagismereti és technológiaismereti alapok. Budapest: DyTh Bt.; 2023. pp. 125-245.
- [58] Major L. Endoluminális tágitóbetét enlarging facing for blood-vessels. Hungarian Patent, P9602099, 1996.,
- [59] László Major. Medstent: Tághítható érfaltámasztó gyűrű expandible stent. Hungarian Patent, P9900429, 1996.
- [60] Process parameter influences on the laser drilling process <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-influence-do-process-parameters-have-on-the-laser-drilling-process>. (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [61] ISO/TR 25901-5 Welding and allied processes – Vocabulary – Part 5: Laser welding (2024); az IIW C-VI Terminology szakbizottság VI-1376R3-2024 jelű dokumentuma
- [62] Yilbas B.S. Parametric study to improve laser hole drilling process. *Journal of Materials Processing Technology* 1997; 70:264–73. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00076-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00076-9). (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [63] Naeem M. Laser Solutions Short Courses Short Course # 2 What Laser Drilling Can Do for Your Business. ICALEO 28th International Congress on application of lasers & electro-optics, Orlando, Florida, USA: 2009, p. 1–27.
- [64] Stephen A, Ocana R, Esmoris J, Thomy C, Soriano C, Vollertsen F, et al. Laser microdrilling methods for perforation of aircraft suction surfaces. *Procedia CIRP*, vol. 74, Elsevier, 2018, pp. 403–406. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.157>.
- [65] Duley W. Laser welding, 1. edition. Wiley-Interscience; 1998. P.69.
- [66] Periodic table <https://ptable.com/?lang=hu#Tulajdonságok> (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [67] Thermal properties of matter <https://ncert.nic.in/textbook/pdf/keph203.pdf>. (letöltve 2025. augusztus 27.).
- [68] MSZ EN ISO 25539-1:2017 Szív- és érrendszerei implantátumok. Endovaszkuláris eszközök. 1. rész: Endovaszkuláris protézisek
- [69] MSZ EN ISO 7198:2017 Szív- és érrendszerei implantátumok és extrakorporális rendszerek. Érprotézisek. Cső alakú érgraftok és érrendszerei foltanyagok (ISO 7198:2016)
- [70] Kathuria YP. Laser microprocessing of metallic stent for medical therapy. *Journal of Materials Processing Technology* 2005;170: pp. 545–550. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.05.041>.
- [71] Nagy P, Dobránszky J. Laser cutting of small diameter nitinol tube. *Materials Science Forum*, vol. 729, 2013, pp. 460–463. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.729.460>.
- [72] Muhammad N, Whitehead D, Boor A, Li L. Comparison of dry and wet fibre laser profile cutting of thin 316L stainless steel tubes for medical device applications. *Journal of Materials Processing Technology* 2010;210: pp. 2261–2267. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.08.015>.

- [73] Chen CS, Lin SY, Chou NK. Optimization technology and developing of vascular stents. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, pp. 390–397.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.284-287.390>.
- [74] Puskás Zs, Antalfi Z, Dobránszky J. Lézeres mikromegmunkálás. In: OGÉT 2009 Országos Gépész találkozó, Gyergyszentmiklós, 2009, p. 335–339.
- [75] Halmai A. Finommechanikai szerkezetek. Edutus Főiskola; 2012. p. 131.
- [76] Low D. Characteristics of spatter formation under the effects of different laser parameters during laser drilling. *Journal of Materials Processing Technology*, 118 2001: pp.179–186.
- [77] MSZ EN ISO 17658:2015 Hegesztés. Lángvágott, lézersugárral vágott, és plazmával vágott felületek eltérései. Terminológia
- [78] Naeem M. Laser Processing of Reflective Materials. *Laser Technik Journal* 2013;10: pp. 18–20. <https://doi.org/10.1002/latj.201390001>.
- [79] Kleine K. Micromachining with single mode fibre laser for medical device production. The University of Liverpool, 2009. <https://livrepository.liverpool.ac.uk/1295/>

8 Publikációk

8.1 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [MGY1] Meszlényi G, Bitay E. Az egyimpulzusos lézersugaras fúrás folyamatának elemzése. *Országos Magyar Bányászati És Kohászati Egyesület Lapja* 2018; 2018/5-6:pp.40-44
- [MGY2] Meszlényi G, Bitay E. A fókuszhelyzet szerepe erősen reflektáló anyag egyimpulzusos, lézersugaras fúrásakor. *Acta Materialia Transylvanica Magyar Kiadás* 2019;2: pp.61–68. <https://doi.org/10.33923/amt-2019-01-10>.
- [MGY3] Meszlényi G, Bitay E. The Role of Focus Position in Single Pulse Laser Drilling of Highly Reflecting Materials. *Acta Materialia Transylvanica* 2019;2: pp.61–68.
<https://doi.org/10.33924/amt-2019-01-10>.
- [MGY4] Meszlényi G, Bitay E. Analysis of Fibre Laser's Optical Construction from the end of the Beam Guiding Optical Fibre to the Focal Spot. *Acta Materialia Transylvanica* 2022;5: pp.72–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.33924/amt-2022-02-05>.
- [MGY5] Meszlényi G, Bitay E. Szállézeres sugármenetének elemzése a nyalábvezető optikai szál végétől a fókuszfoltig. *Acta Materialia Transylvanica Magyar Kiadás* 2022;5: pp.72–77. <https://doi.org/10.33923/amt-2022-02-05>.
- [MGY6] Meszlényi G, Bitay E. Influence of Laser Cutting on the Functional Safety of Metallic Vascular Stents. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 2025; online first: pp. 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3311/PPme.40060>.
- [MGY7] Meszlényi G, Bitay E. A fókuszált lézernyaláb keresztmetszeti jellemzőinek szerepe az impulzusos üzemű lézeres vágásnál. *Acta Materialia Transylvanica* 2019;2: pp.115–120. <https://doi.org/10.33924/amt-2019-02-09>
- [MGY8] Meszlényi G, Bitay E. Role of the Features of Focused Laser Beam at Pulsed Laser Cutting. *Acta Materialia Transylvanica* 2019;2: pp.115-120.
<https://doi.org/10.33924/amt-2019-02-09>

8.2 További tudományos közlemények (opcionális)

- [MGY9] Meszlényi G;, Bitay E. A nagy pontosságú lézeres vágás technológiai és biztonságtechnikai elemzése. In: Wühl T, editor. KVK Habilitációs és PhD Workshop Minikonferencia, Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar; 2024, p. 81.
- [MGY10] Meszlényi G, Bitay E. Impulzus üzemű lézersugaras mikromegmunkálás és biztonságtechnikája. In: Molnár, György; Wühl T, editor. KVK PhD Workshop Minikonferencia, Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar; 2023, p. 11.
- [MGY11] Bitay E, Puskás Z, Kulin T, Meszlényi G. Bioanyagok lézersugaras vágási technológiája. 27. Hegesztési Konferencia, Budapest: 2014, pp. 405–414.
- [MGY12] Meszlényi G, Dobránszky J, Puskás Z. Role of the laser focus position in the laser beam cutting of thin stainless steel sheets. Materials Science Forum, vol. 659, Trans Tech Publications Ltd; 2010, pp. 209–214.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.659.209>
- [MGY13] Meszlényi G, Izápy V. Science in practice 2008. In: Galić R, editor. Optimization Method of Laser Cutting Parameters for High Precision Stainless Steel Tubes, Osijek, Croatia: Faculty of Electrical Engineering J.J. Strossmayer Univ. of Osijek; 2008, pp. 95–97.
- [MGY14] Meszlényi G, Nagy P, Bella S, Dobranszky J. Laser beam cutting and welding of coronary stents. BID-ISIM WELDING AND MATERIAL TESTING 14, Temesvár, 2008, pp. 17–11.
- [MGY15] Meszlényi G, Dobránszky J, Dévényi L. Laser cutting of stainless steel thin sheets with pulsed Nd:YAG laser. Gépészet, Budapest, Magyarország: 2008, pp. 1–6.
- [MGY16] Meszlényi G, Dobránszky J, Puskás Z. Laser cutting of high precision tubes. Materials Science Forum 2008; 589: pp.209–214.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.589.427>.