

BUZA GÁBOR

A lézersugaras anyagmegmunkálás energiaviszonyai I.

Avagy: mire megy el az energia?

A lézersugaras anyagmegmunkáló technológiák szerte a világon elérhetők. Ennek ellenére az anyagmegmunkálással foglalkozó szakembereknek csak kis része ismerkedhetett meg szervezett oktatáson keresztül azzal a sokrétűséggel, amit a lézersugár alkalmazása kínál. Még kevesebben vannak, akik a komplett lézersugaras anyagmegmunkálás energiaviszonyainak részleteivel foglalkozhattak volna. Ebben a cikksorozatban a legfontosabb (legelterjedtebb) sugárforrások sajátosságait kiemelve, néhány közismert technológián keresztül tekintem át a lézersugárnak, mint az elektromágneses sugárzás egy speciális fajtájának energetikai jellegzetességeit. Annak ellenére, hogy a sugárzás és az anyag kölcsönhatásának eredményei alapvetően a fizikai jelenségek és törvények ismeretében tárgyalhatók, a cikkben mégis a műszaki-technológiai tárgyalásmód a domináns.

Az anyagok lézersugaras megmunkálására többnyire nagy átlagteljesítményű, esetenként nagy impulzusteljesítményű berendezéseket használnak. Az, hogy a megmunkáláshoz milyen típusú, teljesítményű, hullámhosszúságú stb., általánosan fogalmazva: tulajdonságú lézersugárra, ill. berendezésre van szükség, az számos körülménytől függ. Legfontosabb ezek között a megmunkálási technológia célja (edzés, vágás, hegesztés, olvasztás, ötvözés, fúrás, gravírozás stb.), a megmunkálható anyag vegyi összetétele és a megmunkálható tárgy geometriai jellemzői.

A lézersugaras megmunkálás célja tehát sokféle lehet. Többek között ez a sokféleség is szerepet játszik abban, hogy a lézersugaras technológiák gyorsabban terjednek a gyakorlatban, mint mások, hiszen sok esetben ugyanazzal a berende-

zéssel eltérő megmunkálási műveletek végezhetők. Néhány alkalmazási cél fajlagos energiaigényét, a fajlagos teljesítményigényét és a jellemző anyag-lézersugár kölcsönhatási idejét az 1. ábrán látható diagram mutatja.

A diagram alapján úgy tűnik, a feliratozáshoz kell a legnagyobb teljesítményű lézerberendezés. A valóságban azért nem, mert egyrészt a nagy intenzitású csúcsok integrált értéke (átlagteljesítménye) kicsi, másrészt a rövid impulzusokkal történő megmunkálás során (feliratozás, fúrás stb.) erősebben fókuszált lézer sugárnyalóbot alkalmaznak, mint a hosszú hatásidejű (edzés, forrasztás stb.) kezelések során.

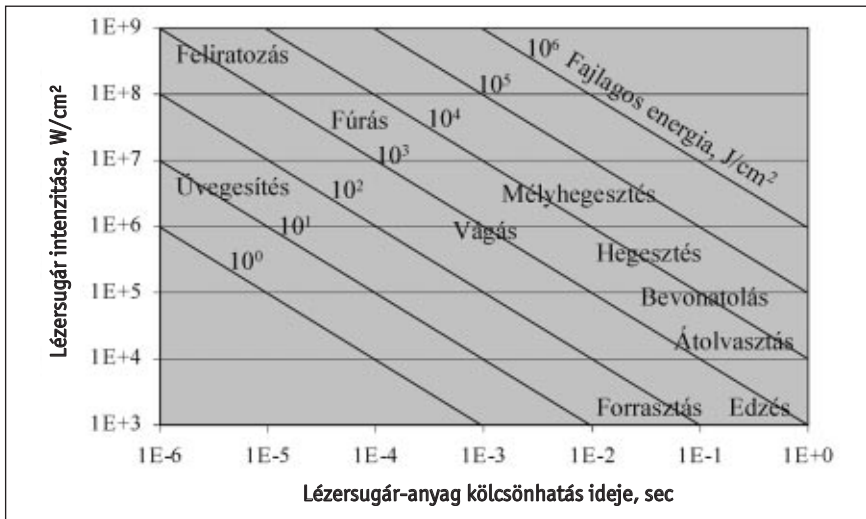
Az 1. ábrán látható diagram alapján sajnos még nem lehet helyes döntést hozni, ha egy alkatrész valamilyen lézersugaras megmunkálására alkalmas lézerberen-

dezést szeretnénk választani, specifikálni. Az elektromágneses sugárzás (esetünkben lézer) – anyag kölcsönhatás során az anyagba jutó, abban elnyelődő energia nagysága ugyanis erősen függ a sugárzás hullámhosszúságától, teljesítménysűrűségétől, az anyag vegyi összetételétől stb. Az anyagminőség és a hullámhosszúság hatása közötti összefüggés jellegét mutatja a 2. ábrán látható diagram. A diagramon szereplő görbék jelentését értékelve kitűnik, hogy egy lézerberendezés, amely alkalmas pl.: 10 mm vastag acéllemez vágására, az ugyanilyen vastag alumíniumlemezeire nem feltétlenül, pedig az alumínium olvadáspontja köztudottan lényegesen kisebb, mint az acélé (vas $T_{op.}$: 1536 °C, alumínium $T_{op.}$: 660 °C). Ennek egyik oka a két anyag lézersugár „elnyelő” képessége közötti jelentős különbség, valamint egyéb fizikai tulajdonságok különbözősége.

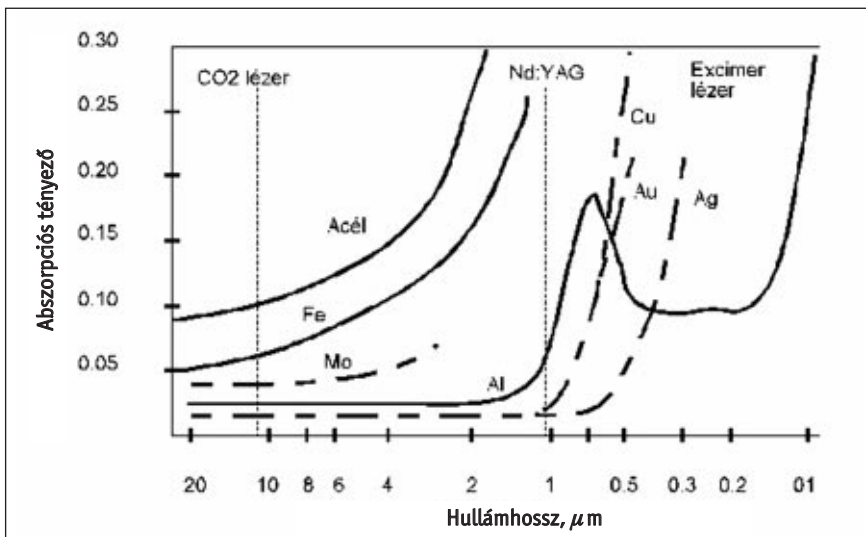
A lézersugár jellemzőinek (teljesítmény, üzemmód (impulzus vagy folyamatos), sugárminőség, fókuszálhatóság, energiaeloszlás a nyálábon belül stb.) a munkadarab geometriai jellemzőihez is igazodniuk kell. Hiába alkalmas egy pl.: 5 kW átlagteljesítményű lézerberendezés akár a 10 mm-nél is vastagabb acéllemez vágására, nem alkalmas a 0,2 mm vastag lemez úgynevezett finomvágására, pl.: karóra alkatrészek készítéséhez („ágyúval verébre”).

Mindezek alapján jogosan vetődik fel a kérdés: milyen általánosítható elv alapján lehet lézerberendezést és technológiát választani, ill. fejleszteni? Mivel a lézersugaras anyagmegmunkálások mindegyike azon alapszik, hogy az elektromágneses sugárzás és az anyag kölcsönhatása során az anyagban hő keletkezik, a jelenségek megértése érdekében azt kell vizsgál-

Dr. Buza Gábor 1975-ben szerzett kohómérnöki oklevelet a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen. 1975-től 1988-ig a Vaskut, 1988-tól a BME dolgozója. Jelenleg a BME Közlekedésmérnöki Kar Járműgyártás és -javítás Tanszékének docense és a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Anyagtudományi és Technológiai Intézet igazgatója. Egyetemi doktori értekezését 1986-ban védte meg. 1990 óta a műszaki tudomány kandidátusa, 2008-tól a Miskolci Egyetem címzetes egyetemi tanára. Fő érdeklődési területe: acélok fázisátalakulásának vizsgálata, nagy energiasűrűségű eljárások. Több mint 10 éve intenzíven foglalkozik a nagy teljesítményű lézerek anyagmegmunkálási lehetőségeinek kutatásával.



■ 1. ábra. Néhány lézersugaras technológia jellemző fajlagos energiaszükséglete



■ 2. ábra. A lézersugár elnyelődésének mértéke néhány anyagra 20 °C-on, a hullámhosszúság függvényében

nunk, hogy a sugárforrásból kilépő lézersugár energiája mire fordítódik.

A hasznosult energia értelmezése

A lézersugaras technológiák alkalmazása során – annak tudatában, hogy minden esetben az anyag célzott felhevülését kívánjuk elérni – mindig más konkrét céllal közlünk energiát a megmunkálandó anyaggal. Vegyük első példaként az edzést. Ebben az esetben a lézersugár energiájával a munkadarab hőmérsékletét annyira kell megnövelnünk, hogy az acél edzeni kívánt térfogatában lejátszódjon az ausztenitesezési folyamat, az $\alpha \rightarrow \gamma$ fázisátalakulás. Ez az anyag ún. edzési hőmérsékletre hevítését jelenti. A céljainkat közvetlenül csak az ehhez szükséges energia szolgálja, aminek

mennyisége számítható. Ez az az energia-mennyiség, ami hasznos(ul). Az a lézersugár-energia, ami nem erre fordítódik, az számunkra veszteség. Az indokolatlan túlhevítés egyébként kedvezőtlenül hat például az acél szövetszerkezetére és csökkenti az ausztenitesezés követő hűlés sebességét, ezzel rontja az edzés eredményét. Még kedvezőtlenebb esetben az alkatrész termikus eredetű, mechanikai belső feszültségére visszavezethető vetemedését is eredményezheti.

Ennél bonyolultabb a helyzet, ha a lézersugár hasznosuló energiájának kérdését a feliratozás, jelölés technológiájának tükrében vizsgáljuk. Ennek a technológiának ugyanis önmagában több módja van, amelyek mindegyikénél más-más cél elérésére kell a lézersugár energiáját fordí-

tanunk. Lézersugárral feliratozni (gravírozni) lehet úgy, hogy

- a munkadarab felületéről célzottan elpárologtatunk anyagot (lézersugárral az acélt, vagy akár a volfrámot is el lehet párologtatni célzottan, lokálisan!),
- az alkatrész anyagát célzott hőközléssel átalakítjuk (pl.: fa, műanyag feliratozása),
- szerves, vagy szervetlen bevonatot elbontunk, átalakítunk, eltávolítunk (pl.: színes elox réteg, festék stb.),
- levegő jelenlétében hőmérséklet-növeveléssel oxidálunk, vagy
- egy vékony fém-oxid keveréket olvasztunk a felületre stb.

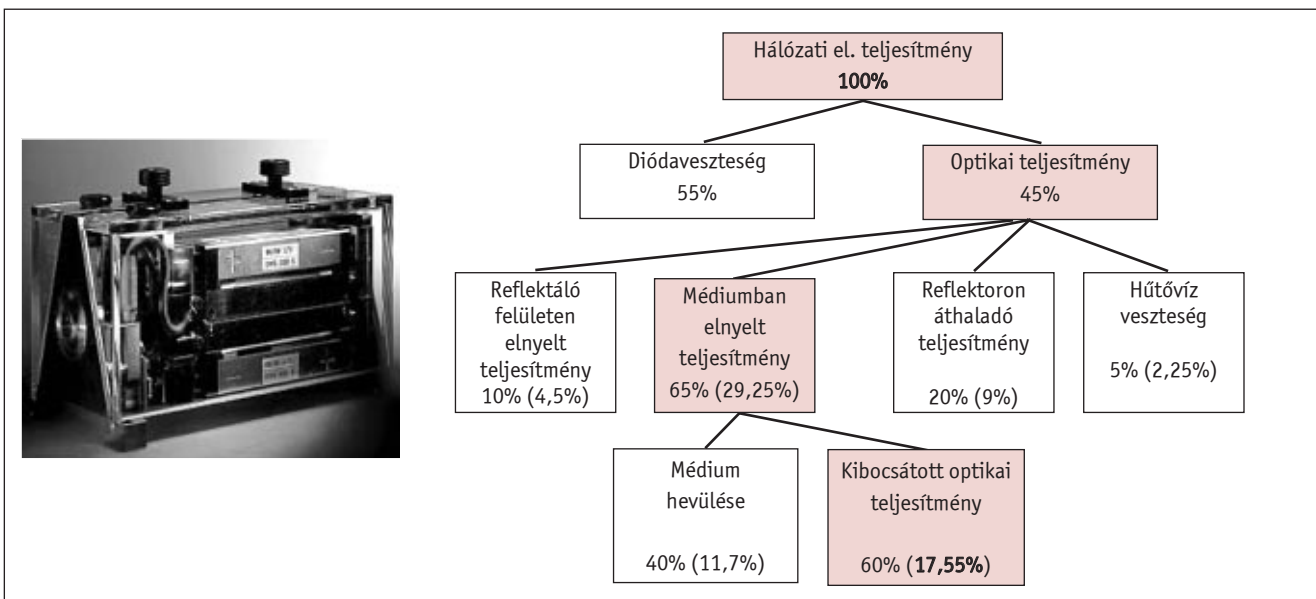
Annak ellenére, hogy az előbbi felsorolás nem jelenti a feliratozási módszerek teljes tárházát, látszik, hogy a feliratozási technológiákon belül, a lézersugár energiájának különböző hasznosulására (párologtatás, termikus bontás, oxidációs sebesség növelése, olvasztás) törekszünk.

Az az energia, ami a lézer sugárforrásból (rezonátorból) kilép, természetesen nem egyezik meg azzal, ami a kívánt technológiai folyamat lejátszódása szempontjából szükséges, ami szorosan értelmezve, a technológiai cél érdekében hasznosul.

Mivel a lézerberendezések teljesítményét a rezonátorból kilépő sugárral jellemzik és ennek csak töredéke hasznosul, szükséges számba venni, mire megy el az az energia, ami nem hasznosult. Ezt azért is célszerű alaposan áttekinteni, mert esetenként lehetőségünk van a veszteségek jelentős csökkentésére, a berendezés hatékonyságának, termelékenységének, alkalmazhatóságának növelésére. Általában igaz az is, hogy az abszorbeált energia hasznosulásának mértékét növelve, a lézersugaras megmunkálás eredményének minőségi mutatói is javulnak.

A rezonátorból kilépő sugárzás teljesítménye

Amennyiben az anyagmegmunkálásra szánt, nagy átlag-, vagy impulzusteljesítményű lézer sugárforrásokra koncentrálnunk, akkor a CO₂, a szilárdtest (pl.: Nd:YAG, itterbium üveg, szál stb.), a félvezető és az Excimer lézereket kell számba vennünk. Az iparban a legelterjedtebbek a CO₂, a szilárdtest és a félvezető lézerek. Az utóbbi években a szállézerek (fiberlaser) térhódításának lehetünk tanúi. Az ezekből kilépő sugárzás átlag-, vagy impulzus-



■ **3. ábra.** Félvezető diórával pumpált Nd:YAG rúdlézer modul energiaveszteségei (zárójelben a felvett hálózati teljesítményre vonatkoztatott érték van) [1]

teljesítménye több nagyságrenddel különbözhet egymástól. A szilárdtest lézerek között léteznek milliwattos és száz kilowattos lézer sugárforrások. Ez nyolc nagyságrendet jelent.

A lézersugaras anyagmegmunkálásokat energiafelhasználásuk szempontjából értékelve arra is tekintettel kell lennünk, hogy mekkora energiabefektetéssel állítjuk elő a kívánt elektromágneses sugárzást. A lézersugár hullámhosszától, a lézermédiум anyagától, a médiум gerjesztésének módjától, a sugárforrás gyártójától, a berendezés geometriai jellemzőitől, az üzemi hőmérséklettől és még néhány körülménytől függ az, hogy a rezonátor által felvett, jellemzően elektromos energia hány százalékából lesz lézersugárzás, vagyis mekkora a rezonátor hatásfoka. Ebben a tekintetben a legkedvezőbbnek a félvezető, legkedvezőtlenebbnek az Excimer lézer sugárforrások mutatkoznak.

A rezonátorba juttatott energia (pum-

páló energia) és a rezonátorból kilépő sugárzás aránya nagyon sok tényezőtől függ. Még az optimális beállítású (hangolású) rezonátorban is jelentős veszteségek adódnak. Ezt vázlatosan szemlélteti egy laboratóriumi körülmények között végzett vizsgálatokon alapuló mérésorozat, ami szerint a félvezető diórával pumpált Nd:YAG rúdlézer esetében a 3. ábrán látható veszteségek adódtak [1]. A mérési eredmények alapján, ideális esetben, a hálózathoz felvett elektromos teljesítmény 17,55%-a alakult át lézersugárzássá.

Napjainkban legelterjedtebben a CO₂ és a szilárdtest médiумú sugárforrásokat alkalmazzák. Ez érthető is, a sugárforrás gyártók által 2006-ban szállított berendezések teljesítmény, hatásfok és sugárminőség adatait tartalmazó 1. táblázat alapján [2].

A lézersugár minőségére vonatkozó adatokat azért szükséges minden esetben ismerni, mert amint azt a későbbiekben

látni fogjuk, lényegesen befolyásolják a megmunkálási lehetőségeket, az energiahasznosulás mértékét. Hiába van nagy teljesítményű (néhány kW-os) rezonátorunk, mégsem tudunk olyan pontosságú, ill. hatású megmunkálást, pl.: üvegest belsejében 3D-s rajzolatot létrehozni, mint a néhányszor tíz wattos lézersugárral, ha az utóbbinak lényegesen jobb a sugárminősége, kisebb területre lehet a sugárnyalábot fókuszálni.

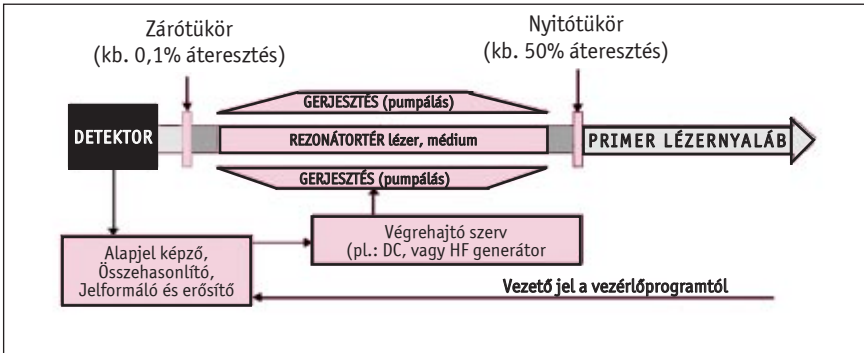
Bár egyszerűnek hihetjük a lézersugaras anyagmegmunkálási technológiák tervezését, az előző gondolatokból talán már kitűnik, hogy számos fizikai jelenségre, körülményre kell nagy figyelmet fordítani a sikeres technológia érdekében. A jelenségek és körülmények számbavételét segíti, hogy az anyagmegmunkálások során jellemzően a lézersugár termikus hatását használjuk ki, vagyis nem követünk el nagy hibát, ha erre helyezük a hangsúlyt és nem próbálunk mindent optikai szempontból tárgyalni. Vagyis vizsgálódásunk lehet tisztán energetikai szemléletű.

1. táblázat. CO₂ és szilárdtest lézerek teljesítményére, hatásfokára és sugárminőségére vonatkozó adatok

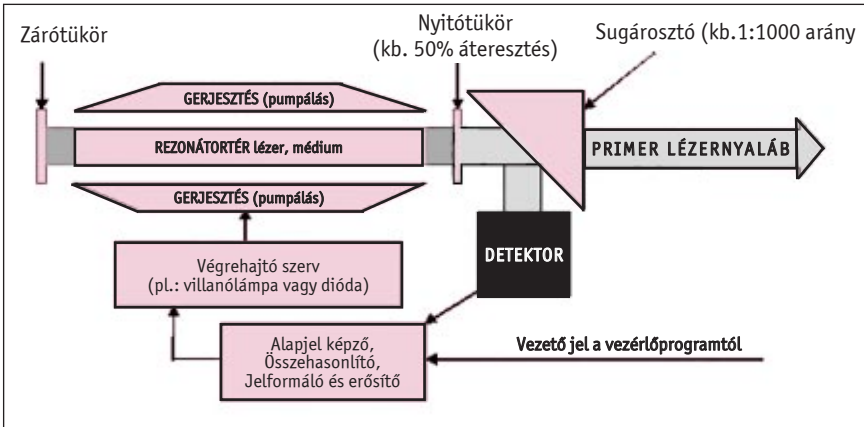
Lézer sugárforrás		Max. teljesítmény, kW	Hatásfok, %	Sugárminőség, mm · mrad
CO ₂	Axiális áramlású	20	10...16	6...15
	Slab	8	10...16	3...5
Szilárdtest	Villanólámpás gerj. rúd	4	2...3	20...30
	Félvezető (dióda) gerj. rúd	6	12...25	10...15
	Félvezető (dióda) gerj. korong	6	20...25	8...10
	Multimódusú szál	20	25...30	2...12
	Monomódusú szál	1,5	25...30	0,4

A lézersugár energiája, energiaeloszlás a nyalábon belül

Amikor valamely lézersugaras anyagmegmunkáláshoz szükséges lézersugár teljesítményét megadják, akkor a rezonátorból kilépő sugárzás teljesítményéről van szó, nem a hálózati energiaforrásból felvettről és nem az anyagmegmunkáláshoz közvetlenül szükséges teljesítményről. Ezek kö-



■ 4. ábra. CO₂ lézer sugárforrás egy lehetséges teljesítményszabályozási körének elvi vázlata



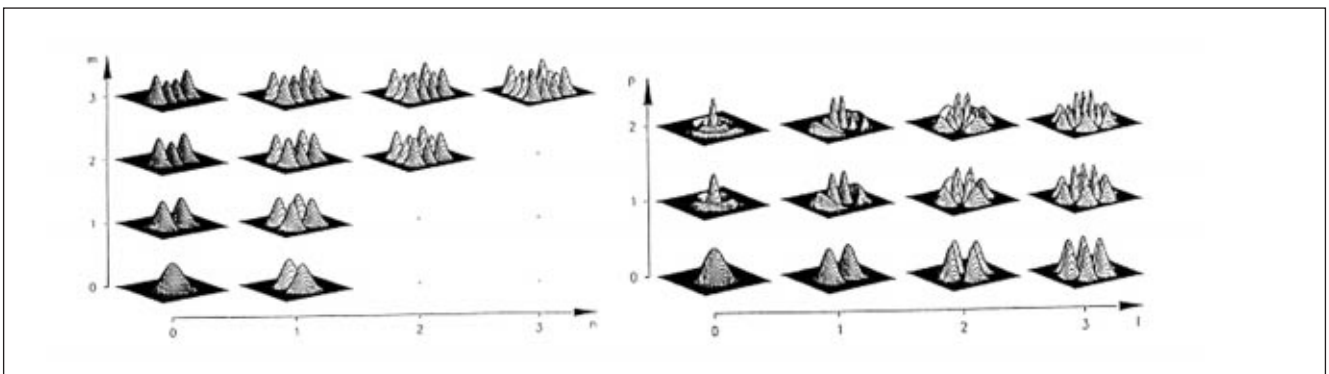
■ 5. ábra. A szilárdtest (pl.: YAG) lézer sugárforrás teljesítményszabályozási körének egy jellemző elvi vázlata

zött jelentős, akár több nagyságrendi különbség is lehet. A különbségek okának felderítése érdekében a rezonátortól a munkadarabig nyomon kell követni a lézersugár útját.

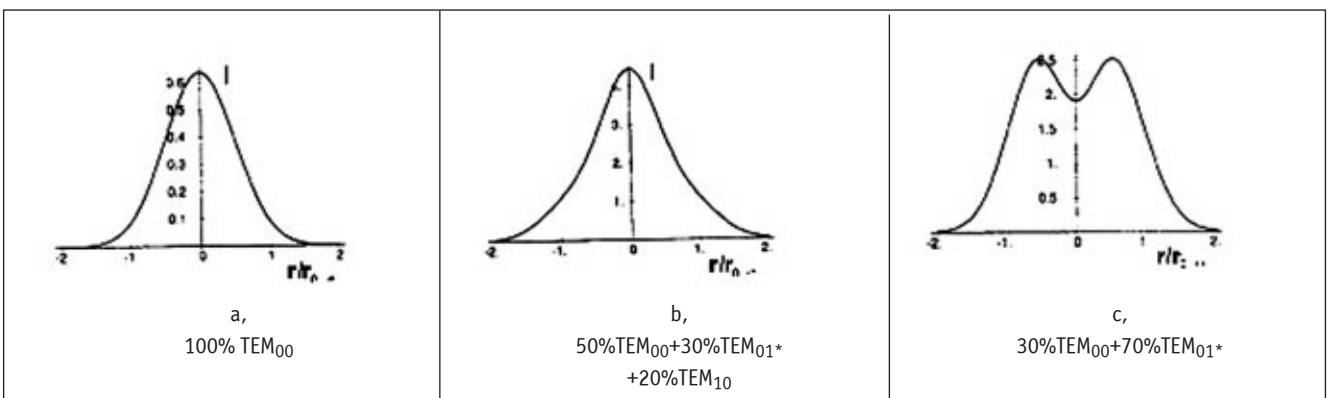
A rezonátorban, az anyagmegmunkálásra szánt primer lézernyaláb haladása útjában az utolsó optikai elem a nyitótükör. Kiinduló adatként a nyitótükörön átlépett nyalábnak kell ismernünk a teljesítményét. Közbeszédben ezt tekintjük a megmunkáló lézersugár teljesítményének. Egy-egy technológia, vagy kísérlet leírásakor, szakmai cikkekben ezt a teljesítményt szokás megadni.

A lézersugár teljesítményét indirekt módon, a szigorúan vett rezonátortéren kívül: vagy a záró-, vagy a nyitótükör mögött mérik.

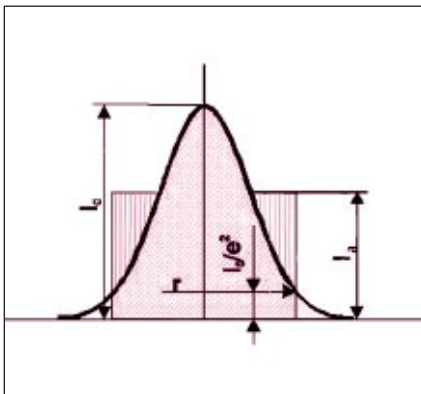
A hagyományos építésű, axiális áramlású CO₂ sugárforrások esetén többnyire a zárótükör kb. 0,1%-os, de pontosan ismert átbocsátóképessége teszi lehetővé a primer lézersugár teljesítményének mérését (4. ábra). Nagyon fontos látnunk, hogy a nyitótükör átbocsátóképességét is pontosan kell ismerni, hiszen a detektor, a rezonátoron belül lévő lézersugár teljesítményének ($P_{\text{rezonátor}}$) egy jól ismert



■ 6. ábra. Vázlat a TEM (Transversal Elektromagnetic Mode) indexek értelmezéséhez



■ 7. ábra. Különböző intenzitáseloszlású lézernyalábok és azokat leíró TEM módusok



■ 8. ábra. Vázlat a lézersugár rádiusz értelmezéséhez

$x_{m\acute{e}r\acute{o}}$ hányadát méri, ahogyan azt a 4. ábrán látható vázlat mutatja. A mért teljesítmény tehát $P_{m\acute{e}rt} = x_{m\acute{e}r\acute{o}} \cdot P_{rezon\acute{a}tor}$. A rezonátorból kilépő primer lézernyaláb teljesítménye (P_{primer}) a rezonátoron belül lévő lézersugár teljesítményének egy jól ismert hányada $P_{primer} = x_{nyit\acute{o}} \cdot P_{rezon\acute{a}tor}$, ami a nyitótűkör átbocsátóképességétől $x_{nyit\acute{o}}$ függ.

A szilárdtest lézerek teljesítményszabályozása általában ettől eltérő. A kilépő primer nyaláb útjába helyezett, többnyire kvarc optikai elemmel (pl.: az elemre gözölt vékony réteggel) kicsatolják a nyaláb teljesítmények pontosan ismert hányadát

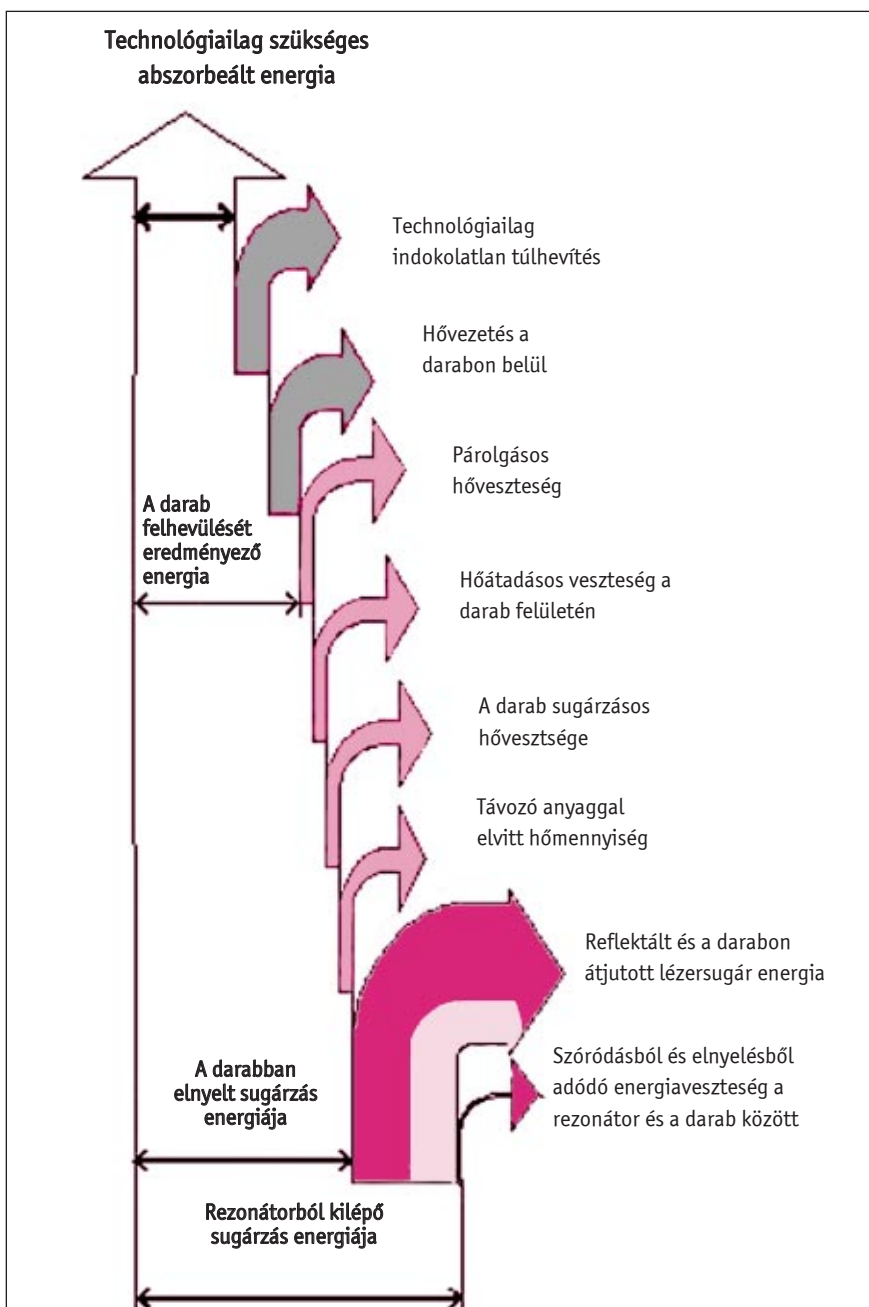
(5. ábra). Ebben az esetben tehát már a rezonátorból kilépő sugár teljesítményének egy jól ismert hányadát mérjük meg, vagyis a $P_{m\acute{e}rt} = x_{nyit\acute{o}} \cdot x_{m\acute{e}r\acute{o}} \cdot P_{rezon\acute{a}tor}$ - részét. A primer lézernyaláb teljesítménye a rezonátoron belülihez képest a $P_{primer} = x_{nyit\acute{o}} \cdot (1 - x_{m\acute{e}r\acute{o}}) \cdot P_{rezon\acute{a}tor}$ szerint adódik.

Meg kell jegyezni, hogy egyes lézerberendezések esetén, a gyakorlatban, a vezérlőprogramban megadott lézersugár teljesítmény legfeljebb az előírt értéknek felel meg, ami nem feltétlenül azonos a primer lézersugár valós teljesítményével (a gerjesztés intenzitása technikai okokból korlátos és nem biztos, hogy kellően nagy, a kívánt lézersugár-teljesítmény eléréséhez). A valós értékről érdemes egy arra alkalmas módszerrel, eszköz segítségével meggyőződni. Különösen javasolt ez, ha a sugárforrás folyamatos (cw = continual wave) és impulzus üzemmódban egyaránt üzemeltethető.

A lézersugár előzőekben tárgyalt teljesítménye egy átlagérték, ami a sugárnyaláb teljes keresztmetszetére érvényes. A valóságban a sugár haladási irányára merőleges síkban, még a fókuszban is, pontról pontra változik a lézersugár teljesítménye. Ez a teljesítményeloszlás alapvetően a rezonátor optikai rendszerének felépítésétől függ, amiben nagy a sokféleség. A teljesítményeloszlás egyezményes jelölésére az ún. TEM (Transversal Elektromagnetic Mode) értéket alkalmazzák. A TEM_{nm} és a TEM_{lp} jelzés a vizsgálódás koordináta-rendszerére utal, ami lehet derékszögű (nm) és polár (lp), illeszkedve a rezonátorok optikai rendszeréhez, geometriai felépítéséhez, ill. gerjesztési módjához (6. ábra). Az indexben szereplő számok minden esetben a tengelyek mentén, az origótól távolodva fellelhető lokális intenzitás-minimumok számát jelentik, a végtelenben lévő 0 értéket nem számítva. A TEM_{00} mind a két koordináta rendszerben az ideális Gauss-eloszlást jelenti.

Meg kell jegyezni, hogy a gyakorlatban sem az ideális, sem a 6. ábrán bemutatott „tisztá” TEM módusok nem fordulnak elő. Az ún. kevert-módusokat azonban többnyire elfogadható pontossággal az alpmódusok addíciójaként lehet leleírni (7. ábra).

A 7. ábrán bemutatott intenzitáseloszlás görbék érdekessége, hogy a lézersugár minőségének jelzésére szolgáló egyik érték, az M^2 , a b és a c esetben azonos: 1,7 (az elméleti TEM_{00} esetén $M^2 = 1$).



■ 9. ábra. Lézersugaras anyagmunkálás energetikai viszonyai

A lézersugár minőségének jellemzésére két számot használnak:

$$1. M = \theta_0 \cdot r_0 \cdot \pi / \lambda \quad M^2 > 1$$

Ahol:

θ_0 a sugárnyaláb divergenciája (félkúpszög);

r_0 a fókuszátlatlan nyaláb legkisebb átmérőjű részének (sugárderék) sugara;

λ a lézersugár hullámhossza.

(Az M^2 érték reciprokát is használják, jele: K, aminek értéke értelemszerűen <1)

Mértékegység nélküli szám

2. Sugárparaméter-szorzat:

$$\theta_0 \cdot r_0 = M^2 \cdot \lambda / \pi$$

Újabbban egyre elterjedtebben alkalmazott jele: BPP (Beam Parameter Product)
Mértékegysége: mm.mrad

Minél kisebb a sugárparaméter-szorzat, ill. minél közelebb van az M^2 és a K értéke az 1-hez, annál jobb minőségű a lézersugár, annál koncentráltabb energia-bevitelt tesz lehetővé, ami a lézersugaras megmunkálások egyik legfontosabb, de nem egyetlen előnye.

Az előzőekből, különösen a 7. ábrán bemutatott intenzitáseloszlás görbék alakjából következik, hogy a lézernyalábnak nincs olyan szignifikáns helye, ahol meg lehetne mérni, vagy határozni az átmérőjét. A sugárnyaláb méretének megadására egy megállapodás szerinti értéket használnak. A nyaláb sugara definíció szerint az az optikai tengelytől mért távolság, ahol az intenzitásmaximum az $1/e^2$ értékre csökken (8. ábra). TEM_{00} , vagyis Gauss-eloszlás esetén az így kijelölt területen belül van a nyaláb teljesítményének 86,4%-a.

A fentiek ismerete azért fontos, mert a lézersugáron belüli intenzitás, ill. teljesítménysűrűség-eloszlás erősen befolyásolja a sugárnyaláb, vagyis a rezonátor kedvező alkalmazási területeit. Ahogyan az a 8.

ábrán látható, az I_a átlag intenzitás, ami a lézersugár teljesítményének és a sugárrádiusz alapján számolt foltátmérőnek a hányadosa, kisebb érték, mint a nyaláb középvonalában lévő, I_0 alapján számolt. Lézersugaras vágás, feliratozás, mélyvarratos hegesztés, fúrás stb. esetén az a kedvező, ha az I_a érték távol esik az I_0 -tól, mert ekkor a fókusz méretnél kisebb helyre koncentrálódik a nyaláb teljesítményének jelentős része, ahol nagy a teljesítménysűrűség. Lézersugaras felületedzés, átolvasztás, ötvözés, hővezetési hegesztés stb. esetében az ellenkező tulajdonságú lézersugár alkalmazása kedvezőbb, pl.: egy TEM_{01*} módusú. (A TEM_{01*} módusú nyaláb annyiban különbözik a TEM_{01} módusútól, hogy az optikai tengelyben nincs helyi intenzitásmaximum, ahogyan az a 6. ábra megfelelő részén látható.) A TEM_{01} alapmódusú nyaláb általános, sokoldalú alkalmazást tesz lehetővé. Az általános, sokoldalú alkalmazás természetesen kompromisszumokkal jár, vagyis nem lehet minden esetben maradéktalanul kihasználni a lézersugár valamennyi előnyét.

A lézersugár veszteségei

Tételezzük fel, hogy pontosan ismerjük azt a lézersugár-teljesítményt, ami a rezonátorból kilép. Elvileg az anyagmegmunkáláshoz ez a teljesítmény áll rendelkezésünkre. A kérdés az, hogy valóban a technológiai célunk megvalósítására fordítódik-e ez az energia? Jó ha tudjuk, hogy nem. A kettő között nagyságrendi különbség is lehet.

A technológiailag szükséges, vagyis hasznosult energia és a rezonátorból kilépő energia közötti különbséget csaknem minden esetben veszteségnek tekintjük. A veszteségnek több oka van, amit többfé-

leképpen csoportosíthatunk. Egy lehetséges csoportosítást szemléltet a 9. ábra:

- szóródásból és elnyelésből adódó energiavesztés a rezonátor és a darab között;
- a darabról reflektált és a darabon átjutott lézersugár energia;
- távozó anyaggal elvitt energia;
- a darab sugárzásos hővesztése;
- hőátadásos veszteség a darab felületén;
- párolgásos hővesztés;
- hővezetés a darabon belül;
- technológiailag indokolatlan túlhevítés.

Ezek a veszteségek számos körülménytől függenek, mértékük egymáshoz képest nagyságrendileg is különbözhet. A különbözőség oka lehet a sugárforrás típusából, a lézersugaras megmunkáló berendezés felépítéséből, vagy a lézersugaras megmunkálás céljából, a megmunkálandó anyag minőségéből, geometriájából, egyéb jellemzőiből eredő. Ezért ezeket célszerű egyenként megvizsgálni, hogy ismerhessük az egyes veszteség csoportok okait és mértékét. Ennek részletezésére a közlemény folytatásában kerül sor.

Irodalom

- [1] Bonati, G.: Integration von Diodenlasern in modulare Hochleistungs-Nd:YAG-Laser; doktori értekezés; RWTH Aachen, 2001.
- [2] Vollersten, F. – Seefeld, T.: Aktuelle Entwicklungen und Perspektiven beim Laserstrahlfügen, 5. Laser-Anwenderforum, Bremen, 2006. szept. 13-14.
- [3] Kálazi, Z. – Sebestyén T.: „Lézersugár diagnosztika a BAYATI-ban” 2. Ipari Lézer Alkalmazási Szeminárium, Balatonfüred, 2000. ISBN 963421554-8

Szegeden épül az uniós szuperlézer

A mintegy 100 milliárd forintos beruházás eredményeként létrejövő lézeres központban a jelenleg Franciaországban, illetve az USA-ban épülő rendszereknél mintegy ezerszer nagyobb teljesítménysűrűség lesz elérhető.

Szabó Gábor akadémikus, a Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantum-elektronikai Tanszékének professzora, a projekt tudományos vezetője hangsúlyozta, a cseh-magyar pályázat sikere az uniós történetében is mérföldkő lenne. Ekkora

tudományos beruházás még nem került újonnan csatlakozott tagországba. A tudósok által szuperlézernek is hívott berendezéssel olyan nagyon rövid időtartamú fényimpulzusokat lehetne előállítani, amelyekkel megfigyelhetők lennének a molekulákon belül zajló elemi folyamatok. Vizsgálhatók lennének a szilárd testek felületén vagy a biológiai molekulákon belül zajló elemi események. Bizonyos „egzotikus fizikai kísérlet” elvégzésére is mód nyílik majd: például olyan

módszer kidolgozására, amellyel a hosszú felezési idejű radioaktív izotópok átalakíthatók rövidebb felezési idejű, így ártalmatlanabb részecskékké. A berendezéseket lézeres részecskegyorsításra is lehetne használni, így a mainál lényegesen hatékonyabb sugárterápiás módszerek kidolgozására is lehetőség nyílna. A központban folyó kutatások az orvostudomány diagnosztikai területén is áttörést hozhatnak.

<http://www.fn.hu>