

**KURILLA Boldizsár**  
[kurilla.boldizsar@gmail.com](mailto:kurilla.boldizsar@gmail.com)

## LÉZERFIZIKAI ESZKÖZÖK ALKALMAZÁSA ROBOTOKON

### *Absztrakt*

*Jelen cikk a nem túl távoli múltban és az újonnan megjelent, robottechnikai eszközökre felszerelhető, különböző feladatok végrehajtására alkalmazható lézerrendszerekről szól. A robotokon használatos lézeres alkalmazásoknak ma már igen nagy tárháza van. Ilyen a felderítés, feltérképezés, aknamentesítés, légkörben lévő szennyező anyagok felderítése, azonosítás, kommunikáció, anyagmegmunkálás, navigáció és még egy sor más alkalmazás. Mindezek közül a lézeres kommunikáció óriási jövő elé néz, mellyel már a szerző korábbi cikkeiben foglalkozott [1][2][3]. Ebből kifolyólag jelen cikkben a szerző a robottechnikai eszközökön használatos lézerrendszereknek egy szélesebb körű összefoglalását mutatja be.*

*This article in the not too distant past, and the newly released, equipped with robotic devices used to perform various tasks laser systems is all about. The robots used in laser applications today are a very large storehouse. There are exploration, mapping, mine clearance, detection of pollutants in the atmosphere, identification, communication, material processing, navigation and even a variety of other applications. Both of these laser communications is facing tremendous future, which the author has been addressed in the previous article [1][2][3]. Therefore, in this article, the author presents an extensive summary of laser systems used in robotic devices.*

**Kulcsszavak:** *lézer, plazma, világűr, kommunikáció ~ laser, plasma, outer space, communication*

## BEVEZETÉS

Az elmúlt 10-15 évben a lézeres alkalmazások robbanásszerű fejlődésen mentek keresztül. A különböző hullámhosszúságú, impulzusidejű (és ezzel együtt óriási teljesítményű) lézerberendezések megjelenése és azok későbbi miniatürizálása a tudományos világ több ezer új kapujához vezette a kutatókat. A lézer a prezentációkon és a látványos bemutatókon kívül jelen van minden CD, DVD, BLU-RAY lejátszóban, ebből kifolyólag mondhatjuk, hogy az ember hétköznapi eszközévé vált.

Mindemellett a lézerek már igen sok ipari (anyagmegmunkálás), mérnöki (távolságmérés), laboratóriumi (anyagvizsgálás, frekvenciakétszerezés, foton számlálás) és katonai alkalmazása (aknamentesítés, kommunikáció, fegyveres alkalmazások, pontfelhős feltérképezés, szkennelés, vizsgálat...) van. Ezzel párhuzamosan a robottechnika is kivette részét a rohamos fejlődésben a szórakozás, háztartás, ipar, az űrkutatás és a hadseregek területén is. A lézertechnikai eszközök miniatürizálására való törekvés nagyon hamar megkezdődött és ez által lehetőség nyílt a különböző robotokon való alkalmazásukra is. Mind a robotok, mind a lézerek területén felmerült az igény a minél kisebb méretű, tömegű, energiaigényű, de ugyanakkor minél nagyobb teljesítményű, hatásfokú berendezések kifejlesztésére. A lézereknél a méretek csökkentése a megfelelő teljesítmény és energiafelhasználás mellett továbbra is fontos irányvonal marad. Már évtizedek óta folynak kísérletek a lézerfizikai eszközök űrkutatásban történő alkalmazására [4][5], de az elmúlt évtizedben a világűrben történő lézeres kommunikáció is megvalósult több millió km-es távolságból is [6][7][8], mely roppant mód kiszélesítette a titkosított kommunikációban rejlő lehetőségek skáláját.

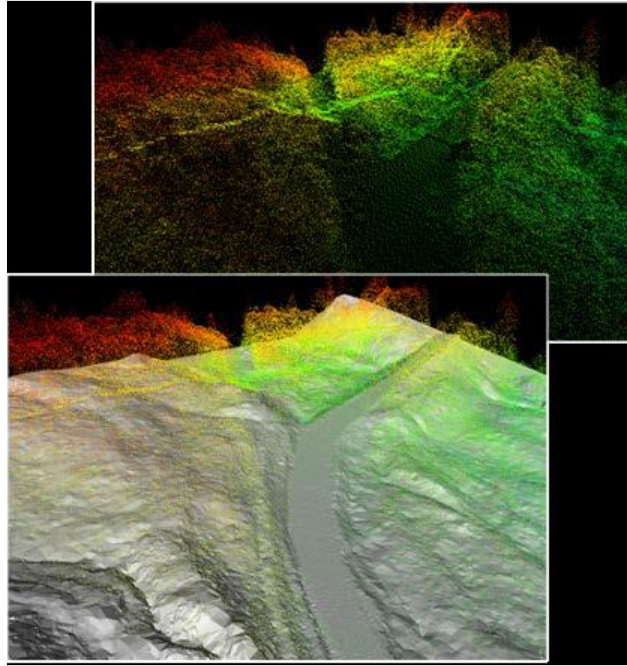
Sok laikus ember a lézer szó hallatára leginkább a mutatópálcákra és a szórakozóhelyeken alkalmazott lézeres vetítőberendezésekre gondol. Ebből kifolyólag a jelen cikk célja, hogy kellő áttekintési lehetőséget kínáljon az olvasó számára a ma használatos, nem utolsó sorban, a robotokon is használható lézerfizikai eszközökről és azok igen széles körű alkalmazásairól.

## ROBOTOKON ALKALMAZHATÓ FELDERÍTŐ ÉS AZONOSÍTÓ LÉZEREK

Manapság a lézeres azonosítás igen széles körben elterjedt eljárás. A leggyakrabban az áruházakban a pénztárnál használják a termék vonalkódról történő azonosítására. Az azonosításhoz vonallézert alkalmaznak 655 nm-es hullámhosszon 5 mW teljesítménnyel.

A LIDAR rendszer a lézeres felderítés területén használatos és előnye, hogy akár sűrű, erdős területeken is meg lehet vele vizsgálni a felszínt. A LIDAR technológiát elsősorban légi felderítésnél alkalmazzák, ugyanakkor a föld felszínén is használatos technológia elsősorban geodéziai alkalmazásoknál. A legújabb LIDAR rendszerek között már léteznek olyan kis méretűek is, melyek akár egy 2 kg teherbírású drónra is felszerelhetők. [9]

A lézerszkennelést értelmezhetjük korszerű távérzékelési technológiaként, mely a LIDAR alapjaiból egyértelműen következik. Ezen módszerrel igen gyors adatgyűjtés valósítható meg, ahol végeredményben 3 dimenziós pontfelhőt kapunk [10]. Fontos kérdés a műszaki alapoknál azon adatok ismerete, miszerint milyen távolságból és milyen hőmérsékleten szeretnénk végrehajtani a szkennelést. Az 1. képen LIDAR technológián alapuló lézerekkelés eredménye figyelhető meg egy adott területről. A terület egyenetlenségéből adódóan jól megfigyelhető a lézeres szkennelésből adódó pontsűrűség különbség.



1. kép. LIDAR pontsűrűség és felszíni eredmények [11]

Az a feladat, hogy belássunk a bokrok és fák alá, egy rendszeresen megjelenő igény, amikor távérzékelésből származó adatokat használunk fel a Föld felszínéről. Gondoljunk csak a repülőgépekre vagy akár a műholdakra! A legtöbb széles skálájú magassági adathalmaz a távérzékelési technológiák segítségével született meg, olyan hullámok segítségével, amelyek alapján véve nem tudnak áthatolni a növényzeten. Ezen területen a LIDAR sem teljesen kivétel, ám bár ott általában elegendő néhány, úgynevezett „egyéni pont”, melyek ugyan igen kis részben érik el a felszín a fákon és a bokrokon keresztül, de már elegendőek ahhoz, hogy megfelelő lefedettséget eredményezzenek az erdős területekről. [11] Ez a technika tehát képes átlátni a sűrű növényzet résein, mint ahogy a Nap sugarai is átjutnak a lombok között.

Manapság a lézerekkel történő 3D képalkotás egyre nagyobb lehetőséget biztosít adott, elsősorban beltéri területek felderítésére, illetve különböző objektumok azonosítására. A lézeres érzékelő rendszerek pontmérésekből alkotnak 3 dimenziós képeket. Egy ilyen kép megalkotása általában úgy működik, hogy a nézőpontból irányítjuk a lézersugarat a tükrök és a prizmák mozgatásával, illetve forgatásával. A lézersugár orientációja könnyen mérhető és könnyedén számítható a kép koordinátáiból. A képalkotáshoz egy másik lehetőség az egész berendezés környezetben történő mozgatása, ahol a 2D-s lézerekkel hajtjuk végre a méréseket a mozgás pályájára ortogonálisan. [12] Ez az eljárás egy tipikus alkalmazás a mozgó robotokon.

Ha ezeket a rendszereket robotokon alkalmazzuk, akkor nagyon fontos, hogy legyen rajta egy lokalizációs modul, melynek segítségével meghatározhatjuk a robot saját pozícióját a környezetében létrehozott térkép alapján. Ha a felhasználó tudja, hogy hova szeretné irányítani a robotot, akkor joggal merül fel a kérdés, hogy hogyan juttatja el az eszközt a célterületre. Erre a kérdésre egyértelműen a navigációban és az útvonaltervezésben kaphatjuk meg a választ. Az egyre magasabb szintű mesterséges intelligenciának köszönhetően előre programozott útvonalakat, illetve a környezeti viszonyokhoz mérten kialakított útvonalakat is képesek már bejárni ilyen rendszerrel a robotok. A környezeti viszonyok feltérképezésére használt lézerekkel felszerelt robotokat alkalmaznak Budapesten az Állami Egészségügyi Központban is [13]. A 2. képen egy ilyen lézerekkel felszerelt robot látható, mely akár 500 kg terhet is képes hordozni.



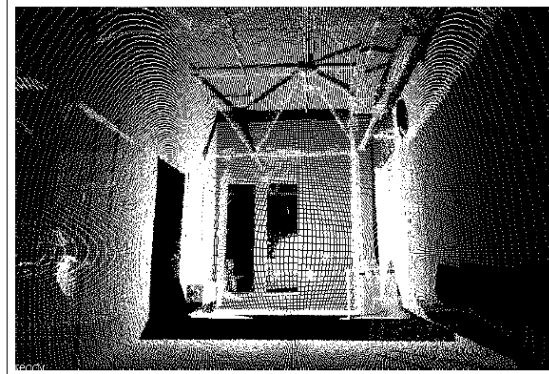
**2. kép.** A Swisslog LTC2-FTS robotrendszer egyik példánya a budapesti Állami Egészségügyi Központban [13]

Manapság a mozgó robotoknál a kutatás leginkább arra összpontosul, hogy megoldást találjanak a problémára, miszerint miként tudják a robotok a lehető legpontosabban saját magukat automatikusan lokalizálni és térképet készíteni a környezetükről. Ahhoz, hogy a környezetről teljesen egységes térképet kapjunk, feltétlenül szükséges a robot folyamatos lokalizálása, mialatt új adatokat regisztrál az új térképek készítése alatt. [12] Természetesen különböző helyzet áll fenn beltéri és kültéri lézerszkenneres robot alkalmazása esetén. A beltéri robotok néhány érzékelővel és forgó lézerszkennerrel vannak felszerelve, hogy 3D képet alkossanak a beltéri környezetről. Külső terepen alkalmazott robotoknál két darab egymásra merőlegesen szerelt lézeres távmérőt alkalmaznak a 3D térképezéshez. A 3. képen egy BIBA nevű robot látható egy SICK típusú forgó lézerszkennerrel felszerelve 3D feltérképezéshez.



**3. kép.** A BIBA robot SICK típusú lézerszkennerrel [12]

Ezt a fajta robotot és lézerrendszert beltéri alkalmazásra használják. Végsebessége eléri a 3,6 km/h-t és a rendszer működtetéséhez, illetve az adatgyűjtéshez egy XOberon típusú valós idejű operációs rendszert használ. A robot két darab SICK LMS 200 típusú lézeres távmérővel van felszerelve, melyek 0,55 m magasságban mérnek vízszintes síkban. Beltéri mérésekhez magas precizitású módban működnek a lézerek (8 m, 0,5° felbontással, 1 mm pontossággal). A robotra egy forgó lézeres távmérő is fel van szerelve, mely biztosítja a megfelelő információmennyiséget a 3D képalkotáshoz, míg a horizontális lézerszkenner biztosítja a robotnak 360°-ban történő tájékozódást. A 4. képen egy beltéri helységről készült fénykép és az ugyanarról a helységről készült lézer szkennel segítségével alkotott pontfelhős feltérképezés látható.



**4. kép.** A kísérlethez használt laboratórium folyosójáról készült fénykép, illetve ugyanarról a helységről készült pontfelhős kép [12]

A rendszernél a szkennelések 37 Hz-en működnek és akár 500 kBaud soros vonalnál is többet olvasnak le, mely lehetővé teszi az automatikus navigációt és a valós idejű akadály kikerülést. [12]

## **A ROBOTOKON ALKALMAZHATÓ NAGY TELJESÍTMÉNYŰ LÉZERFIZIKAI ESZKÖZÖK**

A robotokon alkalmazható nagy teljesítményű lézerek nem is olyan régen még a tudományos-fantasztikus filmekben és regényekben voltak láthatók, illetve olvashatók. Napjainkra széles körben elterjedtek a száloptikai rendszereken alapuló, nagy teljesítményű, anyagmegmunkálásra is alkalmas lézerberendezések. Ezen berendezések az elmúlt 30 évben pedig nagy fejlődésen mentek keresztül. A fejlődés egyik oka, hogy a lézerek nagy sebességű anyagmegmunkálásra képesek, a másik oka pedig az, hogy nem kell közvetlen az feldolgozandó anyaggal érintkezniük. Természetesen az orvostudományban is alkalmaznak relatíve nagy teljesítményű lézereket leginkább műtéti beavatkozásokra, mindenesetre ezek teljesítménye elhanyagolható az iparban alkalmazott lézervágó rendszerek teljesítményéhez képest.

A lézeres feldolgozás, megmunkálás potenciálját tekintve rugalmas technológiának tűnik a folyamat automatizálás területén a lézer paraméterek irányításának egyszerűségének köszönhetően. A robotok és a lézerek kombinálásának köszönhetően új lehetőségek nyíltak meg az anyagmegmunkálás pontosságának területén. A robotoknak köszönhetően lehetővé vált a feldolgozandó anyag és a lézerrendszer közötti távolság és fókusz automatikus szabályozása, ezzel térbeli rugalmasságot biztosítva a feladat elvégzéséhez. Mindemellett lehetővé vált a lézer működési folyamatának szabályozása is. Az 1. ábrán egy általános diagram látható a robotokra szerelhető lézerrendszerek anyagfeldolgozásának folyamatáról.



**1. ábra.** Általános diagram a lézer/robot rendszerek által történő anyagfeldolgozás folyamatáról [14]

A rendszer fő összetevői egy nagy teljesítményű lézer, egy lézernyaláb kibocsátó optikai rendszer és egy robot. Különböző lézerek segítségével a rendszer rugalmassá tehető (a feldolgozandó anyagok számára a megfelelő kimenő teljesítményt és hullámhosszat kell választani). Fontos feladat a lézernyaláb megfelelő optikán történő kibocsátása, a munkadarabra való fókuszálása a megfelelő energiasűrűség biztosításához, illetve az

energiasűrűség a munkafelület egyik pontjából a másikba való átvitele. Ezen opciók szinkronizálásához már általában programozott vezérlés szükséges.

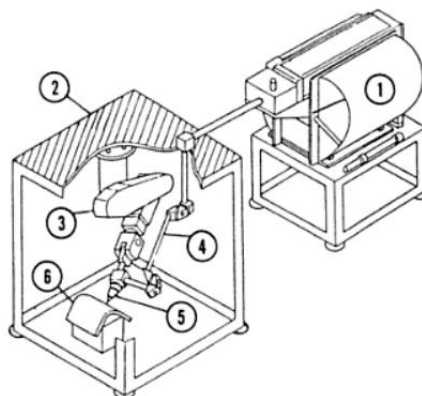
A lézer/robot rendszereknek két alapvető konfigurációjuk van. Az egyik konfigurációban a munkadarabok egyes részeinek manipulációjára van szükség, ahol a robot folyamatos kapcsolatban van a stabil lézerrendszerrel. Ebben a konfigurációban a robot az adott munkadarab sebességét és helyzetét irányítja. A másik konfigurációban a lézersugarat manipulálja a robot. Ebben az esetben a feldolgozandó anyag vagy munkadarab mozdulatlan marad, és a robot lézerrel biztosítja a megfelelő teljesítménysűrűséget a munkadarab megfelelő helyére.[14] Ez utóbbi módszer különösen fontos és hasznos lehet, ha elég nagy tömegű anyag vagy anyagötvözet feldolgozásáról van szó, hisz azok állandó mozgására jóval több energiára van szükség. Ebben az esetben az is fontos szempont, hogy a nagy tömegű feldolgozandó munkadarabokat nem lehet olyan nagy sebességgel mozgatni, hogy ki lehessen használni megfelelően a lézer magas szintű anyagmegmunkáló képességét. Ez a fejezet leginkább a második konfigurációba ad betekintést. A nagy teljesítményű lézerrendszerek robotokba való beintegrálása oly módon kell, hogy megvalósuljon, hogy biztosítva legyen a lézersugárzás biztonságos átvitele egy kimeneti foglalatba, mely a robot külsején, karján helyezkedik el. A kimeneti foglalat, illetve a benne rejlő optika formálja és irányítja a kimenő lézersugarat. A robot karjának rugalmas mozgásával biztosítani lehet a különböző munkadarabok (acélok, műanyagok, kerámiák, ötvözetek...) 3D-s lézeres feldolgozását.

A különböző anyagok feldolgozására kétfajta lézert alkalmaznak széles körben. A széndioxid lézert (CO<sub>2</sub> lézer) és a szilárdtest Nd:YAG lézert. A szén-monoxid (CO) lézereket is alkalmazzák már, de még mindig az előző kettő a legelterjedtebb.

### Robotokon alkalmazott CO<sub>2</sub> lézerek

A CO<sub>2</sub> lézerek által kibocsátott lézersugárzás hullámhossza 10,6 μm. Ezeknek a lézereknek az előnye a nagy hatásfok mellett a nagy teljesítmény. A kereskedelembe is beszerezhető, megvásárolható CO<sub>2</sub> lézerek teljesítménye az 50 W-tól a 20 kW-ig is terjedhet. A robotokon alkalmazott lézerrendszerek teljesítménye 0,4 kW-tól 8 kW-ig is terjedhet. A lézersugarat általában 0,1 és 0,2 mm közé eső átmérőjű foltba fókuszálják le, ezzel kreálva átlagosan 100 és 1000 kW/cm<sup>2</sup> közötti teljesítmény sűrűséget. [14]

A robotokon alkalmazott, 3D-s anyagmegmunkálásra használatos CO<sub>2</sub> lézerrendszerekre számos koncepció létezik már. A 2. ábrán az egyik legelterjedtebb koncepció vázlatja látható. A lézerrendszer a feldolgozandó mintától egy adott távolságra van elhelyezve. A sugarat a forrástól egy sugárvezérlő rendszer juttatja el a munkafelületre és a lézerfejet a robot karja manipulálja. Ma már a legtöbb rendszerben a lézerfej és a munkafelület közötti távolság finoman, és biztonságosan állítható a felszerelt távolságérzékelőnek köszönhetően.



2. ábra. CO<sub>2</sub> lézerrel felszerelt robot 3D anyagfeldolgozásra. (1) Lézeroscillátor, (2) a munkaterület kerete, (3) csuklós robot, (4) a CO<sub>2</sub> lézer sugárvezérlő rendszere, (5) lézerfej, (6) munkadarab [14]

### **Robotokra szerelhető Nd:YAG lézerek**

Ma már számos lehetőség kínálkozik arra, hogy különböző, nagy teljesítményű lézereket szereljünk fel az adott robot karjára. Azok a robotokra szerelhető lézerrendszerek, melyek Nd:YAG alapúak, kisebbek, kevésbé komplikáltak és geometriailag rugalmasabb feldolgozó rendszerük van, mint a robotokon alkalmazott CO<sub>2</sub> lézerrendszereknek. Lézeres robotokkal történő anyagfeldolgozás területén az Nd:YAG lézerek alkalmazásánál a lézerforrást a munkafelülettől akár 50 m-re is el lehet helyezni, és el lehet szigetelni a különböző rezgésektől, szennyeződésektől. Ebben a fajta integrált lézer/robot rendszerben a lézer energiáját relatíve kis és hozzáférhetetlen helyekre is lehet rugalmasan továbbítani. [14] Néhány alkalmazásra való tekintettel gazdasági szempontból vonzóbb a száloptikás Nd:YAG lézerrel felszerelt robot alkalmazása, mint a CO<sub>2</sub> lézeres roboté. Erre a legjobb példa a rozsdamentes acéldarabok apró kötegekben való vágása.

### **Robotokra szerelhető CO lézerek**

A lézer-robot rendszerek tervezőinek új lehetőségeket biztosított a kW-os teljesítmény szintű CO lézerek forgalmazása. A CO lézerek hullámhossz tartománya 5-7  $\mu\text{m}$  közé esik, és teljesítményük elérheti a 3 kW-ot. 1990-ben egy ilyen prototípust teszteltek, mellyel egy 8 cm vastag lágyacél lapba 1 perc alatt 5 cm mély lyukat fűrtak. Összehasonlításképpen egy CO<sub>2</sub> lézer csak 2 cm vastag acélt tud elvágni. [15]

A kutatások alapján a nagy teljesítményű CO lézersugár optikai kábelen keresztül történő továbbítása megvalósítható. Erre az alacsony veszteségű kalkogenid üvegszálak alkalmasak. [16] Csakúgy, mint a Nd:YAG lézerek számára a sugárnyaláb továbbító optikai szálaknak, a kalkogenid üvegszálak kereskedelmi szintre történő emelésére is komoly beruházásokra van szükség. A lézerrel felszerelt robotoknál a Nd: YAG lézer alapú robotrendszerek jellemzőit figyelembe véve (beleértve a négyszeres hatékonyságot a CO<sub>2</sub> lézerekhez viszonyítva) számos új alkalmazás előtt nyílik meg az út, beleértve a helyszíni feldolgozást a konstrukciós területeken.

### **Robotokra szerelhető, aknamentesítésre alkalmazható szilárdtest lézer**

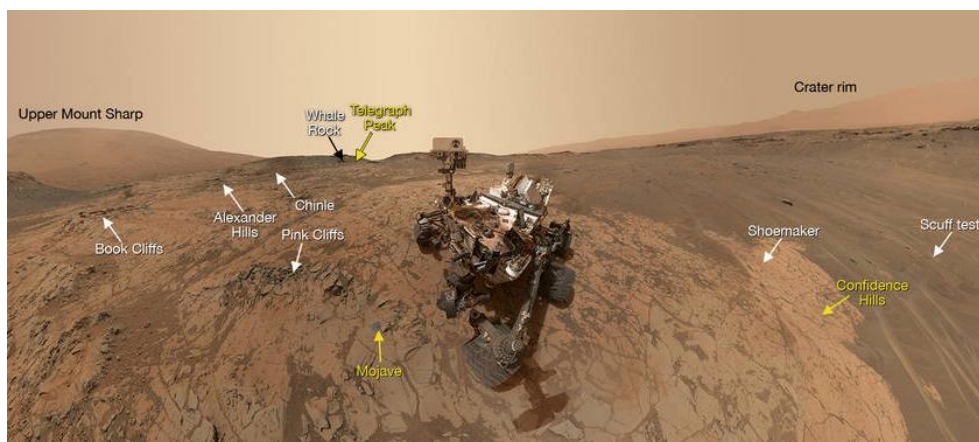
Különösen fontos katonai feladat az aknamentesítés, melyre már számos gyakorlat létezik, ugyanakkor biztonságukat illetően egyikük sem veszélytelen. Az amerikai hadseregben 2002-ben egy új eljárást demonstráltak az aknamentesítésben, ahol egy Humvee-re felszerelt szilárdtest lézert alkalmaztak az aknák távolról történő megsemmisítésére. Ugyan itt még csak Humvee-n való alkalmazásról van szó, azonban a kutatások egyértelműen mutatják, hogy nagyobb méretű robotokon is felhasználhatóak ezek a lézerrendszerek. A vezérlő személy vagy robot először egy 532 nm-es hullámhosszon működő zöld lézerrel megjelöli a célpontot (aknát), majd ezt követően egy sokkal nagyobb teljesítményű (500-2000 W) szilárdtest lézerrel ugyanazon az optikai rendszeren keresztül rávetítik a sugárnyaláb az aknára, mely a rá eső teljesítménysűrűség hatására felrobban. A rendszer természetesen alkalmas fel nem robbantott tűzérési lövedékek és bombák megsemmisítésére is. A kísérlet 25 és 250 m közötti távolságban valósítható meg ezzel a rendszerrel. [17] Ha teljesen eltemetett aknákról van szó, akkor az adott lézerrendszer hatékonysága megkérdőjeleződik, mivel a lézersugár nagyobb távolságból nem tud áthatolni a talajon megfelelő mélységig.

## LÉZERFIZIKAI ESZKÖZÖK ALKALMAZÁSA A VILÁGŪRBEN ALKALMAZOTT ROBOTTECHNIKAI ESZKÖZÖKÖN

A világűrben alkalmazható lézerek, illetve azon földi lézerrendszerek, melyek képesek sugárnyalábot a világűrbe juttatni egy speciális cél megvalósítása céljából már a 60-as években megjelentek. Az elsők között volt az a nagy teljesítményű, világűrbe kijuttatott lézernyaláb is, mellyel megmérték a Hold Földtől való távolságát 1962-ben. [18] Természetesen ennél a berendezésnél még nem szerepelt az a cél, hogy azt robotokra szereljék. Hasonlóképpen jártak el az APOLLO 11-14-15, illetve a Lunohod 1-2 küldetések során a Holdra lehelyezett lézertükrök esetében is. Még a hidegháború folyamán felmerült, hogy a műholdakra szerelhető nagy teljesítményű lézerek alkalmazása megvalósítható és fegyverként lehetne alkalmazni őket. Ronald Reagan amerikai elnök Stratégiai Védelmi Kezdeményezés (SDI) program bejelentésére a szovjetek válasza egy olyan koncepció volt, melyben egy lézerrendszerrel felszerelt műholdrendszert telepítettek volna az űrbe az amerikai rakétavédelmi rendszer hatástalanítása céljából. [19] Az űrbe telepítendő lézerrendszer egy 1 MW-os CO<sub>2</sub> lézer volt, melyet meg is építettek és a POLYUS nevű űrrakétával juttatták volna az űrbe. A POLYUS-t 1987. május 15-én indították Bajkonurból az ENYERGIA rendszer első repülésének részeként, de nem sikerült elérnie az orbitális pályát. [20] A lézert eredetileg egy BERIEV A-60 repülő programra tervezték, azonban a számítások alapján az ENYERGIA rendszer képes volt 60 tonna terhet az űrbe juttatni, így a lézert be lehetett integrálni a rendszerbe. [5]

A világűrben alkalmazott lézerek nem csak távolságmérési és pusztítási funkciót láttak el, hanem jeles szerepet töltek be a kommunikáció területén is. 2004 májusában a NASA útnak indította a Messenger űrszondáját a Merkúr felszínének feltérképezésére. Alig több mint egy évvel később (ekkor 25 millió km-re volt már a Földtől) a tudósok letesztelték az űrszonda fedélzetén lévő Mercury Laser Altimeter (MLA) berendezést, melyet a Merkúr felszínének feltérképezésére használtak. Ennek segítségével lézerimpulzusokat küldtek vissza a NASA tulajdonában lévő Goddard Geophysical and Astronomical Observatory nevű csillagvizsgálóba. Ez volt az első oda-vissza működő űrbeli lézeres kommunikációs kísérlet. [21]

Az idegen égitestek felszínén végzett vagy tervezett lézeres kísérletek új távlatokat nyitottak meg az űrkutatás történetében. A Mars kutatás a közelmúltban egyértelműen bekerült mind a NASA, mind az ESA fókuszába. 2012 augusztusában a NASA a bolygó felszínére juttatta Curiosity nevű robotját, melynek tömege 899 kg és a leszállása az eddigiektől eltérően fékezórakéták és lift kombinációs alkalmazásával valósult meg. Az 5. képen a Curiosity rover látható a Marson, mely képet a saját körpanorámás kamerája készített magáról.



5. kép. A Curiosity robotjármű a Mars felszínén [22]

Csakúgy, mint a Viking-1 és Viking-2, a Curiosity energiaellátása is egy rádióizotópos termo- elektromos generátorral (RTG) működik. [23][24] A robotba egy olyan lézerrendszert is integráltak, mely segítségével lézerindukált bontási spektroszkópia eljárással (LIBS) a



felszínen található kőzetmintákat analizálják. A rendszer célja az adott szikla, illetve talaj elemi összetételének vizsgálata. [25][26] A rendszer egy 1067 nm-es hullámhosszúságú lézernyalábot vetít az adott mintára (jelen esetben sziklára vagy talajra) 7 méteres távolságból és adott hosszúságú impulzusokkal elpárologtat egy részt belőle. Az elpárologott mintából visszaverődő fény spektrumát a roboton lévő speciális távérzékelőkből álló eszközrendszer (ChemCam) analizálja, mely segítségével lehet következtetni az adott minta anyagi összetételére. Ennek a rendszernek része a LIBS. [27] A LIBS rendszer nagy teljesítményű lézerimpulzusokat használ fel az atomok és ionok elektromosan gerjesztett állapotba való lebontására, melyek csillapításuk során fényt kibocsátó plazma keletkezik. A LIBS-hez szükséges teljesítmény sűrűség  $10 \text{ MW/mm}^2$ , mely 0,3 és 0,6 mm átmérőjű lefókuszált foltban keletkezik. A lézer 14 MJ-on 5 ns-os impulzushosszakkal működik. A plazmát egy 110 mm átmérőjű teleszkóp gyűjti be, melyet egy száloptikai kábel végébe lefókuszál. A ChemCam rendszer másik része ez a teleszkóp (RMI). [25] A ChemCam rendszer képes 6144 különböző hullámhosszon működni az ultraibolya, a látható és az infravörös tartományban is. A világító plazmagömbök kimutatása a közeli UV, a látható és a közeli infravörös tartományban működik 240 és 850 nm között. [28]

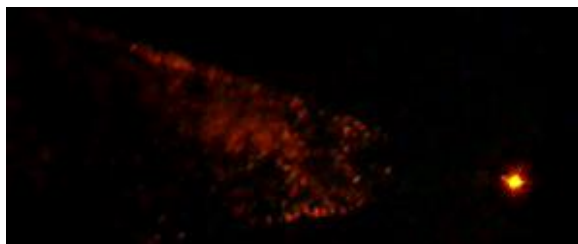
A lézerfizikai eszközök magyar részről történő űrbéli felhasználására egyre komolyabb erőfeszítések történnek. 2015 márciusában a Hunveyor programban sor került egy olyan elméleti koncepció kidolgozására, ahol a Husar robotra felszerelt lézerrendszerrel mérjük meg a Hold felszínén lebegő porfelhő sűrűségének változását a helyi naplemente után és a helyi napfelkelte előtt. A Nap a Hold felszínén lévő por részecskéit statikusan feltölti, ezért lebegés figyelhető meg. Ezt először a Surveyor-5 holdszonda figyelte meg 1967-ben.

A kísérlet földi szimulációs elvégzéséhez a Hunveyor-Husar oktatási szondarendszert használtuk fel, mely képes a Földön a lebegő port detektálni, illetve megfigyelni. A Hunveyor leszálló egységnek az alapvető tartozéka egy lézerforrás és egy megfigyelő kamera, mely kapcsolatban van a Husar holdjáró robottal. A kísérlet célja a megvilágított poros felületek elektrosztatikus hatásainak tanulmányozása és további kísérletek megalapozása, miszerint hogyan figyelhetjük meg a lebegő por sűrűségében a változásokat, illetve hogyan vizualizálhatjuk azt az űrben azon keresztül haladó űrszonda sebességének figyelembe vételével.

Az optikai mérés alapja, hogy egy lézerrel a lebegő por részecskéit megvilágítva megmérjük az arról visszavert szórt fény intenzitását. Ebben az esetben a szórt fény intenzitása feltérképezi a vertikális porsűrűség profil keresztmetszetét. [29] A szimulációhoz egy 589 nm hullámhosszú (mely a legtöbb fény és időjárési viszonylatban is jól látható), 50 mW átlagteljesítményű CW lézerberendezést használtam fel, melynek csúcsteljesítménye eléri a 96 mW-ot és a kezdeti divergenciája 1,6 mrad. A lézernyaláb útjába egy optikai rácst szereltünk fel, mellyel függőleges sávban szkennelhető az adott porfelhő. Ezzel a vízszinteshez képest 9, 37°-os nyílásszögű lézervonalat hoztunk létre. A 6. és 7. képen a földi szimulációhoz alkalmazott kísérleti lézerberendezés, illetve a vele végrehajtott próbamérés látható.



6. kép. Az 589 nm-es 50 mW-os lézerberendezés földi szimulációs kísérlet elvégzésére



7. kép Az 589 nm-es lézerberendezés mesterséges por megvilágítása közben sötét szobában földi szimuláció alatt

A világűrben történő lézeres kommunikáció több ízben is megvalósult az elmúlt időkben. 2014 novemberében megvalósult az első gigabites lézer alapú kommunikáció az ESA keretében és 2014 decemberében a NASA egy igazi áttörést vitt végbe az űrből a Földre történő kommunikációban az OPALS kísérlet keretében. [6][30]

## ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A robotokon alkalmazható lézertechnológiák robbanásszerű fejlődésen mentek keresztül és előreláthatólag ugrásszerűen megnő a közeljövőben a felhasználási tárházuk mind a civil, mind a katonai területen. Az egyre nagyobb teherbírású drónoknak és az egyre kisebb méretű lézeres felderítési rendszereknek köszönhetően olyan veszélyes területek is könnyedén felderíthetők, melyekre korábban csak elvétve vagy egyáltalán nem volt példa. Az iparban használt anyag robotokra szerelhető megmunkálási lézerrendszerek manapság sokkal precízebb optikával rendelkeznek, mint a néhány évtizeddel korábban alkalmazottak. Mindemellett ezekhez már olyan szoftverek társulnak, melyekkel lényegesen bonyolultabb operációk, vágások, anyagfeldolgozási eljárások társíthatók.

A lézeres kommunikációban óriási lehetőségek rejlenek a szárazföldön, a levegőben és a világűrben is, melyekkel kapcsolatban nem kevés demonstráció már megvalósult. A lézeres kommunikációt illetően az igazi áttörést előreláthatólag a kvantum kriptográfia gyakorlati megvalósítása fogja jelenteni.

### Felhasznált irodalom

- [1] Kurilla Boldizsár: A lézerek alapjai, lézerfizikai eszközök és alkalmazásai robottechnikai eszközökön, Hadmérnök, IX. évfolyam 1. szám, pp. 217-230, 2014
- [2] Kurilla Boldizsár: Lézeres kommunikációt befolyásoló légköri tényezők vizsgálata szimulációs módszerrel, Hadmérnök, IX. évfolyam 2. szám, pp. 297-310, 2014
- [3] Boldizsár KURILLA: Second Harmonic Generation in the Background of Photon Counting, Academic and Applied Research in Military and Public Management Science, Vol. 13, No. 4, pp. 557-570, 2014
- [4] Lunar Laser Communication Demonstration, NASA's First Space Laser Communication System Demonstration, Goddard Space Flight Center, 2013, [https://www.nasa.gov/sites/default/files/llcdfactsheet.final\\_.web\\_.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/llcdfactsheet.final_.web_.pdf), letöltés ideje: 2015.06.03
- [5] Asif A Siddiqi: Cold War in Space: A Look Back at the Soviet Union, The British Interplanetary Society, Vol. 40 No. 2, February 1998, [http://faculty.fordham.edu/siddiqi/writings/p10\\_siddiqi\\_spaceflight\\_1998-02\\_cold\\_war\\_in\\_space.pdf](http://faculty.fordham.edu/siddiqi/writings/p10_siddiqi_spaceflight_1998-02_cold_war_in_space.pdf), letöltés ideje: 2015.06.03

- [6] Landau, Elizabeth: "OPALS: Light Beams Let Data Rates Soar". Jet Propulsion Laboratory (NASA), December 2014, <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4402>, letöltés ideje: 2015.06.03
- [7] "Space probe breaks laser record: A spacecraft has sent a laser signal to Earth from 24 million km (15 million miles) away in interplanetary space". BBC News. January 6, 2006. Retrieved June 28, 2011, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4587580.stm>, letöltés ideje: 2015.06.03
- [8] Messier, Doug: "NASA Laser System Sets Record with Data Transmissions From Moon". Parabolic Arc., 2013-10-23, <http://www.parabolicarc.com/2013/10/22/nasa-laser-system-sets-record-data-transmissions-moon/>, letöltés ideje: 2015.06.03
- [9] Prof Iain Woodhouse, Dr. Tristan Allouis: LIDAR Drone system maps height of rainforest for the first time, Edinburgh, 24th of March, 2014, <http://www.labex-ceba.fr/assets/Tropical-forest-height-press-release.pdf>, letöltés ideje: 2015.06.04
- [10] Berényi Attila, Dr. Lovas Tamás, Dr. Barsi Árpád: Földi lézerszkenner laboratóriumi vizsgálata, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2010
- [11] Jamie Carter, Keil Schmid, Kirk Waters, Lindy Betzhold, Brian Hadley, Rebecca Mataosky, and Jennifer Halleran: An introduction to Lidar technology, data and applications, 2012
- [12] Björn Jensen, Jan Weingarten, Sascha Kolski, Roland Siegwart: Laser Range Imaging using Mobile Robots: From Pose Estimation to 3d-Models
- [13] Ványa László: Alkalmazott robottechnológia a Magyar Honvédségben, Robothadviselés 7. Tudományos szakmai konferencia, 2007. november 27, [http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/vanya\\_rw7.html](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/vanya_rw7.html), letöltés ideje: 2015.05.22
- [14] Janusz A. Marszalec, Elzbieta A. Marszalec: Integration of lasers and fiber optics into Robotic Systems, ISBN-10: 0-8194-1313-5, 1994, pp.
- [15] D.A Belforte, „Laser/robots in the 1990s,” in CO2 Lasers and Applications II, ed.H.Opower, Proc, SPIE, Vol. 1276 (1990), pp.2-16
- [16] A.Sona, „Lasers for industrial material processing,” in Laser Technologies in Industry, ed. D.D. Soares, S.P. Almeida, L.M. Bernardo, Proc. of SPIE, Vol. 952 (1988), pp. 528-541.
- [17] Jeff Hecht: Laser-armed Humvee to blast mines, 2002, <http://www.newscientist.com/article/dn2528-laserarmed-humvee-to-blast-mines.html#.VW2mjEa7iAV>, letöltés ideje: 2015. 05. 27
- [18] Bender, P. L.; Currie, D. G.; Dicke, R. H. et al.: The Lunar Laser Ranging Experiment, Science 182 (4109): 229–238, October 19, 1973.
- [19] Amy Teitel: The laser-toting Soviet satellite that almost sparked a space arms race, 2013.05.16, <http://www.wired.co.uk/news/archive/2013-05/16/soviet-laser-satellite>, letöltés ideje: 2015.06.04
- [20] Bart Hendrickx and Bert Vis, Energiya-Buran: The Soviet Space Shuttle, Springer Praxis Books, ISBN: 9780387698489, 2007
- [21] Kher Than: Record Set for Space Laser Communication, 2006. január 5 <http://www.space.com/1900-record-set-space-laser-communication.html>, letöltés ideje: 2015.06.07

- [22] Guy Webster: Latest Selfie from NASA Mars Rover Shows Wide Context, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif. January, 2015, <http://www.nasa.gov/jpl/msl/latest-selfie-from-nasa-mars-rover-shows-wide-context>, letöltés ideje: 2015.06.08
- [23] National Aeronautics and Space Administration: Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator (MMRTG) , January 01, 2008, [http://mars.jpl.nasa.gov/mars2020/files/mep/MMRTG\\_FactSheet\\_update\\_10-2-13.pdf](http://mars.jpl.nasa.gov/mars2020/files/mep/MMRTG_FactSheet_update_10-2-13.pdf)., letöltés ideje: 2015.06.07
- [24] National Aeronautics and Space Administration : Mars Exploration: Radioisotope Power and Heating for Mars Surface Exploration, NASA/JPL. April 18, 2006, [http://www.jpl.nasa.gov/news/fact\\_sheets/mars-power-heating.pdf](http://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/mars-power-heating.pdf), letöltés ideje: 2015.06.07
- [25] Roger C. Wiens MSL Science Corner: Chemistry & Camera (ChemCam). NASA/JPL. September 9, 2009 <http://msl-scicorner.jpl.nasa.gov/Instruments/ChemCam/>, letöltés ideje: 2015.06.07
- [26] Laser-Induced Remote Sensing for Chemistry and Micro-Imaging (ChemCam). NASA/JPL, October 2, 2006. [http://web.archive.org/web/20061002094624/http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission/sc\\_instru\\_chemcam.html](http://web.archive.org/web/20061002094624/http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission/sc_instru_chemcam.html), letöltés ideje: 2015.06.07
- [27] Vieru, Tudor: Curiosity's Laser Reaches 100,000 Firings on Mars, December 6, 2013. <http://news.softpedia.com/news/Curiosity-s-Laser-Reaches-100-000-Firings-on-Mars-406620.shtml>, letöltés ideje: 2015.06.07
- [28] Rover's Laser Instrument Zaps First Martian Rock, 2012, <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/news/whatsnew/index.cfm?FuseAction=ShowNews&NewsID=1315>, letöltés ideje: 2015.06.07
- [29] Gy. Hudoba1, Á. Lang1, Sz. Bérczi, B. Kurilla, S. Hegyi, T. P. Varga, P. Vizi, H. Hargitai: Experiment for Lunar Probe System Hunveyor-Husar Planetary Science Education Program: Observation of the changing levitating dust cloud above the lunar surface after local sunset and before local sunrise, 2015. március <http://adsabs.harvard.edu/abs/2015LPI....46.2551H>, letöltés ideje: 2015.06.07
- [30] First image download over new gigabit laser connection in space, November, 2014, <http://airbusdefenceandspace.com/newsroom/news-and-features/first-image-download-over-new-gigabit-laser-connection-in-space/>, letöltés ideje: 2015.06.08