

Megvilágítás fejlesztése hiperspektrális kamerarendszerhez

Lighting development for hyperspectral camera system

KOBA Máté

UNEXMIN Georobotics Kft, 1092 Budapest, Ráday utca 5, 2/3,
mate.koba@unexmin-georobotics.com, <https://unexmin-georobotics.com/>

Abstract

The study presents a new underwater hyperspectral camera system with a combined lighting solution. The system utilises LED-based technology, which replicates the spectrum of sunlight. In addition to the visible range, it also emits in the infrared spectrum, which significantly improves the contrast of mineral surfaces and compensates for the rapid absorption of wavelengths beyond red in water.

Keywords: LED, spectrum, hyperspectral, mineral, identification

Kivonat

A tanulmány egy új, víz alatti hiperspektrális kamerarendszer kombinált megvilágítási megoldását mutatja be. A rendszer LED-alapú technológiát alkalmaz, ami a napfény közelített spektrumát adja vissza. A látható tartomány mellett az infravörös spektrumban is sugároz, ami jelentősen javítja az ásványi felszínek kontrasztját és kompenzálja a vörösön túli hullámhosszok vízben fellépő gyors elnyelődését.

Kulcsszavak: LED, spektrum, hiperspektrális, ásvány, meghatározás

1. BEVEZETÉS

A hiperspektrális képalkotás (Hyperspectral Imaging, HSI) az elmúlt évtizedekben a távérzékelés egyik legdinamikusabban fejlődő technológiájává vált, mivel képes a vizsgált felületek és anyagok spektrális tulajdonságainak rendkívül részletes rögzítésére. A módszer lényege, hogy a hagyományos RGB képek három színcsatornájával szemben a HSI rendszer több száz, egymáshoz közeli és keskeny spektrális sávban méri a visszavert elektromágneses sugárzást, ezáltal lehetővé téve az anyagok pontos azonosítását azok sajátos reflektancia-karakterisztikája alapján. A technológia kezdetben elsősorban repülőgépes és műholdas távérzékelésben terjedt el, de az utóbbi időben egyre nagyobb hangsúlyt kap a terepi és laboratóriumi alkalmazás, valamint az olyan speciális környezetek, mint a víz alatti kutatások [1],[2]. A víz alatti hiperspektrális képalkotás különösen nagy jelentőséggel bír a geológiában, mivel lehetőséget ad ásványi nyersanyagok, geológiai formációk és környezeti paraméterek nem-invazív vizsgálatára olyan helyszíneken is, amelyek korábban nehezen vagy egyáltalán nem voltak hozzáférhetők [3]. A bányászati tevékenység következtében elárasztott tárnák, a karsztos víz alatti üregrendszerek vagy éppen a mélytengeri környezetek mind olyan területek, ahol a hagyományos mintavételi módszerek korlátozottan alkalmazhatók, míg a hiperspektrális képalkotás képes részletes és lokalizált információt szolgáltatni [4].

A technológia alkalmazását azonban komoly műszaki kihívások nehezítik víz alatti környezetben. A víz optikai tulajdonságai – így az abszorpció és a szóródás – nagymértékben torzítják a fény terjedését, különösen a rövid hullámhosszokon, ami jelentős hatással van a mért spektrális jelek minőségére [5]. Ennek következtében a hiperspektrális rendszerek hatékonysága nagymértékben függ a megvilágítási forrás kialakításától. A homogén, stabil és a teljes spektrális tartományban megfelelő intenzitással rendelkező fényforrás alapvető feltétele a megbízható adatgyűjtésnek. Az eddig alkalmazott víz alatti világítási rendszerek túlnyomórészt a látható spektrum tartományára korlátozódtak, jellemzően LED (Light Emitting Diode)-alapú fehér fényforrásokkal. Bár ezek alkalmasak voltak a vizuális dokumentációra és a fotogrammetriai célokra, a hiperspektrális képalkotás számára nem biztosítottak kellően homogén és spektrálisan kiterjedt megvilágítást [6]. Ez különösen hátrányos a diagnosztikus abszorpciós sávok kiemelése szempontjából, amelyek sok ásvány esetében az infravörös tartományban helyezkednek el.

Az itt bemutatott kutatás célja egy olyan új víz alatti megvilágítási rendszer ismertetése, amely LED-technológián alapulva nemcsak a látható fény tartományában biztosít homogén és intenzív megvilágítást, hanem az infravörös spektrumban is kiterjeszti azt. Az infravörös modul beépítésével a rendszer képes kiemelni az ásványi anyagok spektrális sajátosságait, ezáltal javítva a hiperspektrális képalkotás hatékonyságát és megbízhatóságát. Az ilyen megközelítés lehetőséget ad a víz alatti geológiai kutatások és az ásványi erőforrások feltérképezésének új szintre emelésére, valamint hozzájárul a környezeti monitorozási technológiák fejlődéséhez.

2. KONCEPCIÓ

A spektrális képalkotó rendszerek hatékonyságát alapvetően a megvilágítás minősége és geometriája határozza meg. Víz alatti környezetben ez a tényező különösen kritikus, mivel a fény a közegben – főként szennyezett, lebegő részecskékkel telített vízben – nagymértékben abszorbalódik és szóródik. Az ultraibolya (UV) és a közeli infravörös (NIR) tartományban a fény terjedése különösen korlátozott, néhány tíz centiméter után is jelentős csillapítást szenved. A spektrális mérések elvégzéséhez ezért homogén, irányított és jól definiált hullámhosszú világítás biztosítása tekinthető alapfeltételnek.

A hagyományos világítási megoldások – például fehér LED-ek vagy xenonlámpák – alkalmazásával a szükséges spektrális lefedettség és homogenitás nem érhető el. Ennek áthidalására speciálisan kialakított, több hullámhosszon világító LED-modulok kerültek felhasználásra, amelyek egyenként szabályozhatók, így lehetővé téve a célzott spektrális tartományok megvilágítását [7]. A multispektrális rendszerekben ezek a LED-ek sorozatosan kerülnek aktiválásra, míg a hiperspektrális rendszereknél folyamatos és homogén fényforrás biztosítása szükséges, amely minden érzékelt sávban azonos intenzitást nyújt. A víz optikai tulajdonságainak dinamikus változásai miatt – amelyek akár egyetlen merülés során is bekövetkezhetnek – a kalibrációs eljárások ennek megfelelően kerülnek kialakításra.

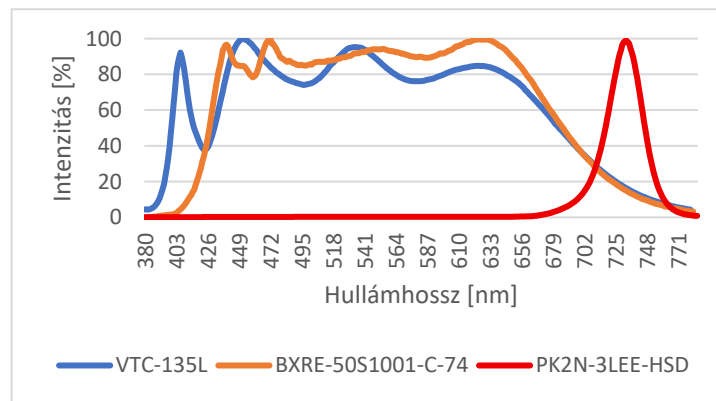
A rendszer tervezése során nemcsak a megfelelő LED-ek kiválasztására kellett kiemelt figyelmet fordítani, hanem a nyomásálló és optikailag megfelelő tokozás kialakítására is. A víz alatti környezetben a világítóegységeket nemcsak a nagy hidrosztatikus nyomás, hanem a kémiai és mechanikai hatások is terhelik, ezért a tokozásnak hosszú távon stabil védelmet kell biztosítania. Emellett elengedhetetlen, hogy az alkalmazott burkolat törésmutatója megfelelő legyen, ne torzítsa a kibocsátott fényt, és megfelelő hőelvezetést tegyen lehetővé, így garantálva a LED-ek hatékony és biztonságos működését szélsőséges körülmények között is.

3. MEGVILÁGÍTÁSI TECHNOLÓGIA FEJLESZTÉS

3.1. LED kiválasztás

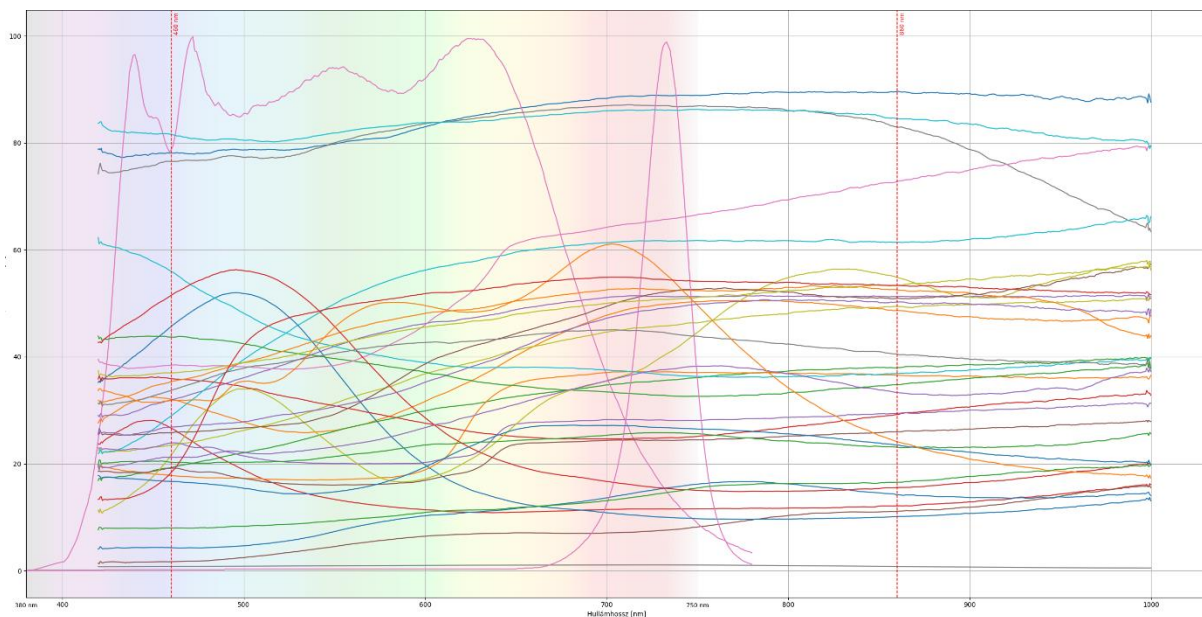
Az első vizsgálatok során széles spektrumú fehér LED-ek fénykibocsátása került elemzésre. A spektrális mérések alapján ezek a fényforrások a 450–650 nm tartományban mutattak erős kibocsátást, azonban az UV és infravörös sávokban a fényintenzitás jelentősen csökkent. Több LED spektrumának elemzése után az a következtetés vonható le, hogy a teljes spektrális lefedettséghez kiegészítő fényforrások alkalmazása szükséges. Olyan LED-ek is megvizsgálásra kerültek, amelyek spektrális teljesítménye kiegyenlítettebb volt, ugyanakkor az optimális spektrum biztosításához külön infravörös LED-ek beépítése is megoldásként került bevezetésre. Ennek eredményeként egy olyan kombinált megvilágítás alakítható ki, amely a látható és az infravörös tartományban egyaránt megfelelő lehet a mintadarabok vizsgálatához. A berendezéshez SMD LED-ek kerültek felhasználásra, amelyek könnyen adaptálhatók a víz alatti működés igényeihez [8]. A LED-ek kiválasztása során egyik peremfeltétel továbbá a kamerarendszer érzékelési tartománya volt, ami a látható és vörös-közel infravörös tartományba esik (460–860 nm).

Az 1. ábrán három különböző LED spektruma került bemutatásra. A két első spektrum közel azonos karakterisztikát mutat, a teljes látható tartományban (400–700 nm) jó közelítéssel homogén intenzitáseloszlással. A további fejlesztésekhez az a típus került kiválasztásra, amely az intenzitás szempontjából egyenletesebb megvilágítást biztosított, még annak ellenére is, hogy 400 nm alatti hullámhosszokon gyakorlatilag nem bocsát ki fényt (BXRE-50S1001-C-74). Ez a hiányosság a vizsgálni kívánt ásványok szempontjából és a kamerarendszer paraméterei alapján is elhanyagolható. A harmadik spektrum az alkalmazott vörös LED-hez tartozik (PK2N-3LEE-HSD). Ennek beépítése lehetővé teszi a diagnosztikus abszorpciós sávok kiemelését és javítja a hiperspektrális mérések megbízhatóságát a víz alatti környezetben.



1. ábra LED spektrumok

A világítási rendszer fejlesztése során rendelkezésre állt 33 különböző ásvány reflektancia görbéje, amelyek alapvető szerepet játszottak a spektrális követelmények meghatározásában. Ezen görbék és a választott LED-ek spektruma látható az 2. ábrán. E referenciaadatok lehetővé tették, hogy a megvilágítási spektrum kialakítása célzottan azokra a hullámhossztartományokra koncentráljon, ahol az ásványi fázisok diagnosztikus abszorpciós és reflektancia-jellemzői megjelennek. Az adatbázisban szereplő ásványok olyan földtani környezetekből származnak, amelyek nagy valószínűséggel megtalálhatók a rendszerrel vizsgálni kívánt bányákban és barlangokban. Ennek köszönhetően a fejlesztés követelményrendszere szűkíthetővé vált, nem volt szükség a teljes elektromágneses spektrum lefedésére, hanem a rendszer optimalizálása a gyakorlati alkalmazás szempontjából legkritikusabb spektrális tartományokra irányulhatott. Ez a megközelítés nemcsak a fényforrások és optikai elemek hatékonyabb kiválasztását tette lehetővé, hanem hozzájárult a megvilágítási rendszer energiahatékonyságának és mérési pontosságának növeléséhez is.



2. ábra Spektrumok összehasonlítása

3.2. LED elrendezés

A LED-ek elrendezésében a széles spektrumú fényforrásokat felületszerelt (SMD) Chip-on-Board (COB) LED-ek biztosítják, míg a közeli infravörös tartományban kiegészítő megvilágítást kis méretű SMD LED-ek nyújtanak. A megfelelő fényerősség és homogén megvilágítás eléréséhez a célfelület több szögből történő megvilágítása vált szükségessé, amely csökkenti az árnyékhatásokat és a spektrális inhomogenitást. Az új konfiguráció várhatóan háromszor akkora terület egyenletes megvilágítását teszi lehetővé, mint egy korábban, egyedileg fejlesztett rendszer, amely még multispektrális alkalmazásra készült [9]. A különböző pozíciókban elhelyezett LED-ek fényének homogenizálása kis helyen több módszerrel biztosítható: egyrészt

diffúzorok és mikrostruktúrált lencsék használatával, másrészt a fényforrások szimmetrikus elrendezésével, amely kiegyenlíti a lokális intenzitáskülönbségeket és így javítja a rendszerrel készített felvételek megbízhatóságát.

3.3. Nyomásálló tokozás

Az elektronikai komponensek védelmének biztosítása érdekében a LED-ek átlátszó epoxigyantába kerülnek beágyazásra, ami nemcsak teljes vízzárást és mechanikai stabilitást nyújt, hanem optikai szempontból is előnyös, ugyanis megfelelő gyártástechnológia alkalmazásával a vízzel megegyező törésmutató hozható létre. Mivel az UNEXUP projekt keretében fejlesztett robot maximális tervezett merülési mélysége 1 500 méter volt, a tokozás nyomásállósága laboratóriumi körülmények között 20%-os biztonsági faktorról, 180 bar víznyomásnak megfelelően kerül validálásra.

4. ÖSSZEGZÉS

A bemutatott kutatás során egy olyan speciális megvilágítási rendszer került kialakításra, amely képes a víz alatti hiperspektrális képalkotás igényeinek kielégítésére. A fejlesztett LED-modulok homogén fényeloszlást biztosítanak a látható tartományban, valamint infravörös kiegészítéssel bővültek, amely elősegíti a diagnosztikus spektrális sávok detektálását és az ásványok megbízhatóbb azonosítását. Az egyedi tokozás lehetővé teszi a víz alatti alkalmazást extrém mélységekben is.

A fejlesztés következő szakaszában a LED egységek validálása történik meg mind felszíni, mind víz alatti környezetben, különös tekintettel a spektrális homogenitás és az intenzitás stabilitásának vizsgálatára. Ezzel párhuzamosan megkezdődik egy konstans áramú fényerősségszabályozó kifejlesztése is, amely biztosítja a fényforrások hosszú távú stabil működését és a fényintenzitás megfelelő szabályozását, ami nagyban segíti a mérések reprodukálhatóságát. Az eredmények várhatóan hozzájárulnak ahhoz, hogy a víz alatti hiperspektrális képalkotás egy még pontosabb és megbízhatóbb módszerre váljon a geológiai kutatások és a környezetmonitorozás területén.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tevékenység az Európai Unió szervezete, az Európai Innovációs és Technológiai Intézet (EIT) finanszírozását kapta a Horizont 2020, az EU kutatási és innovációs keretprogramja keretében.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] A. F. H. Goetz, G. Vane, J. E. Solomon, and B. N. Rock, *Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing*, Science (1979), vol. 228, no. 4704, pp. 1147–1153, Jun. 1985, doi: 10.1126/science.228.4704.1147.
- [2] R. J. Murphy, S. T. Monteiro, and S. Schneider, *Evaluating Classification Techniques for Mapping Vertical Geology Using Field-Based Hyperspectral Sensors*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, no. 8, pp. 3066–3080, Aug. 2012, doi: 10.1109/TGRS.2011.2178419.
- [3] J. Tegdan et al., *Underwater hyperspectral imaging for environmental mapping and monitoring of seabed habitats*, in OCEANS 2015 - Genova, IEEE, May 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271703.
- [4] F. Foglini et al., *Underwater Hyperspectral Imaging for seafloor and benthic habitat mapping*, in 2018 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea), IEEE, Oct. 2018, pp. 201–205. doi: 10.1109/MetroSea.2018.8657866.
- [5] Curtis D. Mobley, *Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters*. 1994.
- [6] Z. Wang, P. Xu, B. Liu, Y. Cao, Z. Liu, and Z. Liu, *Hyperspectral imaging for underwater object detection*, Sensor Review, vol. 41, no. 2, pp. 176–191, May 2021, doi: 10.1108/SR-07-2020-0165.
- [7] Z. Qian et al., *Characteristics of underwater lighting based on white LEDs*, Optik (Stuttg), vol. 245, p. 167638, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ijleo.2021.167638.
- [8] J. K. Lotsberg, E. Marken, J. J. Stamnes, S. R. Erga, K. Aursland, and C. Olseng, *Laboratory measurements of light scattering from marine particles*, Limnol Oceanogr Methods, vol. 5, no. 1, pp. 34–40, Jan. 2007, doi: 10.4319/lom.2007.5.34.
- [9] M. Koba, A. Trohak, N. Zajzon, R. Z. Papp, and M. L. Kiss, *Development of a Controller Unit for Multispectral Imaging System*, in Proceedings of the 2020 21st International Carpathian Control Conference, ICCCC 2020, 2020. doi: 10.1109/ICCC49264.2020.9257210.