



Vetítő ernyő optikai tulajdonságainak vizsgálata 3D képalkotáshoz

Héricsz Dalma
Témavezető: Dr. Koppa Pál
BME Fizikai Intézet,
Atomfizika Tanszék

**BME
2011**

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
1. Bevezetés	3
2. Szóróernyők bemutatása	6
2.1. Kereskedelemben kapható ernyők (SilverFabric™, Silver 3D).	6
2.2. Szabályozott szórású diffúzorok.....	7
2.3. Három módosított dielektrikum szóróernyő ezüst bevonattal.....	10
2.4. Retroreflektor ernyők	11
3. A mérési módszer	13
3.1. A mérési elrendezés.....	13
3.2. Módosított mérési elrendezés	14
4. Diffúz ernyők vizsgálata	17
4.1. Kereskedelemben kapható ernyők vizsgálata.....	17
4.2. Szabályozott szórású diffúzorok vizsgálata.....	18
4.3. Ezüstréteggel ellátott diffúzorok vizsgálata	20
4.4. Diffúz ernyők fénysűrűségének vizsgálata.....	22
5. Retroreflektor ernyők vizsgálata	25
5.1. Mérési eredmények.....	25
5.2. Módosított retroreflektorok vizsgálata	27
6. Összefoglaló.....	31
Köszönetnyilvánítás	32
Hivatkozások.....	33

1. Bevezetés

Az emberek fantáziáját mindig megmozgatta a három dimenziós érzet keltése. A 20. század során keletkezett ötletek és módszerek nyomán lehetségessé vált napjainkra a 3D élmény átélése akár moziban, akár otthon.

Agyunk a két szemünk fizikailag különböző helyéből adódóan képes a két, egymástól kicsit különböző képet összehangolni és értelmezni. Ezáltal vagyunk képesek a teret, azaz a tárgyak egymáshoz képesti távolságát és elhelyezkedését érzékelni. Fél szemünket letakarva elveszik a térlátásunk, csak sík képet kapunk, bár tapasztalataink alapján az agyunk tud következtetni a térbeliségre.

A 3D vetítés tehát a két szemünkön és az agyunk által feldolgozott információkon alapul. Sztereogramnak nevezünk egy képpárt, amelyik egyike az adott beállítás bal szemmel érzékelt látványának, a másik pedig a jobb szemmel érzékelt látványának felvétele. Ezeket a képeket kell egymásra vetítve külön-külön az egyes szemek számára láthatóvá tenni úgy, hogy ne legyen köztük áthallás. Ezt röviden sztereoszkópiának nevezzük. A képalkotáshoz legtöbbször speciális szemüveget alkalmazunk, azonban létezik néhány, nem túl elterjedt szemüveg nélküli – autosztereoszkópikus [1][2] - megoldás is. A sztereoszkópián alapuló 3D megvalósításokat részletezném.

A legkorábbi és legegyszerűbb megoldás az anaglif módszer volt. A 3D hatást a két, különböző színezettel ellátott kép okozza. A néző az adott szemnek megfelelő színeket szűrő szemüveget viselve kapja a 3D képet. A zöld-piros, piros-cián színpárosítás a legelterjedtebb. A módszer hátránya az, hogy nem elég pontos az alkotott kép a színek között lévő átfedések miatt.

Az anaglif módszer továbbfejlesztésének tekinthető az a spektrális multiplexelés, amelyben a jobb és a bal kép különböző hullámhosszú piros-zöld-kék összetételű [3]. A szemüveg ekkor két, ennek megfelelő színszűrőből áll, azonban a szűrők használata meglehetősen költséges beruházás.

Egy másik képszűrési mód lehetséges időbeli multiplexeléssel [3][4]. Ekkor szinkronban a vetített filmmel a szemüveg mindig csak az egyik szem felé engedi át a fényt. Ezt LCD-szemüveggel, és drága elektronikával lehet megvalósítani.

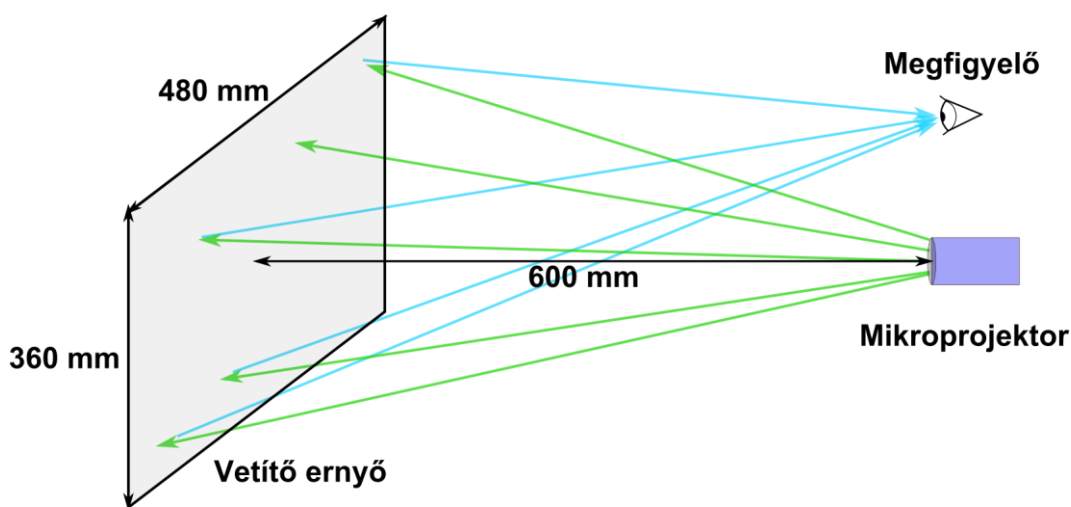
Továbbá ún. volumetrikus [4] és holografikus [5] képalkotások is lehetségesek, de ezek nem megfelelőek nagy közönség számára készítendő alkalmazásnak.

A képeket polarizáció szerint is lehetséges szeparálni [3][6]. Ez a leggyakrabban használt módszer. Az ilyen rendszerek előnye, hogy nagy színhűséggel rendelkeznek, jó polarizációs kioltás esetén nem szellemképesek, és a polarizációs szemüveg egyszerűen és olcsón megvalósítható.

A két kép egyidejű megjelenítése lehetséges egyszerre két, egymásra merőleges polarizációjú polárszűrőkkel ellátott vetítő alkalmazásával, illetve időosztással egyetlen kivetítőn váltogatva a képet, a megfelelő polarizációt alkalmazva [6]. Ehhez a vetítő képes kell legyen a megfelelő (legalább 100 Hz-es) frekvenciával működni, hiszen a normális esetben alkalmazott frekvencia kétszeresével kell vetíteni ahhoz, hogy a mindkét szem a tehetetlensége miatt folytonosnak érzékelje a filmet.

A legegyszerűbb megoldás az, hogy ha egymásra merőleges, lineárisan polarizált nyalábokat vetítünk ki és megfelelő pozíciójú, egymásra merőleges analízatorokból álló szemüveget adunk a nézőnek. Ennél jobb, ugyanakkor drágább lehetőség az, hogy cirkulárisan polarizált filmet vetítünk $\lambda/4$ lemez alkalmazásával. A szemüvegben az analízator két-két, egymáshoz képest rögzített lineáris polarizációs szűrőből és hozzájuk illesztett $\lambda/4$ lemezből áll. Ennek az az előnye, hogy a néző mozgathatja a fejét az optikai tengely körül anélkül, hogy a kép minősége romlana.

A munka során 3D mikroprojektor fejlesztésén dolgoztunk. A mikroprojektor közepes méretű kivető eszköz, a kivetített kép területe 480 mm x 360 mm és a nézőtől 600 mm-es távolságban helyezkedik el (1. ábra). Az alkalmazás célja a könnyű otthoni, utazás közbeni használat kis helyigénnyel. Az én feladatom a kivetítő rendszer ernyőjének legalkalmasabb anyag és felületi struktúra megtalálása.



1. ábra kivetítés mikroprojektorral

A rendszer működésének kulcsponja a fény reflektálása. Az élvezhető képminőséghez a következőket kell elérni: a polarizált fénynyalábok visszaverődés után is maradjanak polarizáltak; a látott kép legyen elég fényes és homogén - vagyis jól látható legyen és ne legyenek fényesebb-sötétebb foltok a kivetített tartományban. További elvárás lehet, hogy ne legyen túl szűk az a tartomány, ahol a korábbi kívánalmak teljesülnek - tehát a nézőnek ne kelljen tökéletesen mozdulatlanul ülnie egy kijelölt pontban. A felsoroltak miatt az ernyőnek a következő feltételeket kell teljesítenie: legyen polarizációtartó, jó hatásfokkal verje vissza a fényt, illetve a visszavert fény szórási profilja az elrendezésnek megfelelően jól definiált legyen. A jó hatásfok azért is különösen fontos, mert a mikroprojektor elsősorban mobil eszközök kijelzőjeként használandó, vagyis a jó képminőség mellett fontos a kis méret és az alacsony fogyasztás is.

2. Szóróernyők bemutatása

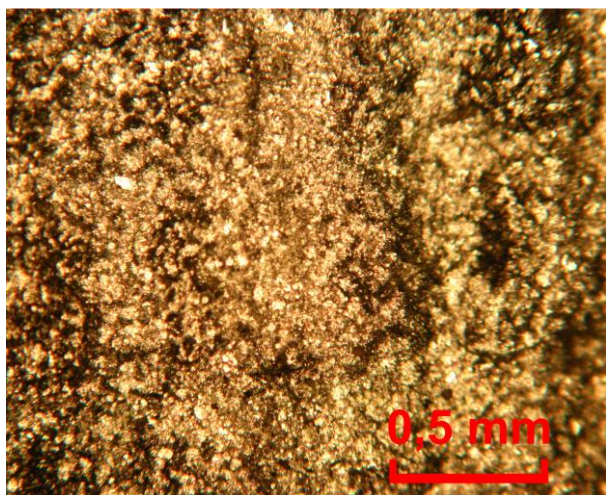
A szóróernyőket a fenti követelményeket figyelembe véve a következő paraméterekkel jellemeztem.

A polarizációt négyféle összeállításban mértem (a részletek alább közlöm), ebből két esetben a polarizátorok egymással párhuzamosan álltak, vagyis az adott polarizációt maximálisan átengedték, illetve a másik két esetben keresztezten álltak: ekkor az adott irányú polarizációból a lehető legkevesebb jutott a detektorra. Ekkor a polarizáció megőrzésére vonatkozó mérőszám a párhuzamos és keresztezett polarizátorok esetén mért maximális teljesítmények hányadosa, melyet a továbbiakban polarizációs kioltási rátának nevezek (P). A szem érzékelése logaritmikus, azaz nagyságrendi különbségeket képes észlelni. Eszerint $P = 100$ körüli érték már két nagyságrend különbséget jelent, mely alkalmas a 3D kép jó érzékelésére.

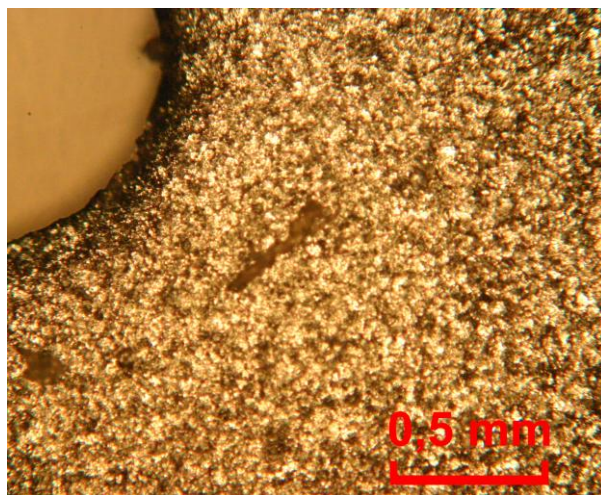
Az ernyő által szórt fény szögeloszlását a szórási kúp félszögével minősítettem (ez a szögeloszlás félértékszélességének fele).

2.1. Kereskedelemben kapható ernyők (SilverFabric™, Silver 3D).

A két minta hasonló: ezüstözött, diffúz felületűek. A szemmel látható eltérés köztük az, hogy az egyik perforált. A perforáció ez esetben a kivetítő mögé helyezett hangfalakkal ellátott rendszer megfelelő hanghatását teszi lehetővé.



2. ábra folytonos minta



3. ábra perforált minta

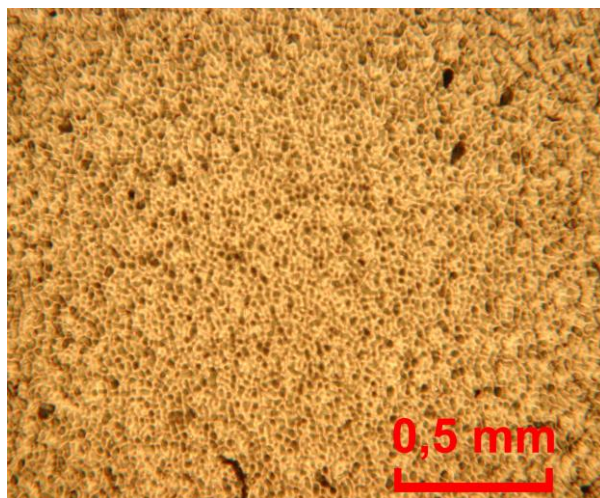
A 2. ábrán látható a folytonos, illetve a 3. ábrán a perforált minta. A folytonos szemmel láthatóan kevésbé homogén felületű, mint a perforált. A mérés során a mintákat megvilágító lézernyaláb átmérője azonban mm-es nagyságrendű, így a kismértékű inhomogenitás kiintegrálódik, és nem okoz lényeges különbséget a két minta között.

A mintákról a gyártó által közölt adatok: a polarizációs kioltási ráta 80, a szórási félszög pedig 17° .

2.2. Szabályozott szórású diffúzorok

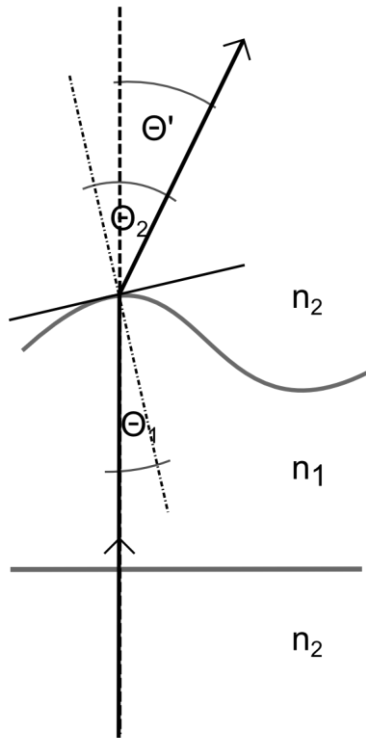
A Luminit LSD 10° , 40° és 60° diffúzorokat azért mértem meg, mert jól meghatározott szórási szöggel rendelkeznek, így jól definiálható az általuk visszavert fény szórási félszöge.

A dielektrikum egyik oldala strukturált, a másik oldala sík. A minta struktúrája nem szabályos, de a használt léptékünkben homogénnek tekinthető (4. ábra). Az egyes minták struktúrája a szemcsék méretében és alakjában tér el. A 10° -os diffúzor szemcséi nagyobbak a másik kettőénél, míg a $40^\circ \times 60^\circ$ -os szemcséi nyújtottabbak a 40° -os irányban.

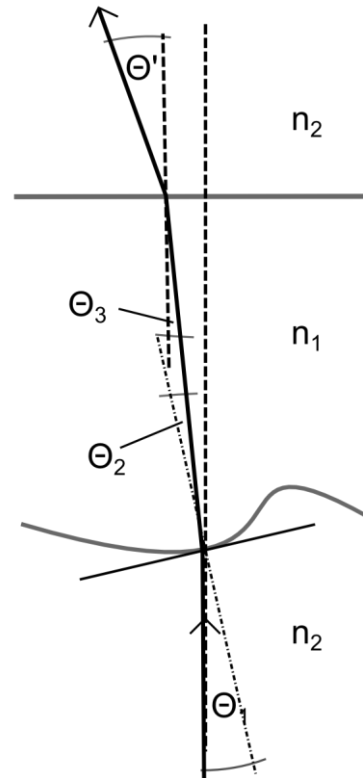


4. ábra 10° -os diffúzor

A szórási profilt illetően fontos kérdés, hogy milyen sorrendben halad át a fény a különböző felületeken. A gyártó állítása szerint a szórási szög nem függ ettől. Ezt számolással bizonyítottam, az 5. ábrán látható a sík oldalon bemenő, a 6. ábrán pedig a strukturált oldalon bemenő nyaláb és a számolásban szereplő szögek.



5. ábra sík oldalon bemenő fény



6. ábra strukturált oldalon bemenő fény

A minta törésmutatója n_1 , a levegő törésmutatója n_2 . A számolásokat merőleges beesés mellett végeztem el.

Ha a minta sík felén esik be a fény, akkor Θ_1 a beesési szög a dielektrikum-levegő határfelületen, Θ_2 a kilépő sugár szöge, Θ' pedig a merőleges beeséstől való eltérés szöge.

Váltószögek miatt:

$$\Theta' = \Theta_2 - \Theta_1 \quad (1)$$

A Snellius-Descartes-törvény alapján Θ_1 és Θ_2 között fennálló összefüggés:

$$n_1 \sin \Theta_1 = n_2 \sin \Theta_2 \quad (2)$$

Melyet kis szögekre $\sin \Theta \approx \Theta$ - val közelíthető, így:

$$\Theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \Theta_1 \quad (3)$$

Θ_2 helyére visszahelyettesítve:

$$\Theta' = \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \Theta_1 \quad (4)$$

A másik esetben Θ_1 a levegő-dielektrikum határfelületen a beesési szög, Θ_2 a dielektrikum-levegő határfelületen a kilépési szög, Θ_3 a második dielektrikum-levegő határfelületen a beesési szög, a kilépési szög illetve a merőleges beeséstől való eltérés pedig Θ' .

Θ_2 az előbbiekhöz hasonlóan felírható:

$$\Theta_2 = \frac{n_2}{n_1} \Theta_1 \quad (5)$$

A dielektrikumban a két beesési merőleges és a fénysugár által meghatározott háromszög két szöge Θ_2 és Θ_3 , melyek összege egyenlő a nem mellettük fekvő külső szög nagyságával. A külső szög nagysága pedig Θ_1 , mert a nyaláb egyenesét párhuzamosok szelik. Vagyis:

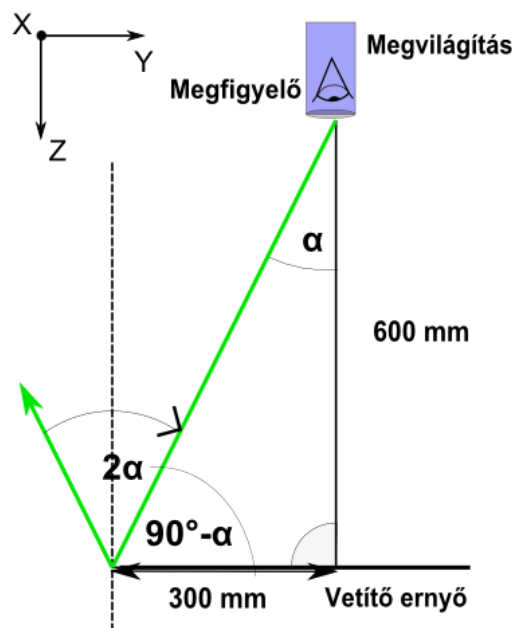
$$\Theta_3 = \Theta_1 - \Theta_2 = \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) \Theta_1 \quad (6)$$

Majd ismét a törési törvény alapján és visszahelyettesítve bele az ismert értékeket:

$$\Theta' = \frac{n_1}{n_2} \Theta_3 = \left(\frac{n_1}{n_2} - 1\right) \Theta_1 \quad (7)$$

Tehát a kilépő fény szórási szöge nem függ attól, hogy a diffúzort melyik irányból világítjuk meg.

A visszaverődési törvényből a $\Theta_R = 2 \cdot \Theta_1$ illetve ha a dielektrikumra $n_1 \approx 1,5$ és levegőre $n_2 \approx 1$, akkor $\Theta' \approx 0,5 \cdot \Theta_1$ vagyis $\Theta_R \approx 4 \cdot \Theta'$, ahol Θ' a diffúzor szórási félszöge. Ebből meg lehet becsülni adott transzmissziós diffúzor reflexiós szórási félszögét. A cég a teljes szórási szöget adta meg. Vagyis a diffúzor névleges szórási értékének várhatóan kétszerese lesz a reflexiós szórási félszög. Így a 10°-os diffúzorra 20° várható. A 40°-os és a 60°-os mintára az alapvetően nagy szórási szögek miatt a becslés kevésbé fog érvényesülni, de nagy szöget várok.



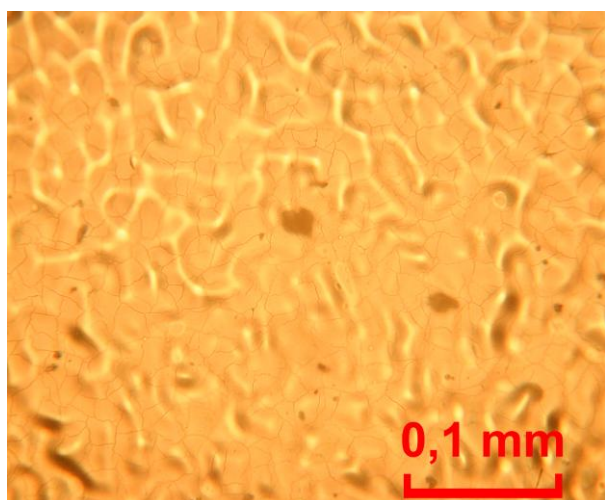
7. ábra visszaszórás az ernyő legtávolabbi pontjáról

A diffúzor szórási szögére határt szabnak a kivetítő rendszerünk paraméterei. A feltétel az, hogy a teljes képernyő jól látsszon, azaz az ernyő "sarkairól" is szóródjon vissza a néző szemébe fény. Ha az ernyő közepénél helyezkedik el a néző, akkor az ernyő paraméterei ($a = 480 \text{ mm}$, $b = 360 \text{ mm}$) alapján Pitagorasz-tétellel a képernyő átlója 600 mm , vagyis a legtávolabbi pont 300 mm -re helyezkedik el a középponttól. Így ha a 7. ábrán látható módon szeretnénk elérni, hogy a visszaverődő fény a beeső irányába szóródjon, a szórási szögnek $2 \cdot \arctg(300/600) = 53,1^\circ$ -nak kell lennie.

A diffúzor dielektrikum természetéből kifolyólag a polarizációs rátára nem várható jó érték. Ez kiküszöbölhető fém felvitelével a dielektrikum felületére.

2.3. Három módosított dielektrikum szóróernyő ezüst bevonattal

A korábban használt Luminit LSD 10° , 40° és 60° diffúzorokat ezüsttel vontuk be, a minták a 8. ábrán és a 9. ábrán láthatóak.



8. ábra 10° -os ezüstözött diffúzor

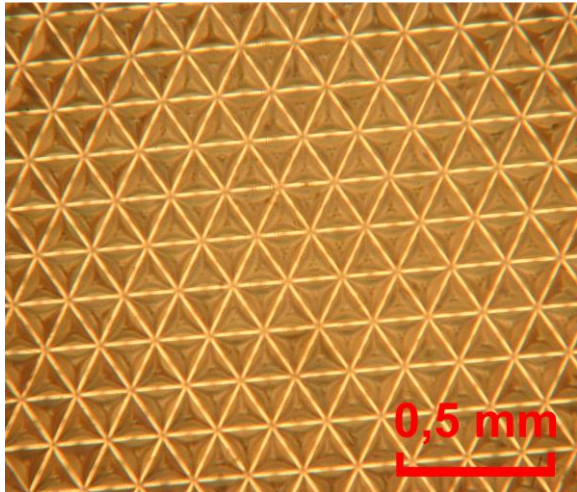


9. ábra $40^\circ \times 60^\circ$ -os ezüstözött diffúzor

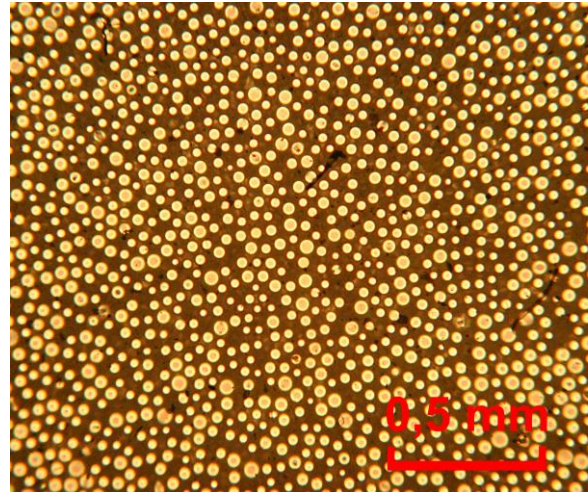
A fém bevonatnak javítania kell a dielektrikum polarizációs rátáján. Továbbá nagyobb lesz a reflexiós tényezője a mintának, tehát megnő a reflektált fényteljesítmény, ami a mikroszkópos felvételeket összehasonlítva is látszik (vö. a 4. ábrát a 8. és 9. ábrákkal).

2.4. Retroreflektor ernyők

Többféle retroreflektor struktúrát vizsgáltam. A retroreflektoroknak hasznosítani szeretném azon tulajdonságát, hogy a forrás irányába veri vissza a fény jelentős részét annak érdekében,



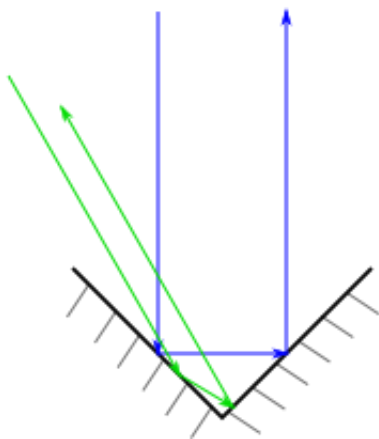
10. ábra piramis struktúrájú retroreflektor



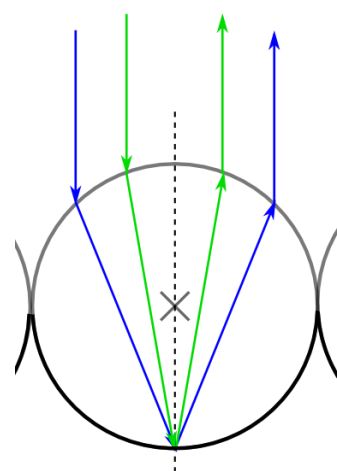
11. ábra Oralite minta gömbös struktúrával

hogy a néző jól definiálható helyére nagy mennyiségű fényt verjen vissza..

Ennek megvalósítása a derékszögű piramisstruktúrával ellátott felület, mely a 12. ábrán látható módon - a valóságban három dimenzióban - többszörös visszaverődések révén a beeső fénynyalábbal párhuzamosan veri vissza a fénysugarakat. Az egyik ilyen minta a biciklisek által használt lábra simuló fényvisszaverő szalag volt (10. ábra), a másik egy közönséges fényvisszaverő prizma. Mindkét struktúra szabályos. A prizma piramisai összemérhető nagyságúak a lézernyalábbal.



12. ábra reflexió piramis struktúráról



13. ábra reflexió gömbös struktúráról

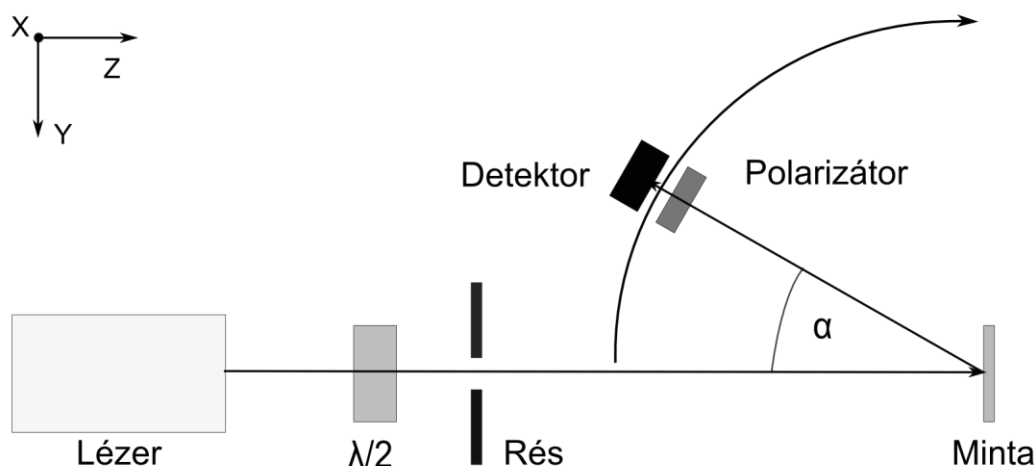
Egy másik megvalósítás a gömbstruktúra, ekkor a felületet sűrűn egymás mellett elhelyezett üveggömbökkel töltjük ki. A gömbök hátsó oldalán általában fémréteget

alkalmaznak, így az arra fókuszálódó nyaláb visszaverődik, majd az üvegből kilépve szintén a beeső nyalábbal ellentétes irányban terjed (13. ábra). Ilyen minta volt a 3M cég által forgalmazott termék illetve az Oralite 5500 (11. ábra).

Várakozásaim szerint a visszavert fény jól irányított lesz. Ezzel szemben a polarizációt minden bizonnyal nem tartják meg a minták a teljes visszaverődésnek köszönhetően.

3. A mérési módszer

3.1. A mérési elrendezés



14. ábra goniométeres mérési összeállítás

A mérést goniofotométeres [7] elrendezésben végeztem, melynek vázlata a 14. ábrán látható.

A fényforrás egy 532 nm-es frekvenciakétszerezett Nd-YAG lézer volt, melyet azért alkalmaztam, mert a fénye jól kollimált, koherens és polarizált, ezen kívül a hullámhossza a látható tartomány közepére esik. Így nem szóródik a tér minden irányába, hanem a minta egyetlen kis kiterjedésű tartományára koncentrálódik és a polarizáció is jól vizsgálható. A lézer névleges teljesítménye 25 mW, a maximális mért teljesítménye 27,7 mW.

A lézerefény polarizációját egy $\lambda/2$ -es fázistoló lemez forgatásával állítottam be, ezzel jelölve ki a mintára beeső fény polarizációját.

A 14. ábrán lévő koordinátarendszer z-tengelye jelöli ki az optikai tengelyt és azon a beeső hullám irányát. A függőleges polarizációt ez alapján x irányú polarizációnak, a vízszintes polarizációt y irányúnak nevezem a továbbiakban. Így a $\lambda/2$ és a polarizátor négyféle állását a következő módon jelölöm: az első betű a fény bemenő polarizációját, a második a kimenő polarizációját jelenti. Ha a polarizátor és az analízátor állása megegyező (x-x, y-y), akkor párhuzamos állásúnak, ha pedig különböző (x-y, y-x), akkor keresztezett állásúnak nevezem az adott összeállítást.

A polarizációs ráta mérésének felülről határt szab a használt polarizátorok kioltása és a mérésben szereplő optikai elemek kettőstörése, ezért megmértem a maximálisan és minimálisan átengedett teljesítményt a polarizátorok párhuzamos és keresztezett állásainál.

	x irányú polarizátor esetén	y irányú polarizátor esetén
x irányú analizátor	1,56 mW	13 μ W
y irányú analizátor	11 μ W	1,65 mW
polarizációs ráta	142	127

1. táblázat a mérési összeállítással mérhető maximális polarizáció ráta

Vagyis a polarizációs rátát csak kb. 130-as értékig lehetséges mérni, e fölött a rendszerre jellemző kioltási rátát kapnánk (1. táblázat).

A mintatartó a középpontja körül elfordítható - a középpont az optikai tengelyre esik - így a minta síkja optikai tengellyel bezárt szöge tetszőlegesen állítható. A reflexiós tartományban mértem, ahol a direkt nyaláb vizsgálata merőleges beesés mellett a detektor fizikai kiterjedése miatt nem lehetséges. A mintatartót a merőleges beeséstől néhány fokkal elfordítva a direkt reflektált nyaláb is detektálható, így ezt a beállítást használva a minta tengelye néhány fokos szöget zárt be az optikai tengellyel.

A szórt fény teljesítményét egy Coherent FieldMate típusú teljesítménymérővel detektáltam, mely a maximális lézerteljesítménytől a 10 nW-os tartományig képes mérni.

A mintáról szóródott fényt a szórási szög és a polarizáció függvényében is vizsgáltam, ezért a detektort egy forgatható karra rögzítettem, a forgástengelytől 25 cm távolságra. A detektor elé egy változtatható állású polarizátort helyeztem el, így lehetővé téve a korábban említett négyféle polarizációs állapot mérését.

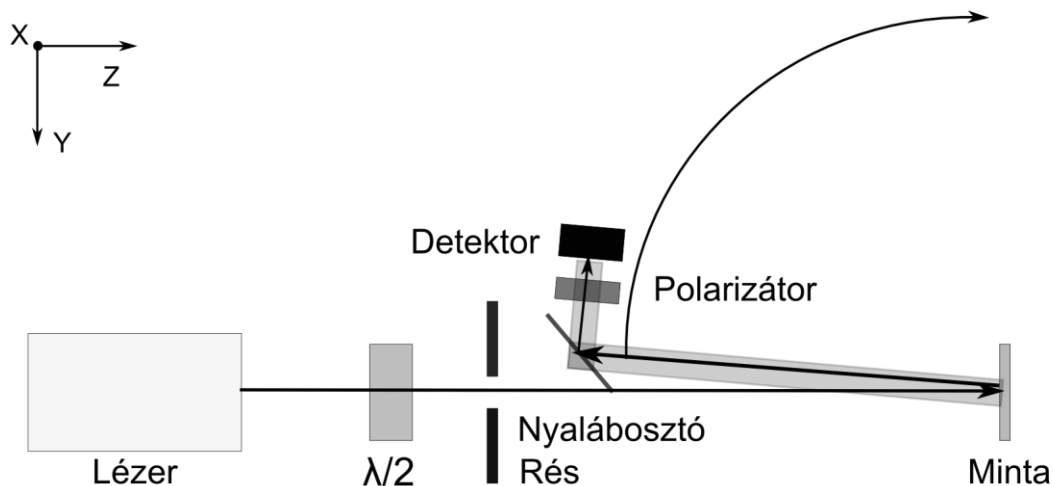
A detektor átmérője $d_{\text{det}} = 8 \text{ mm}$, a minta és a detektor távolsága $r_{\text{det}} = 250 \text{ mm}$. Így a detektor által érzékelt fénykúp félszöge:

$$\Delta\varphi = \frac{d_{\text{det}}}{r_{\text{det}}} = 0,016 \text{ rad} = 1,834^\circ \quad (8)$$

A szögeloszlást fokenként mértem, ez nagyjából kétszeres túlmintavételezésnek felel meg. Az adatok begyűjtését a detektort AD-konverterrel a számítógéppel összekötve a Labview környezetben írt programmal végeztem.

3.2. Módosított mérési elrendezés

Mivel a retroreflektorok a fény jelentős részét abba az irányba verik vissza, amerről az ráesett, a retro-reflektált fényt nem lehetséges a fent bemutatott összeállítással mérni.

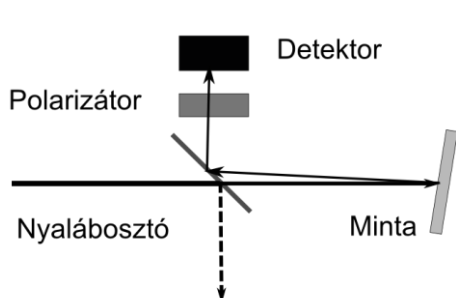


15. ábra módosított mérési elrendezés

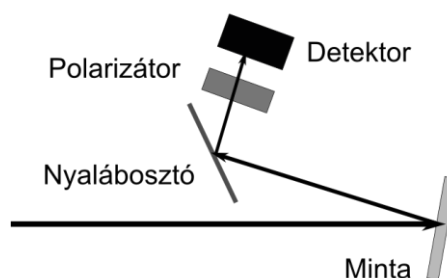
Ezért a mérést a következő módon alakítottam át (15. ábra).

A retroreflektált nyalábot a mérhetővé lehet tenni úgy, hogy ne az optikai tengelyen helyezkedjen el a detektor. Ezért egy nyalábosztót tettem a forgatható karra [8], a detektor korábbi helyére, illetve a forgásirányra merőlegesen egy újabb kart szereltem a forgatható karra, és erre tettem a polarizátort és a detektort. Így a mintáról visszaverődött fény a nyalábosztóról a detektorba reflektálódik.

A minta bizonyos szögnél nagyobb elfordításánál a direkt és retroreflektált nyalábok jól láthatóan szétválnak és a csúcsok külön-külön is jól láthatóak, azonban átfedés van a két csúcs közötti területen. A csúcsok külön-külön való méréséhez a nyalábosztó nem elég nagy. Ezért a retroreflektált fényt az optikai tengelyhez közel, a fent leírt módszerrel mértem (16. ábra), míg a direkt nyalábot úgy, hogy a nyalábosztón már nem haladt át a fény a lézertől a mintáig tartó úton, csupán a mintáról szóródva esett az osztótükörré (17. ábra). Tehát a két elrendezés közti különbség az, hogy az első esetben az osztó a beeső fény körülbelül felét kicsatolja a rendszerből, míg a második esetben a mintán a teljes nyaláb szóródik.



16. ábra retroreflexió mérése



17. ábra direkt reflexió mérése

A nyalábosztó különböző helyzetei miatt nem egyforma teljesítményű fény szóródik a mintáról a fenti két esetben, ezért a kapott eredményeket korrigálni kell ahhoz, hogy összehasonlíthatóak legyenek. Ezt a korrekciós tényezőt a detektoron a két esetben mérhető teljesítmények hányadosa adja: $\frac{P_{osztónélkül}}{P_{osztóval}} = f_{korr} = \frac{9,2mW}{2,2mW} = 4,18$. Ezzel az értékkel kell megszorozni a retroreflexióban, nyalábosztóval mért értékeket.

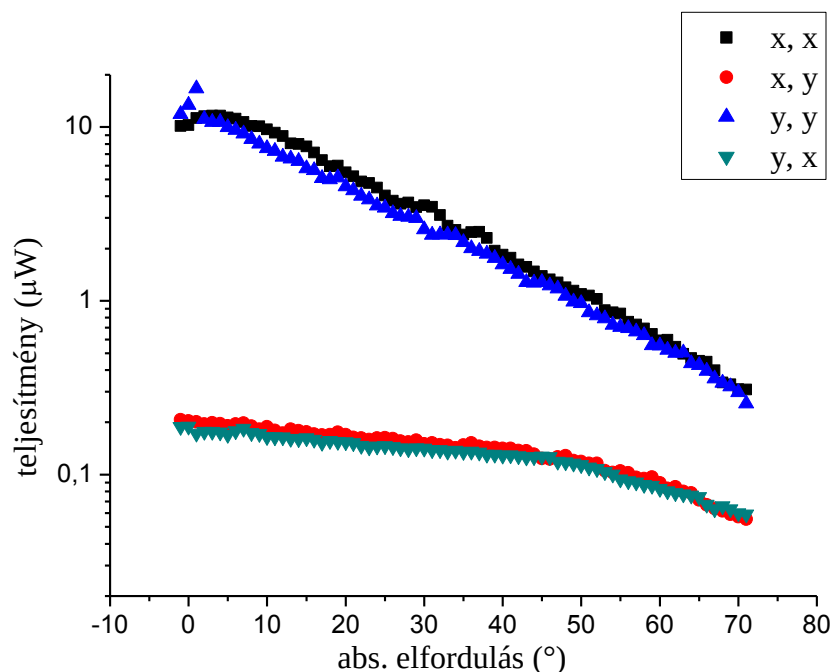
4. Diffúz ernyők vizsgálata

A 2. fejezetben bemutatott minták egyik csoportját, a diffúz ernyőket - a kereskedelembe kapható ernyőket (2.1.), szabályozott (2.2) és módosított (2.3.) diffúzorokat - vizsgáltam. A fejezetben ezek szórási és polarizációs tulajdonságait vizsgáltam, illetve azt, hogy milyen fénysűrűséget lehetne látni rajtuk.

Minden mért mintacsoportból egyetlen - a teljesítmény szögfüggésére vonatkozó - ábrát mutatok be. Az ábrák az adott csoportban a legmegfelelőbb tulajdonságú minta négyfajta polarizációs állásnál készített görbéit tartalmazzák. A teljesítmény skáláját logaritmikussá vettem a nagyságrendi összehasonlíthatóság érdekében.

4.1. Kereskedelembe kapható ernyők vizsgálata

A kereskedelmi forgalomban kapható ernyők kétféle mintáján végeztem el először a négy mérést. A perforált ernyő esetében ábrázoltam a teljesítményt az optikai tengelytől való abszolút elfordulás függvényében, logaritmikus skálával (18. ábra).



18. ábra perforált ernyő teljesítménykarakterisztikája

Látható, hogy a polarizációk párhuzamos állásánál (x irányú polarizátor és a x irányú analizátor, illetve y irányú polarizátor és a y irányú analizátor) a görbék lefutása között nincsen jelentős eltérés. Az y-x és az x-y esetben, tehát a polarizációk egymásra merőleges

állásánál a lefutás szintén jó közelítéssel megegyezik. Azonban tisztán látható, hogy a párhuzamos és a merőleges állások között majdnem két nagyságrendnyi különbség van.

A mért teljesítményértékekből a fentiekben leírt módon (2. fejezet bevezetése) a következő polarizációs kioltási rátákat kaptam (2. táblázat):

Minta	(x,x)/(x,y)	(y,y)/(y,x)	Átlag
Folytonos	68,615	92,899	80,757
Perforált	56,209	88,404	72,307

2. táblázat SilverFabric™ minták polarizációs rátái

A görbék szimmetrizálása után az Origin nevű program segítségével Gauss-függvényt illesztettem: $y = y_0 + Ae^{-\frac{(x-x_c)^2}{2w^2}}$, ahol y_0 a függőleges irányú eltolást, A az amplitúdó, x_c a centráló tényező és w a szórás. A szórásból a félértékszélesség fele, azaz a szórási félszög a következő módon kapható: $FWHM / 2 = w\sqrt{\ln(4)}$. Az illesztésből kapott értékek közül a 3. táblázatban csak az utóbbi paramétert tüntettem fel, mert a vizsgálódás szempontjából az érdekelt. Az előbb leírt módon jártam el minden mérés kiértékelésénél.

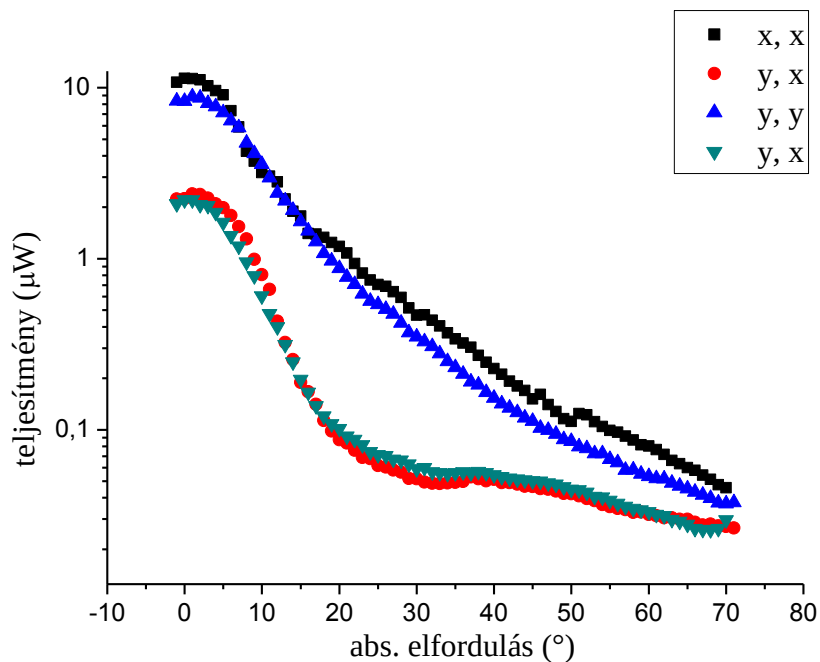
Minta (polarizáció)	Félszög(°)	Hiba	Átlagos félszög
Folytonos (xx)	13,222	0,221	14,733
Folytonos (yy)	16,245	0,175	
Perforált (xx)	20,188	0,207	19,065
Perforált (yy)	17,942	0,275	

3. táblázat SilverFabric™ minták szórási félszögei

Mindkét esetben körülbelül egyező értékeket kaptam a gyártó által közölt adatokkal: $P = 80$ és a félszög pedig 17° .

4.2. Szabályozott szórású diffúzorok vizsgálata

A Luminit LSD minták közül a 10° -os, $40^\circ \times 60^\circ$ - és a 60° szórási szögű mintákat mértem. Ez négyszer négy mérési sorozatot jelent, mert a $40^\circ \times 60^\circ$ -as mintát mindkét irányban megvizsgáltam. A 19. ábrán a 10° -os diffúzoron végzett négy kísérlet eredményét ábrázoltam, a teljesítményt az elfordulás függvényében.



19. ábra 10° diffúzor teljesítménykarakterisztikája

Az előző mérésorozathoz hasonlóan ismét hasonlóak az azonos polarizátor állásoknál a kapott karakterisztikák, illetve az x-x és y-y állásnál mért intenzitások rendre nagyobbak, mint az x-y, y-x keresztezett állásoknál. (19. ábra).

A polarizációs ráták a várakozásaimnak megfelelően alacsony értéket adtak. A polarizációs ráta kicsi, vagyis nincsen a maximumok között egy nagyságrendi különbség sem. Tehát a szem logaritmikus érzékelése miatt az egyes esetekben mind a két polarizáció érzékelhető egymás mellett, ami nem alkalmas ernyő készítésére - ez igaz mindegyik vizsgált diffúzorra (4. táblázat).

Minta	(x,x) / (x,y)	(y,y)/(y,x)	Átlag
10°-os diffúzor	4,740	4,011	4,376
40°x60°diffúzor, 40°-os oldala	9,239	5,445	7,342
40°x60°diffúzor, 60°-os oldala	7,338	7,554	7,446
60°-os diffúzor	6,993	5,263	6,128

4. táblázat diffúzorok polarizációs rátái

Az egyes görbék szórási félszögének meghatározásának értelme azokban az esetekben volt, amikor a polarizátor és az analízator egymással párhuzamos a polarizációs állásban voltak (x-x, y-y).

Minta (polarizáció)	Félszög(°)	Hiba	Átlagos félszög(°)
Diffúzor 10° (xx)	7,229	0,102	8,148
Diffúzor 10° (yy)	9,068	0,073	
Diffúzor 40°(xx)	23,958	0,238	22,334
Diffúzor 40°(yy)	20,710	0,198	
Diffúzor 60°(xx)	41,277	0,430	34,428
Diffúzor 60°(yy)	27,580	0,414	
Diffúzor 60°(xx)	27,473	0,319	25,768
Diffúzor 60° (yy)	24,061	0,300	

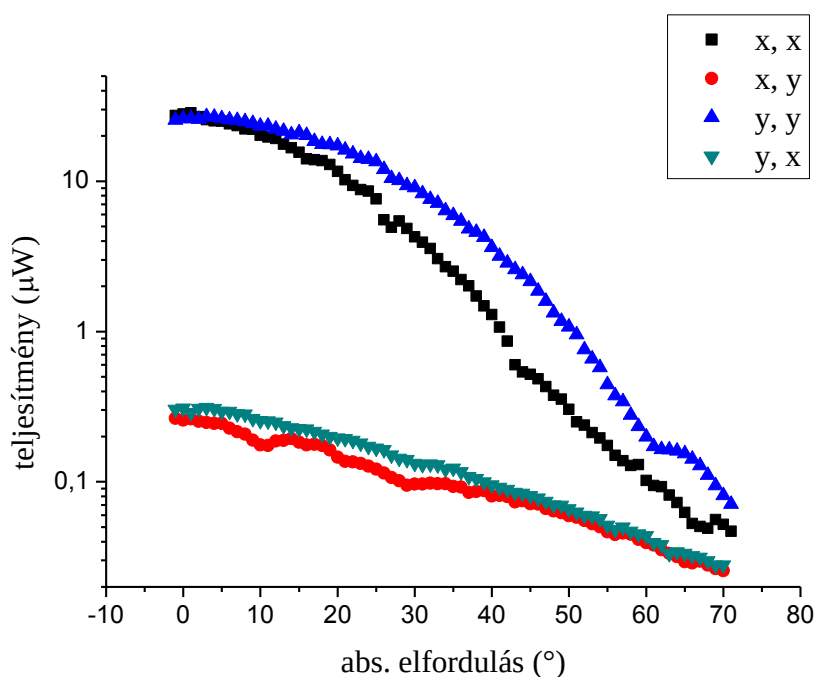
5. táblázat diffúzorok szórási félszögei

A 2. fejezetben közölt becslés nem teljesült a szórási félszögekre (5. táblázat). Ennek az az oka, hogy abban az esetben, amikor a strukturált oldalon esik be a fény, akkor a sík oldalról is történik visszaverődés, ezért más lesz a karakterisztika.

Tehát a várakozásnak megfelelően a polarizációt nem tartotta a meg dielektrikum diffúzor. Ez a konstrukció ilyen módon nem alkalmas ernyőnek, azonban fémréteg felvitelével a diffúzor tulajdonságai előnyösen változtathatóak.

4.3. Ezüstréteggel ellátott diffúzorok vizsgálata

Az előző, 2. pontban mért mintákat vékony ezüst bevonattal láttuk el abból a célból, hogy jól meghatározott szórási szöggel és nagy polarizációs kioltási rátával reflektálják a polarizált fényt.



20. ábra ezüstözött 10° diffúzor teljesítménykarakterisztikája

A 10°-os ezüstözött diffúzor mérési eredményei láthatóak a 20. ábrán. Ebben az esetben a párhuzamos és keresztezett polarizátorok között két nagyságrendnyi különbség van, ami jó polarizáció-megtartást jelent. A többi minta esetében nem sikerült lényeges változást elérni annak következtében, hogy a nagy diffúziós szög miatt többszörös visszaverődések révén szóródott a fény, s ekkor a polarizáció nem marad meg. A 6. táblázatban foglaltam össze a négy ezüstözött mintára vonatkozó mérési eredményeket.

Minta	(x,x)/(x,y)	(y,y)/(y,x)	Átlag
10°-os diffúzor	107,468	87,144	97,306
40°x60°diffúzor, 40°-os oldala	5,706	6,443	6,075
40°x60°diffúzor, 60°-os oldala	5,892	4,581	5,237
60°-os diffúzor	3,975	4,141	4,058

6. táblázat ezüstözött diffúzorok polarizációs rátái

Az illesztésből meghatároztam az egyes profilok szórási félszögeit az x-x és y-y esetekre (7. táblázat).

Ezüstözött minta (polarizáció)	Félszög(°)	Hiba	Átlagos félszög(°)
Diffúzor 10° (xx)	15,369	0,090	17,912
Diffúzor 10° (yy)	20,454	0,084	
Diffúzor 40°(xx)	35,452	0,045	36,016
Diffúzor 40°(yy)	36,579	0,417	
Diffúzor 60°(xx)	33,778	1,527	34,909
Diffúzor 60°(yy)	36,039	1,526	
Diffúzor 60°(xx)	32,042	0,378	34,320
Diffúzor 60°(yy)	36,597	0,509	

7. táblázat ezüstözött diffúzorok minták szórási félszögei

A minták ismét két csoportba sorolhatóak. A korábbi becslésem szerint a transzmissziós szórási szög kétszeresét vártam a reflexiós szórási félszögnek. Ez jó közelítéssel teljesült a 10°-os mintára, a többire azonban nem. A becsléstől eltérő eredményt ismét a nagy szórási szögeknél való a többszörös szóródás okozza.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 10°-os diffúzor mindkét paramétere megfelel a kívánt feltételeknek, a többi azonban nem volna jó választás ernyőnek.

Látható, hogy nagy szórási szögeknél a fémréteg ellenére sem lehetséges megtartani a visszaverődött fény polarizációs orientációját. A jövőben érdemes megvizsgálni, hogy mekkora szögtartományban nincsen többszörös visszaverődés és ekkor hogyan alakulnak a reflexiós szórási félszögek. A 10°-os diffúzor 15-20°-os szórási szöge a SilverFabric™-ével egyező, azonban a korábbi számolás szerint az ernyő legtávolabbi pontjához 60°-os visszaszórásra lenne szükség - ez 30°-os szórási félszöget jelent. Ezért a 10° és 30° közötti ezüstözött diffúzoroknál lehetséges ernyőnek megfelelő mintát találni abban az esetben, ha a szórási szög növelése nem csökkenti a polarizációs rátát.

4.4. Diffúz ernyők fénysűrűségének vizsgálata

A gyakorlatban az ernyő polarizációtartása mellett a legfontosabb tényező, hogy elég fényes és homogén legyen a néző által látott kép. Az egyes minták szórási profiljainak ismeretében megbecsültem, hogy milyen fényesnek tűnne a képernyő, ha az adott struktúrát alkalmaznánk ernyő készítésére [9].

A megvilágított ernyőre igaz lesz, hogy a teljes felületére eső fénysűrűséget az ernyő felületére síkban illetve a szórás irányára térszögben integrálva megkapjuk a megvilágító fényáramot:

$$\iint \left(\iint B(x, y, \Theta, \varphi) dx dy \right) d\Omega = F, \quad (9)$$

ahol $B \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ a fénysűrűség, ami megmutatja az ernyő fényességét, (x, y) az ernyő adott pontjának koordinátái, (Θ, φ) pedig az x és y irányú beesési szögek, $d\Omega$ [ster] a térszög és F [lumen] a fényáram, az ernyőre eső fény teljesítménye. Ha az ernyő megvilágítása egyenletes, azaz B nem függ (x, y) -től, – ami elvárás kivetítéskor –, akkor az egyenlet

$$\iint B d\Omega = \frac{F}{A} \quad (10)$$

alakba írható. A fénysűrűség függ a néző látószögétől, ezért vehetjük $B(\Theta, \varphi) = B_0 f^1(\Theta, \varphi)$ -t, ahol a teljes térszögre $\iint f(\theta, \varphi) d\Omega = 1$. Ehhez $f(\theta, \varphi)$ -t a következőképpen választottam:

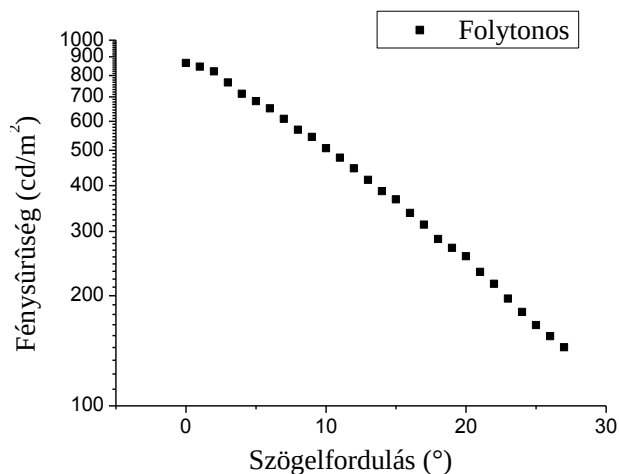
$$f(\theta, \varphi) = \frac{m(\theta)m(\varphi)}{\iint m(\theta)m(\varphi) d\Omega}, \quad (11)$$

ahol $m(\theta)$ és $m(\varphi)$ a mért teljesítményértékeket jelenti a szórási szög függvényében a teljes mért teljesítménnyel normálva. Így B -t kifejezve:

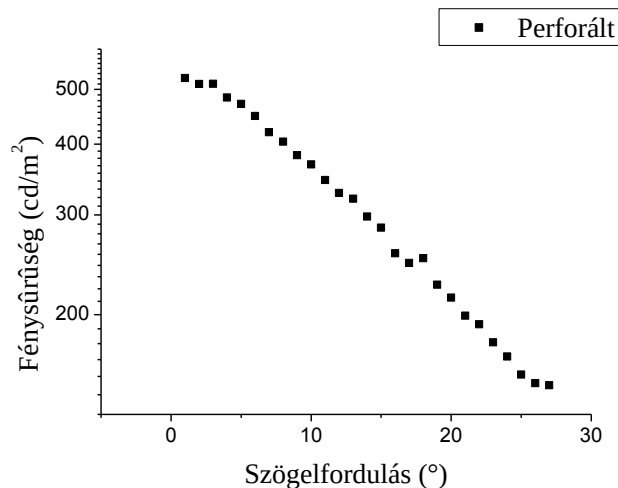
$$B(\theta, \varphi) = \frac{F}{A} f(\theta, \varphi). \quad (12)$$

$B(\theta, \varphi)$ megadja az ernyő egy adott pontjában a mérhető fénysűrűséget.

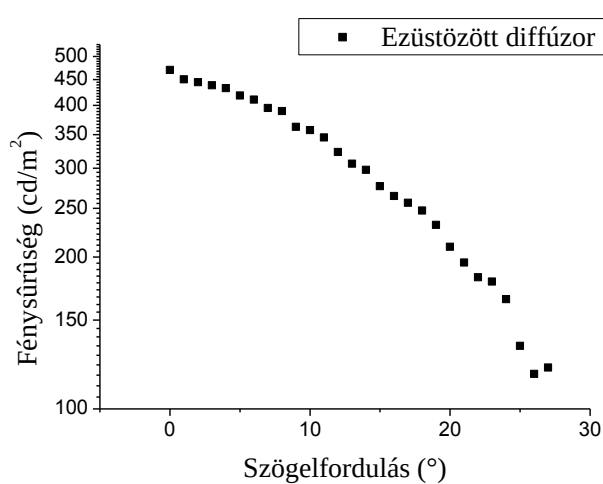
A számoláshoz a fényáramot $F = 50$ lumennek vettem, az ernyő területe $A = 0,36 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} = 0,1728 \text{ m}^2$. Feltételeztem, hogy 100% a reflexió. A két polarizációra kapott értékek átlagát ábrázoltam (21-23. ábrák). Negyedikként vettem egy ideális szórási profilt (24. ábra), egy olyan Gauss-eloszlást, melynek a félértékszélessége a képernyő leg távolabbi pontjára, az egyik csúcsára esik, s a számolást elvégeztem ez esetben is. A feltételnek megfelelően az ideális görbe szórási félszöge 27° -os, ebből a szórásra $FWHM / \sqrt{\ln(4)} = w = 0,4$ adódik.



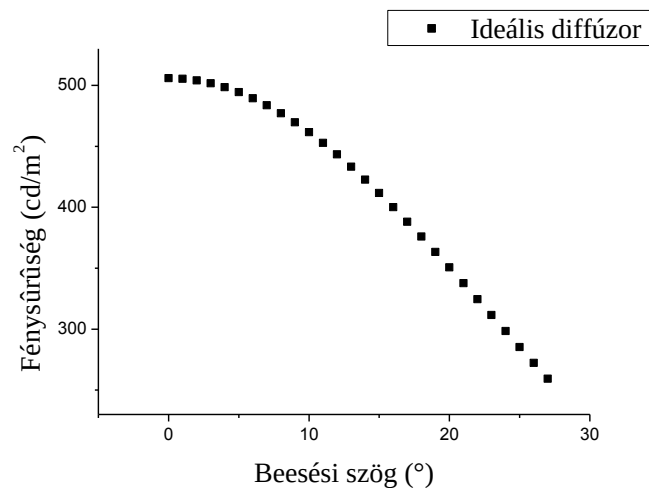
21. ábra folytonos minta teljesítménysűrűsége



22. ábra perforált minta teljesítménysűrűsége



23. ábra ezüstözött minta teljesítménysűrűsége



24. ábra ideális minta teljesítménysűrűsége

Az egyes görbék maximum és minimum helyeit a 8. táblázatban foglaltam össze.

Minta	Maximális fényssűrűség (cd/m ²)	Minimális fényssűrűség (cd/m ²)	Maximum/ minimum
Folytonos	866,5	144,6	6,0
Perforált	698,3	147,8	4,7
Ezüstözött diffúzor (10°)	469,8	120,8	3,9
Ideális diffúzor	505,9	259,3	1,95

8. táblázat diffúz ernyők fényssűrűsége

A minták maximumai a képernyőktől várható fényssűrűség intervallumába esnek: tipikusan a kijelzők 200-1500 cd/m² közé eső paraméterekkel rendelkeznek. A minimumok körülbelül fél nagyságrenddel kisebbek, mint a maximumok, ami a szem logaritmikus érzékelése miatt már élvezhető hatást nyújtana. A SilverFabricTM ernyő fényssűrűség karakterisztikája exponenciálisra hasonlít jobban, míg a diffúzoré közelebb áll az ideálisnak tekintett Gauss-görbéhez, eltekintve a félértékszélességbeli különbségtől. A várakozásnak megfelelően az ideális esetben az ernyő szélének fényssűrűsége fele a maximális fényssűrűségnek.

A jövőben további, 15-35° félszögű ezüstözött diffúzorok kísérleti vizsgálatával szeretném megtalálni a legjobb paraméterekkel rendelkező diffúz ernyőt.

5. Retroreflektor ernyők vizsgálata

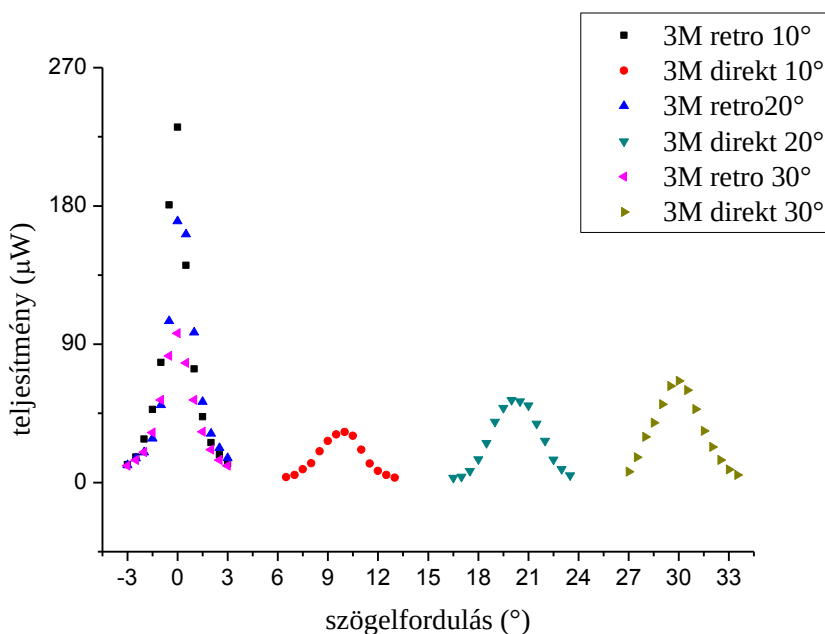
5.1. Mérési eredmények

A másik típusú ernyők, a retroreflektorok számunkra érdekes tulajdonságait vizsgáltam meg: a retroreflektált fény mennyiségét, polarizációs rátáját és szögeloszlását.

Ehhez a 2. pontban leírt mérési módszert alkalmaztam. Ebben az esetben nem elég a minta néhány fokos elfordítása, ennél nagyobb kitérésre van szükség, legalább 10° -ra. A retroreflexió-direkt reflexió arányának a minta elfordításának mértékétől való függést is megvizsgáltam: 10° -os, 20° -os és 30° -os beesés mellett mértem.

A mérési módszerből adódóan a retroreflexióban mért értékek korrekcióra szorultak, melyet kiértékeléskor elvégeztem a 3.2. pontban megadott faktorial.

A retroreflexió hatásfokát a retroreflektált és direkt reflektált teljesítmények hányadosával jellemeztem: $\eta = P_{\text{retro}}/P_{\text{direkt}}$. Vagyis a hatásfok megmutatja, hogy a retroreflexió hányszorosa a direkt reflexiónak. Minél nagyobb ez az érték, a minta annál jobban megfelel a vetítőernyő alkalmazásra.



25. ábra 3M minta retro és direkt reflexiója

A 3M minta értékeit ábrázoltam a 25. ábrán. Emellett a prizma bizonyult kiemelkedően jó retroreflektornak a retroreflektált és direkt reflektált teljesítmény arányát tekintve. Mind 10° -

os, mind 20°-os beesés mellett bőven meghaladta a retroreflektált teljesítmény a direkt reflexiót, vagyis a visszavert fény jelentős része a beesési irányban verődött vissza.

Az minden mintáról elmondható, hogy a beesési szög növelésével η értéke csökken, tehát nagyobb szög mellett kevésbé működik jól a retroreflexió. Ez érthető, hiszen a beesési szög növelésével nő a direkt reflexió értéke ugyanakkor csökken a retroreflektált értéke (9. táblázat).

Minta	10°	20°	30°
Fényvisszaverő szalag	1,150	0,857	0,340
3M	7,050	3,167	1,466
Oralite	0,847	0,631	0,574
Prizma	10,993	5,627	1,014

9. táblázat retroreflexió hatásfoka a beesési szög függvényében

Ugyanakkor az egyes minták között lényeges eltérés van. A fényvisszaverő szalag és az Oralite esetében a hányados egy körüli érték, vagyis a direkt reflexió körülbelül akkora, mint a direkt visszaverődés. A 3M-re és a prizma viszont egy egész nagyságrenddel jobb teljesítmény hányados adódott, illetve a nagyobb szögeknél is jobban működött a retroreflexió.

Minta	10°	20°	30°
Fényvisszaverő szalag	518,189 μW	426,636 μW	195,313 μW
3M	231,323 μW	170,085 μW	97,046 μW
Oralite	248,617 μW	204,956 μW	203,044 μW
Prizma	2115,885 μW	1247,152 μW	181,274 μW

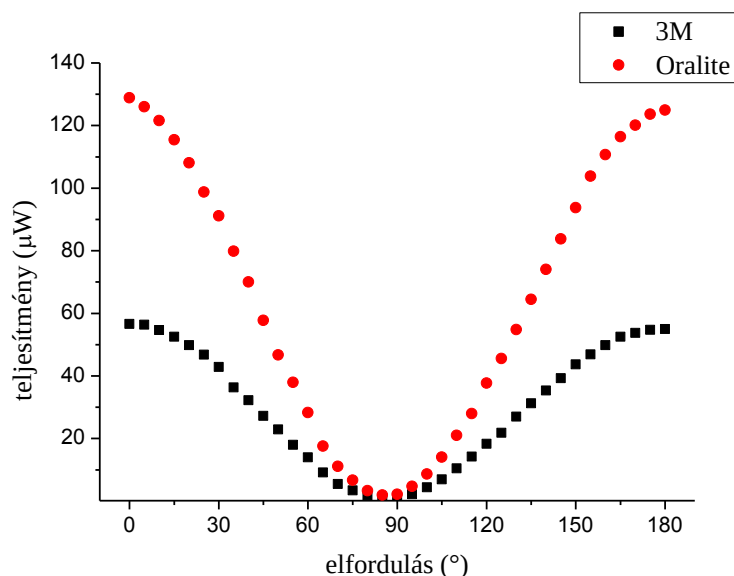
10. táblázat retroreflexió teljesítménye a beesési szög függvényében

A visszavert teljesítmények alapján ugyanakkor megállapítható, hogy a piramis struktúrával ellátott minták - a fényvisszaverő szalag és a prizma - sokkal jobb hatásfokkal verik vissza a fényt, mint a gömbös struktúrájú minták (10. táblázat).

A következő vizsgálandó szempont a polarizáció volt. Megmértem az egyes minták által visszavert fény intenzitását a polarizátor elfordulásának függvényében (11. táblázat).

Minta	Max/min
Fényvisszaverő szalag	6,539
3M	65,169
Oralite	67,176
Prizma	4,282

11. táblázat retroreflektív minták polarizációs rátái



26. ábra 3M és Oralite minták polarizációs görbéi

Ebben a tekintetben a 3M és a Oralite minta a vártnál jobb tulajdonságokat mutatott, hiszen a polarizációs kioltási rátára a SilverFabric™ rátáját megközelítő értéket mértem. A 26. ábrán jól látható a jellegzetes polarizációs görbe az analizátor elfordításának függvényében. A vizsgált minták közül ezek alapján az egyszerű fényvisszaverő szalag nem bizonyult használhatónak. A prizma a polarizációs tulajdonságai, a Oralite minta pedig a retroreflexiós tulajdonságai miatt jó kevésbé, mint a 3M mintája, ami mindkét fő vizsgált szempontból megfelelőnek mutatkozott. A prizmával azonban érdemes a továbbiakban is foglalkozni a nagy mértékű reflexió és a jó retroreflexiós tényező miatt. A polarizációs kioltási ráta ez esetben is javítható lehet fémréteg felvitelével.

A vetítőernyő alkalmazása szempontjából minden mintánál problémát okoz az, hogy a retroreflektált nyaláb túlságosan is egy helyre koncentrált, vagyis kicsi a szórási félszöge (12. táblázat).

Minta/félszög (°)	10°	20°	30°	Átlag
Fényvisszaverő szalag	0,978	1,288	0,767	1,011
3M	0,616	0,697	0,879	0,731
Oralite	0,634	0,631	0,801	0,689
Prizma	0,436	0,314	0,513	0,421

12. táblázat retroreflektív minták szórási félszöge (°)

A 4.4 fejezetben levezetett összefüggés alapján a 0° (a direkt és a retroreflektált nyaláb teljesítményének összege), 10°, 20° és 30°-os teljesítmények ismeretében a négyféle retroreflektor ernyő fénysűrűségét is megbecsültem (13. táblázat).

Minta	Maximális fényssűrűség (cd/m ²)	Minimális fényssűrűség (cd/m ²)	Maximum/ minimum
Fényvisszaverő szalag	844,6	170,3	5,0
3M	416,7	153,1	2,7
Oralite	809,8	303,6	2,7
Prizma	573,2	45,0	12,7

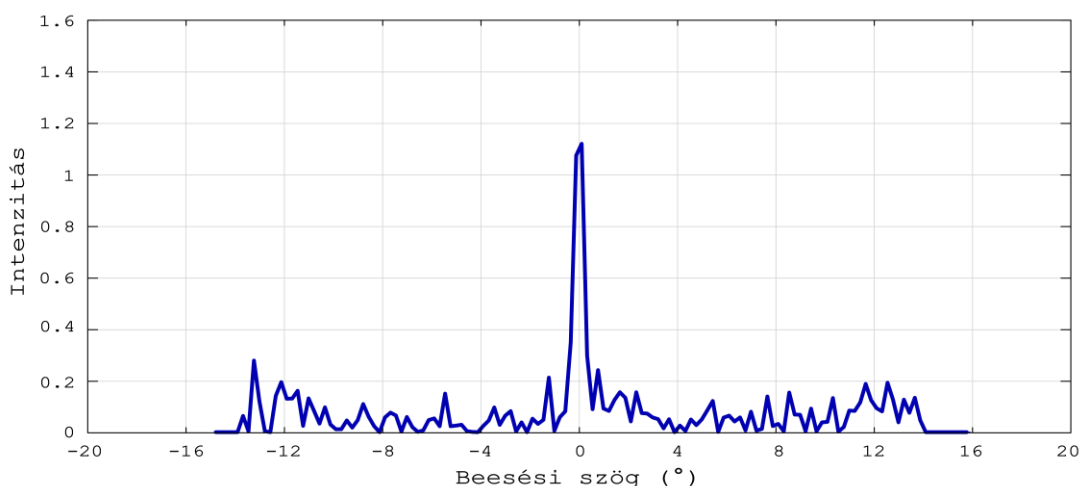
13. táblázat retroreflektív minták fényssűrűsége

Látható, hogy a fényssűrűségük magas, és a 3M és az Oralite, illetve a fényvisszaverő szalag minták maximum-minimum arányai nagyon kedvezőek. A nyalábok kevésbé koncentráltságává tételével kivetítésre alkalmassá lehet tenni ezeket a mintákat.

5.2. Módosított retroreflektorok vizsgálata

A 4.4. fejezetben megállapítottam, hogy a retroreflektorok nyalábja nem kellően nyitott ahhoz, hogy a teljes kép mindkét szemmel jól érzékelhető legyen. Ehhez azt kell elérni, hogy a struktúra jobban szórja a fényt. A ZEMAX nevű optikai tervező program segítségével a prizmás és a gömbös struktúra esetében is kerestem megoldást.

A gömbös struktúra esetében azt használtam ki, hogy a gömbök anyagának törésmutatójától függ az, hogy mennyire pontosan fókuszálódik a fény a gömb hátsó falára. A törésmutató elhangolásával tehát a visszavert nyaláb kevésbé lett koncentrált (27. ábra).

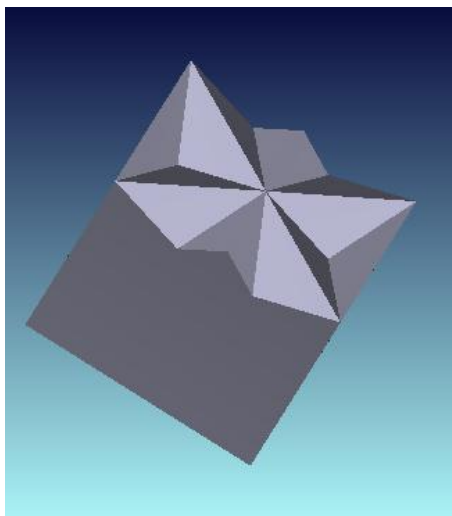


27. ábra gömb struktúra profilja elhangolt törésmutató esetén

Középen egy Dirac-delta szerű csúcs látható, körülötte pedig lényegesen kisebb az intenzitás. A szórás további hangolása lehetséges volna a gömb ellipszoiddá deformálásával, azonban ez technikailag nehezen volna kivitelezhető.

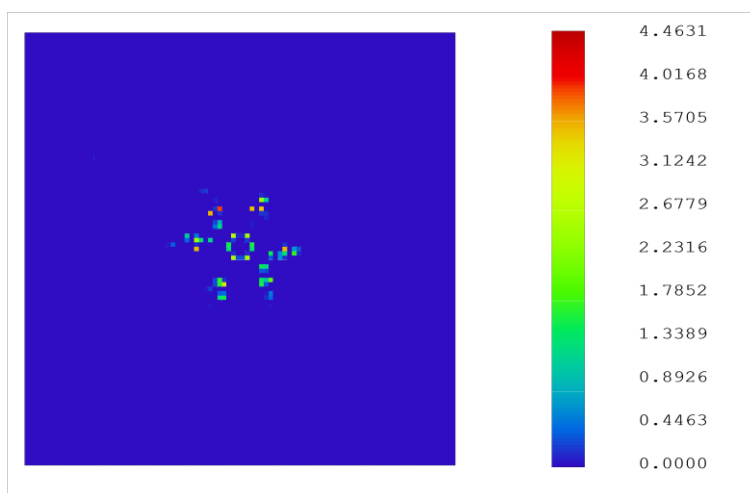
A prizmás struktúrát egy sokszögű objektummal modelleztem, s ebből alakítottam ki a periodikus struktúrát (28. ábra). A retroreflektor akkor működik rendeltetésszerűen, ha a fényt

nem szórja szét, mint ahogy korábban láttuk. Tehát a szabályos kocka-sarkokból álló struktúra elhangolásával lehetséges „elrontani” a fénysugarak jól koncentráltságát, amire valójában szükség van.



28. ábra sokszögű objektum a prizma struktúrában

A prizma levágott kockasarkokból áll, melyek szabályos háromszög alapú, derékszögű tetraéderek. A szimulációk során a tetraéderek magasságát változtattam. Az eredeti esetben a fény merőleges beesésnél koncentráltódott. Azokban az esetekben, amikor csak két visszaverődést szenvedett, jól meghatározott szögeknél – 68° -nál jelent meg intenzitás. A magasság csökkentésével növekedik azoknak a sugaraknak a száma, melyek csak kétszer verődnek vissza, vagyis növekszik a látótérből kiszórt intenzitás. Emellett a 0° -nál lévő sugarak is kevésbé koncentráltak, tehát a nyaláb kinyílik. A kétszeres visszaverődéseket azonban a magasság növelése, vagyis a kisebb csúcshölyg csökkenti amellyel, hogy szétnyitja a nyalábot, tehát ebből az okból kedvezőbb változtatás.



29. ábra véletlenszerű prizmás struktúra szórási képe

A kapott eloszlás a szabályos változtatás miatt szintén szabályos szimmetriájú maradt. Ezt kiküszöbölendő a következő lépésben a struktúrát nem egyformán módosítottam, hanem az objektumon belül az egyes tetraédereket kis mértékben, más-más magasságúra változtattam meg. Ennek következtében lényegesebben jobban szóródott a fény – vagyis ez egy jó megoldásnak tűnik (29. ábra). Ezúttal is a technikai megvalósítás a kérdéses: lehetséges-e különböző csúcsszögű piramisok előállítása, és ha igen, akkor a kívánt mérettartománynak megfelelőek-e.

Harmadik megoldásként magát a retroreflektort nem módosítanánk, hanem a retroreflektált nyaláb elé diffúzort helyeznénk, ezzel szórva a néző felé a visszavert sugarakat.

Félszög	Fénysűrűség (cd/m ²)
10°	3031,3
12,5°	1942,8
15°	1351,5

14. táblázat ideális retroreflektor fénysűrűsége

Feltételezve, hogy a nyalábot a 14. táblázatban összefoglalt fél kúpszöggel jellemzett szórására tudnánk nyitni, láthatjuk, hogy retroreflektív ernyőkkel a diffúz ernyők fénysűrűségének többszörösét lehetséges elérni.

6. Összefoglaló

A TDK-munkám során polarizációs multiplexeléssel megvalósított 3D mikroprojektor elrendezésben alkalmazandó kivetítő ernyő ideális anyagát és felületi struktúráját kerestem.

A munka első részében mérési elrendezést építettem, mellyel mérhető a vizsgálandó minták szórt teljesítménye a merőleges beeséstől való elfordulás és a polarizáció függvényében. A szórási profilok kiértékelésével meghatároztam az egyes minták polarizáció megtartását jellemző faktort, illetve a szórási profilt jellemző szórási félszöget.

Két típusú mintát vizsgáltam, kétféle, kissé eltérő mérési összeállításban. Az egyik csoportba a diffúz felületű minták sorolhatóak: SilverFabricTM minták, szabályozott szórási diffúzorok és a szabályozott szórási diffúzorok ezüstréteggel ellátva. A SilverFabricTM mintáit és az ezüstözött diffúzorok közül a 10°-os szórási szögű polarizációs szempontból és a szórási félszögük alapján alkalmasnak találtam. Mérési eredményeim alapján kiszámoltam, hogy az egyes ernyők fénysűrűsége milyen eloszlású. A kapott eredmények azt mutatják, hogy nagyobb szórási szög szükségeltetik az ernyő egyenletesebb megvilágításához.

A másik csoportot a retroreflektorok alkotják, s ezek is két alcsoportba oszthatóak: a gömbös és a prizmás struktúrájába. A retroreflexió arányát mértem a direkt reflexióéhoz viszonyítva. Ezt tekintve a 3M gömbös struktúrájú mintája és a fényvisszaverő prizma alkalmasak. Retroreflexióban a polarizációs rátára a gömbös struktúráknál a vártnál nagyobb értéket kaptam, mely megfelel a 3D vetítés kívánalmainak. Mindezzel szemben túlságosan alacsonynak adódtak a szórási félszögek.

A munka második részében a retroreflektorok tulajdonságait vizsgáltam a nagyobb szórási szög elérése érdekében a ZEMAX nevű optikai modellező programmal, s mind a két struktúrára találtam megfelelően szóró elrendezést.

A jövőben tervezem az ezüstözött diffúzorok vizsgálatát a 10-35°-os tartományban, hogy a szórást optimalizáljam a polarizáció megtartása mellett, valamint szeretném kísérletileg megvizsgálni a módosított illetve diffúzorral kombinált retroreflektorokat..

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Koppa Pálnak, aki rengeteg idejét és figyelmét szánta a velem való konzultációra és munkám segítésére.

Hivatkozások

- [1] Hongen Liao, Makoto Iwahara, Nobuhiko Hata, and Takeyoshi Dohi, „High-quality integral videography using a multiprojector”, Optics Express 12, 1067-1076 (2004).
- [2] Kyongsik Choi, Hwi Kim, and Byoung-ho Lee „Synthetic phase holograms for auto-stereoscopic image displays using a modified IFTA”, Optics Express 12, 2454-2562 (2004)
- [3] Stephen A. Benton – Selected Papers on Three-Dimensional Displays (SPIE Press, 2001, ISBN 978-0819438935)
- [4] Gordon D. Love et al, „High-speed switchable lens enables the development of a volumetric stereoscopic display”, Optics Express 17, 15716–15725 (2009)
- [5] Risto Näsänen, Tristan Colomb, Yves Emery, and Thomas J. Naughton, „Enhancement of three-dimensional perception of numerical hologram reconstructions of real-world objects by motion and stereo”, Optics Express 19, 16075-16086 (2011)
- [6] Kuniharu Takizawa, Takanori Fujii, Toshihiro Sunaga, and Kiyoshi Kishi, „Three-dimensional large-screen display with reflectionmode spatial light modulators and a single-projection optical system: analysis of a retardationmodulation method”, Applied Optics 37, 6182-6195 (1998)
- [7] Á. Kerekes, E. Lőrincz, P.S. Ramanujam, S. Hvilsted „Light scattering of thin azobenzene side-chain polyester layer” Optics Communications, 206 57-65 (2002)
- [8] G. F. Marshall and M. H. Williams, „Retroreflective Photometry for Screen Efficiency Evaluation” Applied Optics 9, 2134-2139 (1970)
- [9] Warren J. Smith – Modern Optical Engineering (SPIE Press, 2007, ISBN 978-0071476874)